

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра електромеханіки та мехатроніки



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на тему «Модернізація електроприводу двокоординатного транспортного
модуля координатного стола»**

Здобувач СВО «Бакалавр»:

Іванов Дмитро Вікторович

Студент групи АЕМ-40

Керівник :

Штепа Євген Павлович , к.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 12.06. 2024 р., протокол №12.

Завідувач(ка) кафедри Осадчук П.І. _____

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра: Електромеханіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри ЕтаМ

_____Осадчук П.І.

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ здобувача СВО «Бакалавр» Іванов Дмитро Вікторович гр.

1. Тема роботи: «Модернізація електроприводу двокоординатного транспортного модуля координатного стола»

\ Керівник роботи: Штепа Євген Павлович к.т.н., доцент

Затверджено наказом ОНТУ . № 797-03 від 19.12.23 р

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.6.24

3. Вихідні дані роботи: точність позиціонування - 10 мкм; перерегулювання - 20%; максимальна швидкість - 0,28 м / с; максимальне прискорення - 18 м / с²

4. Перелік питань, які потрібно розробити :актуальність теми; мета роботи; завдання дослідження; об'єкт дослідження; аналіз технологічного процесу аналіз конструкцій двигунів; особливості крокових лінійних двигунів;**вибір** електродвигуна; система управління двигуном; дослідження електроприводу на електронній моделі; економіка;техніка електробезпеки

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації:

Титульний слайд; актуальність теми, об'єкт проектування, мета і завдання роботи.

. кінематична схема електроприводу; діаграма швидкості і навантажувальні електропривода; розрахунок моментів; потужність двигуна; системи управління; модель дослідження прямого пуску двигуна; модель дослідження частотного пуску двигуна ванажного ліфта результати досліджень

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 21.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим
1	Технологічна частина	2.05.2024	
2	Аналіз конструкцій двигунів	5.05.2024	
3	Розрахунок навантажень і вибір двигуна	10.05.2024	
4	Вибір перетворювача частоти. Принцип роботи перетворювача частоти.	15.05.2024	
5	Моделювання електроприводу	25.05.2024	
6	Економічна частина. Техніка електробезпеки	10.06.2024	
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи	15.06.2024	
8	Перевірка роботи на добротність. Рецензування роботи.	22.06.2024	
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	25.06.2024	

Здобувач: Іванов Д. В. _____

Керівник проекту доцент Штепа Є.П. _____

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач Іванов Д. В. _____

РЕФЕРАТ

Іванов Д.В. «Модернізація електроприводу двокоординатного транспортного модуля координатного стола ». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2023. – 66 с. Бібліогр.: 9. Іл.:33. Табл. 4

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню електроприводу двокоординатного транспортного модуля на основі лінійних крокових двигунів, що застосовується для виготовлення мікросхем високого ступеня інтеграції.

В роботі приведено: завдання дослідження; аналіз технологічного процесу і конструкцій крокових двигунів; особливості крокових лінійних двигунів; вибір електродвигуна; система управління двигуном; дослідження електроприводу на електронній моделі; економіка; техніка електробезпеки

Ключові слова: лінійний двигун, двокоординатний модуль, система управління, навантажувальні діаграми, потужність двигуна; моделювання.

ABSTRACT

Ivanov D. V. "Modernization of the electric drive of the two-coordinate transport module of the coordinate table" Bachelor's qualification thesis. – Odesa: ONTU, 2023. – 66 p. Bibliogr.: 9. Illustration: 33. Table 4

The bachelor's qualification work is devoted to the study of the electric drive of the two-coordinate transport module based on linear stepper motors, which is used for the manufacture of microcircuits with a high degree of integration.

The work includes: research tasks; analysis of the technological process and designs of blood engines; features of stepper linear motors; choice of electric motor; engine control system; study of an electric drive on an electronic model; economy; electrical safety equipment

Keywords: linear motor, two-coordinate module, control system, load diagrams, motor power; modeling.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1. Аналіз технологічного процесу.....	8
1.2. Опис установки.....	9
2. КОНСТРУКЦІЙ ДВИГУНІВ.....	17
2.1. Електромагнітна система.....	17
2.2. Лінійний електродвигун змінного струму.....	17
2.3. Трубчастий лінійний двигун.....	19
2.4. Лінійний синхронний двигун.....	20
3. ОСОБЛИВОСТІ КРОКОВИХ ЛІНІЙНИХ ДВИГУНІВ.....	23
3.1. Двигуни постійного струму.....	23
3.2. Крокові синхронні двигуни активного типу.....	26
3.3. Реактивні крокові двигуни.....	29
3.4. Лінійні крокові синхронні двигуни.....	31
3.5. Вимоги до електроприводу	33
4. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	34
4.1. Розрахунок навантажень	34
4.2. Попередній вибір потужності двигуна.....	36
4.3. Вибір номінальної швидкості двигуна і типу двигуна.....	37
4.4. Перевірка двигуна по нагріванню і перевантажувальній здатності.....	38
5. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ.....	40
5.1. Комплектний перетворювач частоти.....	40
6. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ЕЛЕКТРОННІЙ МОДЕЛІ.....	44
6.1. Розробка математичної моделі електроприводу.....	44
7. ЕКОНОМІКА.....	48
8. ТЕХНІКА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ.....	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	71

					КРБ.ЕМ та М.797-03.1.6					
<i>Изм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розробив.</i>		Іванов Д. В.			Модернізація електроприводу двокоординатного транспортного модуля координатного стола			<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів.</i>		Штепа С. П.						6	66	
<i>Реценз.</i>								ОНТУ, гр. АЕМ-40		
<i>Н. Контр.</i>										
<i>Затверд.</i>										

ВСТУП

Багатокоординатно кроковий привід, володіючи конструктивною пластичністю (гнучкістю), дозволяє створювати досить складні пристрої точного відтворення рухів, в яких поєднано управління технологічними і транспортними операціями і отримано якісно новий рівень конструктивної інтеграції електромеханічного перетворювача з робочим органом.

Основні області застосування приводу: робототехніка і гнучке автоматизоване виробництво, особливо, збірка малогабаритних виробів (наприклад, електромагнітних реле, автоматичний монтаж радіокомпонентів і мікросхем на друкованих платах; вимірювальні машини, установки лазерної, електроіскровий 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 (роботи, верстати з числовим програмним управлінням, накопичувачі, бункери і т.д.), в ряді випадків призводить до невиправданої надмірності і внаслідок цього до високої вартості, матеріаломісткості і, в кінцевому рахунку, до економічної неефективності розробляється обладнання. Альтернативою традиційному підходу є застосування гнучких виробничих модулів досить широкої серії "інтелектуальних" модулів руху різного типу (лінійних, планарних, поворотних) з вбудованими датчиками та індивідуальною системою мікропроцесорного управління, забезпечених необхідними типами інтерфейсів для сполучення з системою управління більш високого рівня. В роботі розглядається електропривод двокоординатного транспортного модуля

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Актуальність теми: Розробка електропривода двокоординатного транспортного модуля на базі лінійних крокових двигунів

Предмет дослідження: Електропривод двокоординатного транспортного модуля.

Мета роботи: Визначення режимів роботи електропривода двокоординатного транспортного модуля

Задачі дослідження: Дослідити роботи електропривода на електронній моделі

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

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 Двохкоординатний 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 в такий спосіб. Координатний стіл з пластиною піднімається до спрацьовування датчика положення (рух по координаті Z), розташованого на 300 мкм нижче поверхні зондів. Після спрацьовування 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 з координування 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 рисунку 1.1 представлена діаграма роботи пристрою.



Рисунок 1.1 - Діаграма роботи модуля.

1.2 Опис 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 (рисунок 1.2) містить якір, що складається з жорстко з'єднаних модулів А і В, і безобмотковим зубчастий пасивний статор, виконаний з магнітомягкого матеріалу. Кожен з модулів А і В складається з двох П-образних магнітопроводів, об'єднаних постійним магнітом. Зубцеві зони полюсів кожного муздраттеатру орієнтовані щодо зубців статора зі взаємним лінійним зсувом в половину зубцевого поділу τ_z . 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 $k\tau_z + \tau_z/4$, Де $k = 1$. Якір лінійного крокової двигуна розташований над статором з зазором δ .

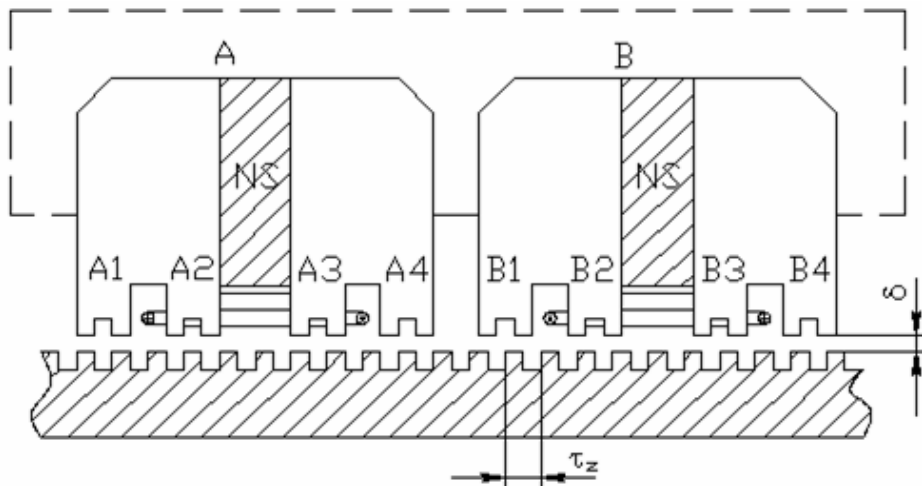


Рисунок 1.2 - Схема конструкції лінійного крокової двигуна

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

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 координатним системам - стабільність їх електромеханічних характеристик. Причиною тому є висока якість обробки прилеглих поверхонь статора і рухомої каретки. Зубчасті поверхні статора і ротора виготовляються фрезеруванням прецизійної груповий фрезою або методами травлення по прецизійним фотошаблонів з наступним заливанням пазів епоксидними компаундами з твердим немагнітним наповнювачем, шліфуванням і притиранням. Це забезпечує високу 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 аеростатичних сили відштовхування і магнітної сили тяжіння ротора лінійного крокового електродвигуна. При цьому задоволено умови "спливання" каретки над площиною статора при подачі стисненого повітря. У проектованої установці, що є серійно виробленої двухкоординатной 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 рисунках 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 статора 4 на повітряній подушці, яку утворюють

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

стисненим повітрям, що подається в зазор між статором і кареткою через жиклери 5, розташовані по периметру якорів лінійних крокових двигунів. В даній установці використовується варіант конструкції координатного столу з поєднаною по осях X і Y нарізкою зубців статора (рисунок 1.3). Каретка містить два лінійних крокових двигуна для рухів по двох осях координат.

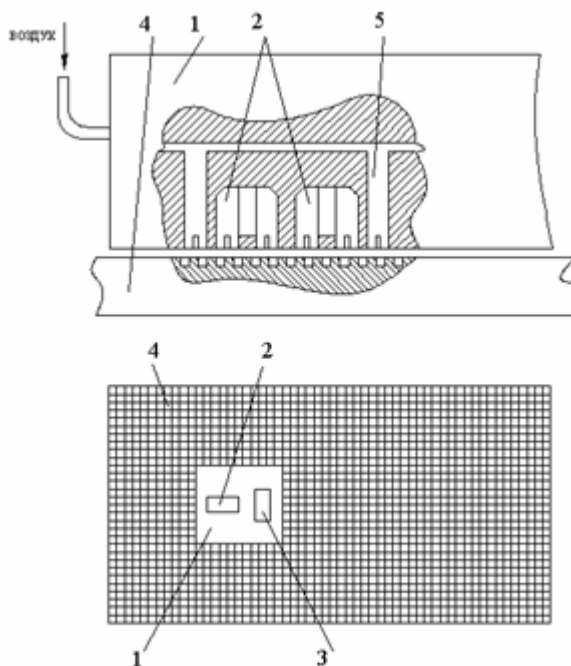


Рисунок 1.3 - Координатний стіл з лінійним кроковим двигуном:

а) конструкція; б) координатний стіл: 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 крокової 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 управляють 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 і ін.) І написати програму узгодженого управління всіма осями даної установки і технологічним обладнанням відповідно до карти технологічного процесу. Для написання програми користувачеві пропонується спеціалізована мова програмування багатоосьові електроприводу ML, що дозволяє описати всю необхідну послідовність рухів в їх взаємозв'язку з технологічними командами. Особливість мови полягає в тому, що не одна програма, що виконується, 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 і 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 і контурного рухів, програми тестової перевірки обладнання, таймери, процедури обслуговування переривань і ін.

Необхідна конкретного користувача програмне забезпечення для осьових контролерів і модулів центрального процесора поставляється у вигляді ПЗУ. Є програмна підтримка найбільш поширених в даний час систем підготовки

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

конструкторської документації (ACAD) і графіки (різні рисувальні пакети типу Paint Brush) 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 в відповідну програму управління кроковим електроприводом.

Робота з кроковим приводом в розімкнутій системі. Дискретність відпрацювання кроку (число 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 поточним прискоренням на заданій траєкторії руху. Крім того, передбачити можливість завдання необхідного кута випередження користувачем, його оперативна зміна в процесі налагодження, а також пропорційне зміна по відношенню до результатів розрахунку сигнального процесора. За замовчуванням, форма формованого пристроєм сполучення фазного струму синусоїдальна (в межах округлення при заданій ступеня дроблення). 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 похибка індуктора. Для зниження енергоспоживання в системі приводу, зменшення нагрівання статора і індуктора ЛШД при зупинці (і, отже, зменшення температурних похибок приводу), передбачити можливість зниження струмів в фазах двигуна. Величина тайм-ауту після закінчення руху і величина зменшення струму в процентах програмується користувачем при ініціалізації координати.

Поряд з основною програмою, контролер повинен виконувати обслуговування ліній введення-виведення. Циклічність опитування ліній введення і зміна ліній

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

виводу 100 мкс. При роботі генератора траєкторії поточна координата повинна постійно порівнюватися з граничними, програмно встановленими значеннями поля переміщення по координаті. При спрацьовуванні одного з зовнішніх датчиків крайніх положень повинен бути виконаний негайний останов приводу. Регулятор також повинен відслідковувати величину помилки на кожному циклі (різниця між очікуваною і реальною помилкою координати). Ця помилка порівнюється із заздалегідь визначеним користувачем значенням і, в разі перевищення останньої, рух має бути припинено. Це дозволить зупинити привід при механічній блокуванні приводу якої несправності датчика положення.

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

Обмін із зовнішніми пристроями включає:

1) 40 вхідних сигналів від кінцевих датчиків (оптронная розв'язка);

При застосуванні в якості датчика зворотного зв'язку лазерного інтерферометра, 3 лінії на кожен використовуваний сервоканал можуть використовуватися для паралельного введення зовнішніх молодших розрядів лічильника положення; можливе використання даних ліній просто як стандартні лінії цифрового вводу з їх програмним опитуванням і передачею їх стану на HOST-комп'ютер. Конкретна настройка функціонального призначення ліній програмується при ініціалізації;

2) 4 вхідних аналогових сигналу (в залежності від конфігурації системи можуть використовуватися або для введення сигналів від індуктивного датчика

зворотного зв'язку по положенню або для введення сигналів від 4-х датчиків прискорення; для введення аналогових сигналів в процесор використовується двоканальний 12-бітовий АЦП; одночасна робота АЦП по всіх каналах уможливило використання даних входів для прямого введення квадратурних синусоїдального і косинусоїдального сигналів з оптичного датчика положення);

3) 2 синхронних каналу для управління 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 управління приводами з розімкненим зворотним зв'язком по положенню (можуть використовуватися як звичайні лінії виведення з їх установкою від HOST-комп'ютера).

Обмеження по динаміці приводу зі зворотним зв'язком, що накладаються контролером:

Максимальна швидкість приводу обмежується двома обставинами:

5) Максимальна частота вхідних 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 зворотного зв'язку складе 32 МГц, що досить для роботи з лазерним інтерферометром з дискретністю 0,01 мкм при швидкості переміщення до 300 мм / с);

6) При одночасній роботі всіх 4-х координат крокової 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

7) Максимальне прискорення не більше 50 м / с.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

8) Плавність в межах 30 ... 65000 м / с.

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 мікрошагов на оборот;

діапазон переміщення 2147483648 дискрет;

максимальне переміщення до 8388608 дискрет;

високорівнева мова опису руху;

програмно-задаються 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 харчування і на загальний провід;

незалежна настройка максимального струму в фазі для кожного двигуна;

оптоізолірованих цифрових входу;

цифрових входів з максимальною напругою логічної одиниці до 24 В;

виходів типу відкритий колектор з навантажувальною здатністю до 500мА;

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.

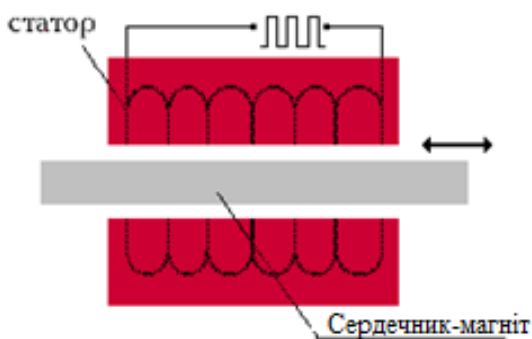
					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2. КОНСТРУКЦІЙ ДВИГУНІВ

2.1. Електромагнітна система лінійного двигуна.

Принцип лінійного двигуна (ЛД) не новий і, загалом, відомий навіть школяру, оскільки прототипом ЛД є проста електромагнітна система. Така система складається з металевого сердечника-магніта і обмотки статора. При подачі струму певної полярності в обмотку сердечник зміститься в ту або іншу сторону, причому практично миттєво. Зміна полярності сигналу на обмотку призведе до зворотного ходу сердечника. Як можна побачити (рис. 2.1), від джерела енергії до РО немає ніяких проміжних елементів, передача енергії здійснюється через повітряний зазор, нічого не треба обертати, відразу можливе здійснення головного завдання - подовжнього руху РО.

Геніальність рішення відразу була оцінена по гідності. На розглянутому принципі вже десятиліття працюють всі елементи електроавтоматики, системи електрогальм, системи захисту, спеціальне устаткування ударного типу і так далі. Величезний досвід використання електромагнітних систем чітко виявив їх приголомшливі переваги: дивовижна простота конструкції і застосування, майже миттєва зупинка, миттєвий реверс, понад швидкість спрацьовування, великі зусилля,



легкість налаштування. Але не було тільки одного - можливості регулювати швидкість РО в електромагнітній системі і забезпечувати тим самим регульовану поступальну ходу РО (сердечника). А без цієї можливості застосувати електромагнітний привід (не дивлячись на його геніальність), як рушій в

Рисунок 2.1-Принцип роботи лінійного двигуна

2.2. Лінійний електродвигун змінного струму

Найбільшого поширення набули асинхронні лінійні двигуни. Уявлення про пристрій лінійного асинхронного двигуна можна отримати, якщо подумки розрізати (рис. 4) статор 1 і ротор 4 з обмотками 2 і 3 звичайні асинхронні двигуни уздовж осі по утворюючій і розвернути в площину, як це показано на рисунку 2.2..

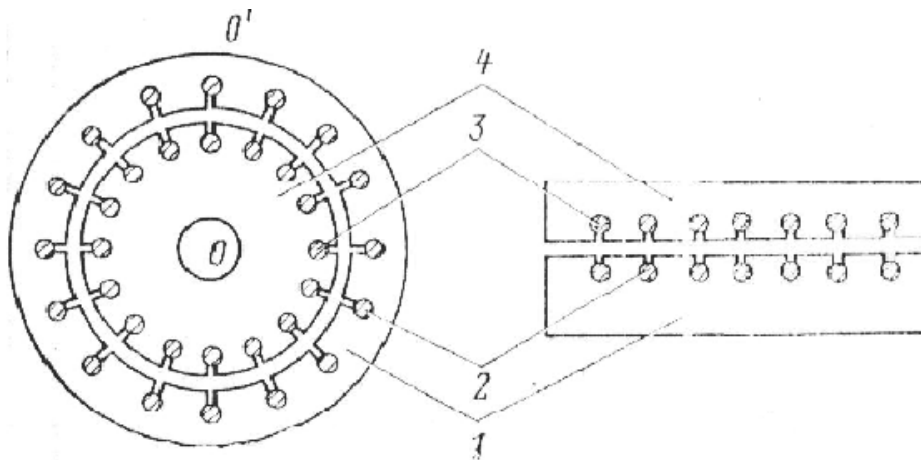


Рисунок 2.2-Лінійний асинхронний двигун

«Плоска» конструкція, що утворилася, є принциповою схемою лінійного двигуна. Якщо тепер обмотки 2 статори такого двигуна підключити до мережі змінного струму, то утворюється магнітне поле, вісь якого переміщатиметься уздовж повітряного зазору з швидкістю, пропорційній частоті живлячої напруги і довжині полюсного ділення. Це магнітне поле, що переміщається уздовж зазору, перетинає провідники обмотки 3 ротори і індукуює в них ЕДС, під дією якої з обмотки почнуть протікати струми. Взаємодія струмів з магнітним полем приведе до появи сили, що діє, за відомим правилом Лінь, у напрямі переміщення магнітного поля. Ротор – надалі називатимемо його вже вторинним елементом – під дією цієї сили почне рухатися з деяким відставанням (ковзанням) від магнітного поля, як і в звичайному асинхронному двигуні.

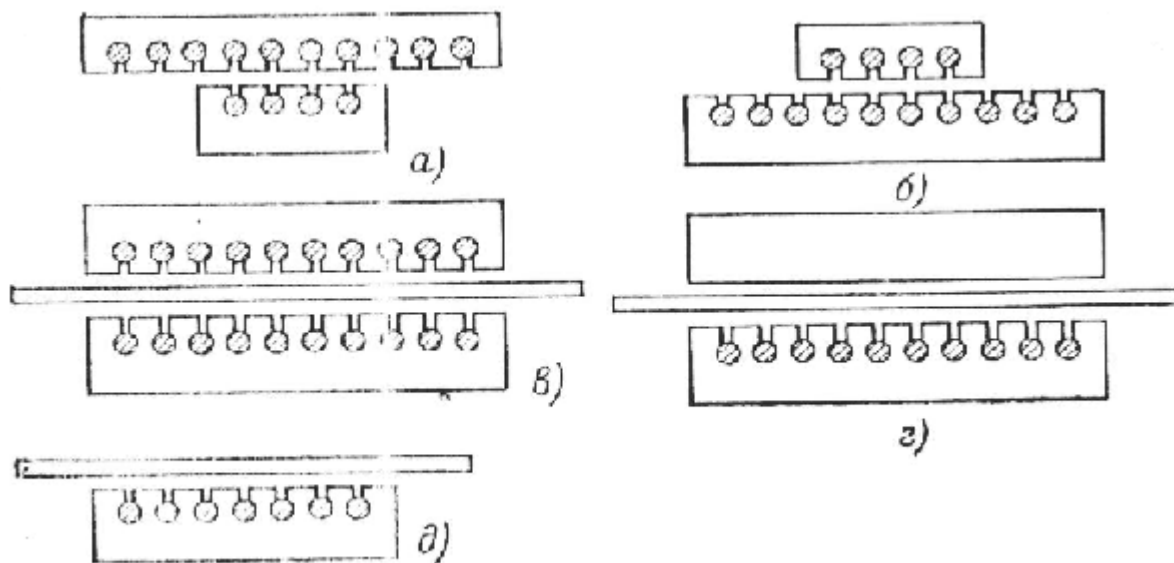


Рисунок 2.3 -Варіанти конструкцій лінійних двигунів.

Представлена на рис. 5 конструкція є лінійним двигуном з однаковими розмірами статора і вторинного елемента. Крім такої конструкції, залежно від призначення лінійного двигуна вторинний елемент може бути довше за статор (рис. 5а) або коротше за нього (рис. 5б). Такі двигуни отримали відповідно назву двигунів з коротким статором і коротким вторинним елементом.

Вторинний елемент лінійного двигуна не завжди забезпечується обмоткою. Часто – і в цьому одне з достоїнств лінійного асинхронного двигуна – як вторинний елемент використовується металевий лист (смуга), як показано на рис. 5д. Вторинний елемент при цьому може розташовуватися також між двома статорами (рис. 5в) або між статором і феромагнітним сердечником (рис. 5г). Двигун з конструктивною схемою, приведеною на рис. 5д, отримав назву двигуна з одностороннім статором, з схемою по рис. 5в – з двостороннім статором і з схемою по рис. 5г – з одностороннім статором і сердечником. Вторинний елемент виконується з міді, алюмінію або сталі, причому використання не магнітного вторинного елемента припускає застосування конструктивних схем із замиканням

магнітного потоку через феромагнітні елементи, як, наприклад, на рис. 5в, 5г. Деякого поширення набули складні складові вторинні елементи з прилеглими один до одного смугами з немагнітного і феромагнітного матеріалу, при цьому феромагнітна смуга виконує роль частини магнітопровода.

Принцип дії лінійних двигунів з вторинним елементом у вигляді смуги повторює роботу звичайного асинхронного двигуна з масивним феромагнітним або порожнистим немагнітним ротором. Обмотки статора лінійних двигунів мають ті ж схеми з'єднання, що і звичайні асинхронні двигуни, і підключаються зазвичай до мережі трифазного змінного струму.

Відзначимо, що лінійні двигуни дуже часто працюють в так званому оберненому режимі руху, коли вторинний елемент нерухомий, а пересувається статор. Такий лінійний двигун, що отримав назву двигуна з рухомим статором, знаходить, зокрема, широке застосування на електричному транспорті.

2.3. Трубчастий лінійний двигун

Конструкція трубчастого лінійного двигуна представлена на рис. 2.4.

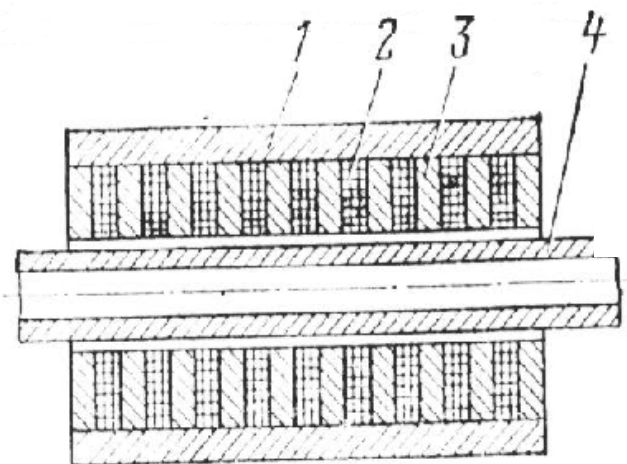


Рисунок 2.4-Конструкція трубчастого лінійного двигуна

Статор двигуна 1 має вид труби, усередині якої розташовуються переміжні між собою плоскі дискові котушки 2 (обмотки статора) і металеві шайби 3, що є частиною магнітопровода. котушки двигуна з'єднуються групами і утворюють обмотки окремих фаз двигуна. Усередині статора поміщається вторинний елемент 4

також трубчастої форми, виконаний з феромагнітного матеріалу. При підключенні до мережі обмоток статора уздовж його внутрішньої поверхні утворюється магнітне поле, що біжить, яке індукує в тілі вторинного елемента струми, направлені по його колу. Взаємодія цих струмів з магнітним полем двигуна створює на вторинному елементі силу, що діє уздовж труби, яка і викликає (при закріпленому статорі) рух вторинного елемента в цьому напрямі.

Трубчаста конструкція лінійних двигунів характеризується аксіальним напрямом магнітного потоку на відміну від плоского лінійного двигуна, в якому магнітний потік має радіальний напрям.

2.4. Лінійний синхронний двигун.

Останніми роками все ширше використовуються синхронні лінійні двигуни. Основною областю застосування цих двигунів, де їх переваги виявляються особливо сильно, є високошвидкісний електричний транспорт. Річ у тому, що за умовами нормальної експлуатації такого транспорту необхідно мати порівняно великий повітряний зазор між рухомою частиною і вторинним елементом. Асинхронний лінійний двигун має при цьому дуже низький коефіцієнт потужності, і його застосування виявляється економічно не вигідним. Синхронний лінійний двигун, навпаки, допускає наявність щодо великого повітряного зазору між статором і вторинним елементом і працює при цьому з коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці.

Слід зазначити, що застосування синхронних лінійних двигунів у високошвидкісному транспорті поєднується, як правило, з так званою магнітною підвіскою вагонів і застосуванням надпровідних магнітів і обмоток збудження, що дозволяє підвищити комфортабельність руху і економічні показники роботи рухомого складу.

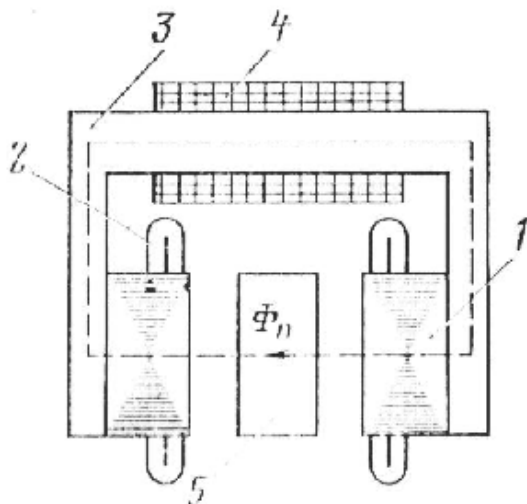
На рис. 2.4 показана схема шляхопроводу і вагону електропоїзда із швидкістю руху 400 – 500 км/ч, призначеного для перевезення 100 пасажирів.

Тяговий синхронний лінійний двигун має електромагнітне збудження з використанням надпровідних магнітів. Обмотка збудження 1 складається з ряду котушок, рівномірно укріплених під днищем вагону 5. У криогенній системі охолодження обмоток використовується рідкий гелій. Плоска трифазна обмотка змінного інвертора, що перетворює напругу постійного струму в трифазну напругу змінного струму.

За допомогою інвертора здійснюється пуск, зміна швидкості руху і гальмування поїзда. Шляхопровід 6 є бетонним полотном, плоский характер поверхні якого вибраний з метою зниження накопичення льоду і снігу. Вагон підвішується над полотном дороги на висоті 15 см за допомогою спеціальної системи магнітної підвіски. Ця система складається з подовжених надпровідних електромагнітів 3, розташованих по краях днища вагону, з плоских алюмінієвих смуг 4, укріплених в полотні дороги. Принцип роботи системи магнітної підвіски ґрунтується на дії електродинамічних сил, що виникають при взаємодії потоків надпровідних електромагнітів 3 на борту вагону і вихрових струмів, наведених в алюмінієвих смужках 4. Розрахунки показали, що при використанні магнітної підвіски маса вагону виявляється на 20 т менше, ніж при системі підвіски на повітряній подушці.

Для забезпечення поперечної стійкості поїзда при його русі застосовується спеціальна система стабілізації. Вона передбачає укладання додаткової обмотки уздовж осі дорожнього полотна і заснована на взаємодії струмів в цій обмотці з полем тягових електромагнітів. Розроблена система електричної тяги із застосуванням описаного вище синхронного лінійного двигуна відрізняється хорошими експлуатаційними показниками, проте для її роботи необхідне укладання обмоток в полотно дороги, що здорожує виготовлення системи і ускладнює її

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23



обслуговування, особливо при значній протяжності дороги. У зв'язку з цим були розроблені конструкції лінійних синхронних двигунів, які не вимагають укладання обмоток в залізничне полотно. До їх числа відносяться лінійні синхронні двигуни з так званим уніполярним збудженням і когтеобразними полюсами. Двигуни того і іншого виконання були

використані для приводу 50 – тонного складу із швидкістю руху 480 км/ч.

На рис. 2.5 показана схема синхронного лінійного двигуна з уніполярним збудженням. Двигун має два статори 1, встановлених на рухомій частині складу. Магнітне поле, що біжить, створюється за допомогою обмоток 2, що підключаються до мережі змінного струму. Статори з'єднуються магнітопроводом 3, на якому розташована обмотка уніполярного збудження 4.

Ця обмотка створює постійний по напрямку магнітний потік, який пронизує феромагнітний вторинний елемент 5, що укладається в магнітопровід. Взаємодія магнітного поля, що біжить, з намагніченим вторинним елементом створює силу тяги рухомого складу.

ема
вигуна

3. ОСОБЛИВОСТІ КРОКОВИХ ЛІНІЙНИХ ДВИГУНІВ

3.1. Двигуни постійного струму .

Двигуни постійного струму (ДПТ) з постійними магнітами Lenze починають працювати відразу, як тільки до якірної обмотці буде докладено постійна напруга. Перемикання напрямку струму через обмотки ротора здійснюється механічним комутатором - колектором. Постійні магніти при цьому розташовані на статорі.

Кроковий двигун (ШД) може бути розглянутий як ДПТ без колекторного вузла. Обмотки ШД є частиною статора. На роторі розташований постійний магніт або, для випадків зі змінним магнітним опором, зубчастий блок з магнітомягкого матеріалу. Все комутації виробляються зовнішніми схемами. Зазвичай система мотор - контролер розробляється так, щоб була можливість виведення ротора в будь-яку, фіксовану позицію, тобто система управляється за матеріальним становищем. Циклічність позиціонування ротора залежить від його геометрії.

Крокові двигуни діляться на два різновиди: двигуни з постійними магнітами і двигуни зі змінним магнітним опором (гібридні двигуни). З точки зору контролера відмінність між ними відсутній. Двигуни з постійними магнітами зазвичай мають дві незалежні обмотки, у яких може бути присутнім або відсутнім серединний відведення (див. Рис. 3.1).

За це спрощення доводиться платити більш складним реверсуваням полярності кожної пари полюсів двигуна.

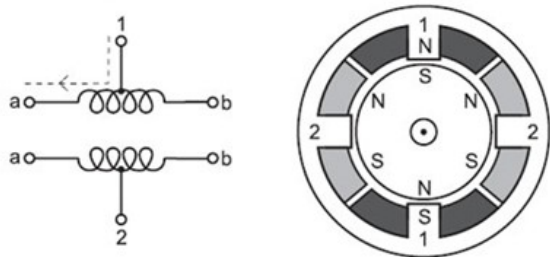


Рисунок 3.1-Кроковий двигун з постійними магнітами.

Крокові двигуни мають широкий діапазон кутових дозволів. Більш грубі мотори зазвичай обертаються на 90° за крок, в той час як прецизійні двигуни можуть мати дозвіл $1,8^\circ$ або $0,72^\circ$ на крок. Якщо контролер дозволяє, то можливе використання полушагового режиму

або режиму з більш дрібним дробленням кроку (мікрошаговий режим), при цьому на обмотки подаються дробові значення напруг, найчастіше формуються за допомогою ШІМ-модуляції.

Якщо в процесі управління використовується збудження тільки однієї обмотки в будь-який момент часу, то ротор буде повертатися на фіксований кут, який буде утримуватися поки зовнішній момент не перевищить моменту утримання двигуна в точці рівноваги.

Для правильного управління біполярним кроковим двигуном необхідна електрична схема, яка повинна виконувати функції старту, стопа, реверсу і зміни швидкості. Кроковий двигун транслює послідовність цифрових перемикачів в рух. «Обертається» магнітне поле забезпечується відповідними перемикачними напруг на обмотках. Слідом за цим полем буде обертатися ротор, з'єднаний за допомогою редуктора з вихідним валом двигуна.

Кожна серія містить високопродуктивні компоненти, що відповідають все зростаючим вимогам до характеристик сучасних електронних застосувань.

Схема управління для біполярного крокової двигуна вимагає наявності мостової схеми для кожної обмотки. Ця схема дозволить незалежно змінювати Максимальна швидкість руху визначається виходячи з фізичних можливостей крокової двигуна. При цьому швидкість регулюється шляхом зміни розміру кроку. Більші кроки відповідають більшій швидкості руху.

У системах управління електроприводами для відпрацювання заданого кута або переміщення використовують датчики зворотного зв'язку по куту або положенню вихідного вала виконавчого двигуна.

Якщо в якості виконавчого двигуна використовувати синхронний кроковий двигун, то можна обійтися без датчика зворотного зв'язку (Дт) і спростити систему управління двигуном (СУ), так як відпадає необхідність використання в ній цифро-аналогових (ЦАП) і аналого-цифрових (АЦП) перетворювачів .

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Кроковими двигунами називаються синхронні двигуни, що перетворюють команду, задану у вигляді імпульсів, в фіксований кут повороту двигуна або в фіксоване положення рухомої частини двигуна без датчиків зворотного зв'язку.

Потужність крокових двигунів лежить в діапазоні від одиниць ват до одного кіловатта. Кроковий двигун має не менше двох положень стійкої рівноваги ротора в межах одного обороту. Напряга живлення обмоток управління крокової двигуна являє собою послідовність однополярного або двополярного прямокутних імпульсів, що надходять від електронного комутатора (К). Результуючий кут відповідає числу перемикачів комутатора, а частота обертання двигуна відповідає частоті перемикачів електронного комутатора.

Крокові двигуни відрізняються за конструктивними групами: активного типу (з постійними магнітами), реактивного типу і індукторні.

3.2. Крокові синхронні двигуни активного типу.

На відміну від синхронних машин безперервного обертання крокові двигуни мають на статорі явно виражені полюса, на яких розташовані котушки обмоток управління. Принцип дії крокового двигуна активного типу розглянемо на прикладі двофазного двигуна.

Розрізняють два види комутації обмотки крокової двигуна: симетрична і несиметрична.

При симетричній системі комутації на всіх чотирьох тактах збуджується однакове число обмоток управління. Принципова схема управління кроковим двигуном показана на рис. 3.2.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

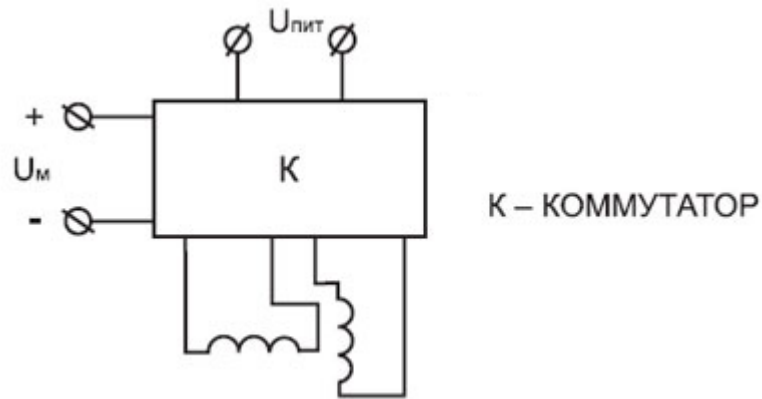


Рисунок 3.2-Схема управління кроковим двигуном

При несиметричній системі комутації парним і непарним тактам відповідає різне число збуджених обмоток управління.

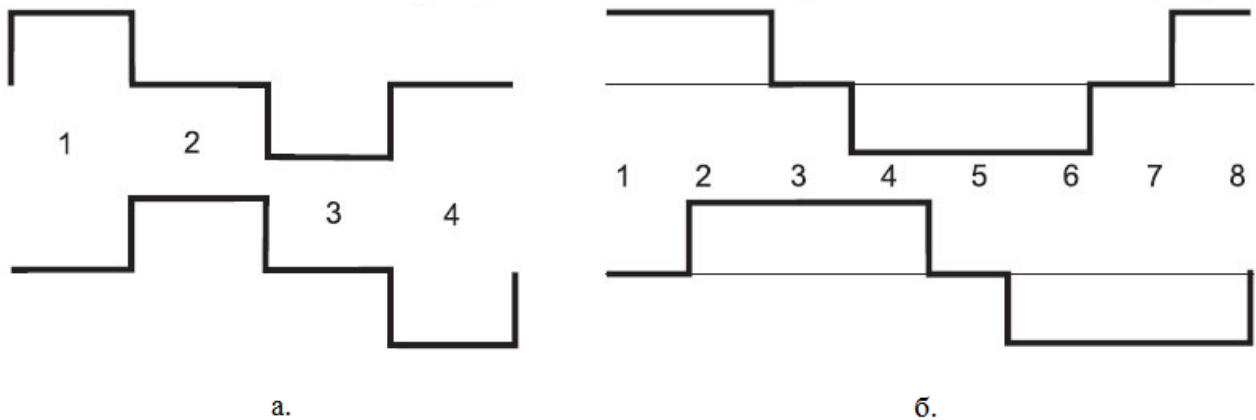


Рисунок 3.3- Симетрична (а), та несиметрична (б) системи.

Число тактів K_T системи управління називають кількістю станів комутатора на періоді його роботи T . Як видно з рисунків для симетричній системі управління $K_T = 4$, а для несиметричною $K_T = 8$.

У загальному випадку число тактів K_T залежить від числа обмоток управління (фаз статора) m_y і може бути пораховано за формулою:

$$K_T = m_y n_1 n_2,$$

де: $n_1 = 1$ - при симетричній системі комутації;

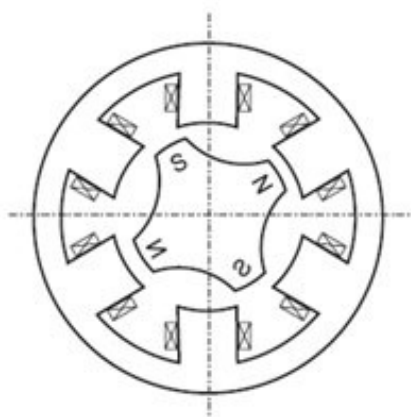
$n_1 = 2$ - при несиметричною системі комутації;

$n_2 = 1$ - при однополярній комутації;

$n_2 = 2$ - при двополярній комутації.

При однополярній комутації струм в обмотках управління протікає в одному напрямку, а при двополярній - в обох. Синхронізуючий (електромагнітний) момент машини є результатом взаємодії потоку ротора з дискретно обертовим магнітним полем статора. Під дією цього моменту ротор прагне зайняти таке положення в просторі машини, при якому осі потоків ротора і статора збігаються. Ми розглянули крокові синхронні машини з однією парою полюсів ($p = 1$). Реальні крокові мікродвигуни є багатополюсними ($p > 1$). Для прикладу наведемо двополюсність трифазний кроковий двигун (рис.3.4).

Двигун з p парами полюсів має зубчастий ротор у вигляді зірочки з рівномірно розташованими вздовж окружності $2p$ постійними магнітами. Для багатополюсною



машини величина кутового кроку ротора дорівнює:

$$\alpha_{ш} = 360 / K_{тp}$$

Чим менше крок машини, тим точніше (за абсолютною величиною) буде відпрацьовуватися кут. Збільшення числа пар полюсів пов'язано з технологічними можливостями і збільшенням потоку розсіювання. Тому $p = 4 \dots 6$. Зазвичай величина кроку ротора активних крокових двигунів становить десятки градусів.

Рисунок 3.4-Двополюсний трифазний кроковий двигун

3.3. Реактивні крокові двигуни.

У активних крокових двигунів є один істотний недолік: у них великий крок, який може досягати десятків градусів.

Реактивні крокові двигуни дозволяють редукувати частоту обертання ротора. В результаті можна отримати крокові двигуни з кутовим кроком, що становить частки градуса.

Відмінною особливістю реактивного редукторного двигуна є розташування зубців на полюсах статора. Принцип дії реактивного КД показано на рис. 3.5.

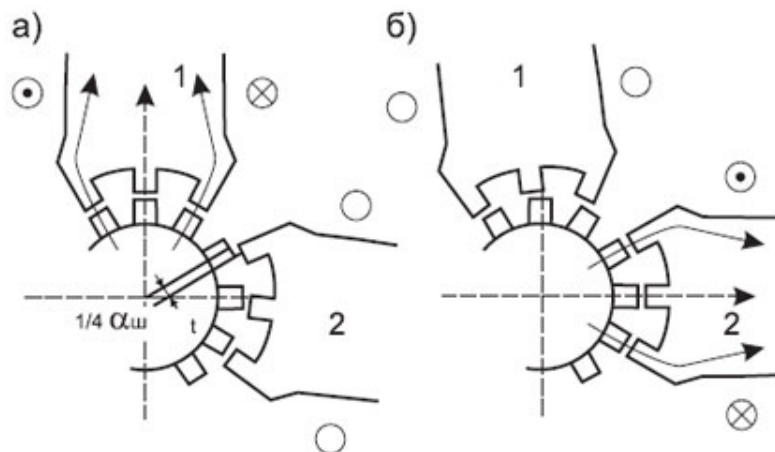


Рисунок 3.5-Розташування зубців на полюсах статора редукторного двигуна : а – вихідне положення сталої рівноваги, б – положення сталої рівноваги зсунуте на один крок.

При великій кількості зубців ротора Z_p його кут повороту значно менше кута повороту поля статора. Величина кутового кроку редукторного реактивного крокової двигуна визначиться виразом:

$$\alpha_{ш} = 360 / K_T Z_p$$

У вираженні для K_T величину n_2 слід брати рівною 1, тому що зміна напрямку поля не впливає на положення ротора.

Електромагнітний синхронізуючий момент реактивного двигуна обумовлений, як і в разі звичайного синхронного двигуна, різною величиною магнітних опорів по поздовжній і поперечній осях двигуна.

Основним недоліком крокової реактивного двигуна є відсутність синхронізуючого моменту при знеструмлених обмотках статора.

Підвищення ступеня редукції крокових двигунів, як активного типу, так і реактивного, можна досягти застосуванням двох, трьох і многопакетних конструкцій. Зубці статора кожного пакета зрушені відносно один одного на частину зубцевого ділення. Якщо число пакетів два, то це зрушення дорівнює $1/2$ зубцевого ділення, якщо три, то - $1/3$, і т.д.

У той же час ротори-зірочки кожного з пакетів не мають просторового зсуву, тобто осі їх полюсів повністю збігаються. Така конструкція складніше у виготовленні і дорожче однопакетного, і, крім того, вимагає складного комутатора.

Індукторні (гібридні) крокові двигуни. Прагнення поєднати переваги активного крокової двигуна (велика питома синхронізуючий момент на одиницю об'єму, наявність фіксуємого моменту) і реактивного крокової двигуна (мала величина кроку) привело до створення гібридних індукторних крокових двигунів.

В даний час є велика кількість різних конструкцій індукторних двигунів, що розрізняються числом фаз, розміщенням обмоток, способом фіксації ротора при знеструмленому статорі і т.д. У всіх конструкціях індукторних крокових двигунів крутний момент створюється за рахунок взаємодії магнітного поля, створюваного обмотками статора і постійного магніту в зубчастій структурі повітряного зазору. При цьому синхронізуючий момент крокової індукторного двигуна по природі є реактивним і створюється намагнічуючою силою обмоток статора, а постійний магніт, розташований або на статорі, або на роторі, створює фіксує момент, що утримує ротор двигуна в заданому положенні за відсутності струму в обмотках статора.

У порівнянні з кроковим двигуном реактивного типу у індукторного крокової двигуна при однаковій величині кроку більше синхронізуючий момент, кращі енергетичні і динамічні характеристики.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

3.4. Лінійні крокові синхронні двигуни.

При автоматизації виробничих процесів вельми часто необхідно переміщати об'єкти в площині (наприклад, в графобудівниках сучасних ЕОМ і т.д.). У цьому випадку доводиться застосовувати перетворювач обертового руху в поступальний за допомогою кінематичного механізму.

Лінійні крокові двигуни (ЛКД) перетворюють імпульсну команду безпосередньо в лінійне переміщення (рис.3.6). Це дозволяє спростити кінематичну схему різних електроприводів.

Статор ЛКД являє собою плиту з магнітом'якого матеріалу. Намагнічування магнітодроту проводиться постійним магнітом.

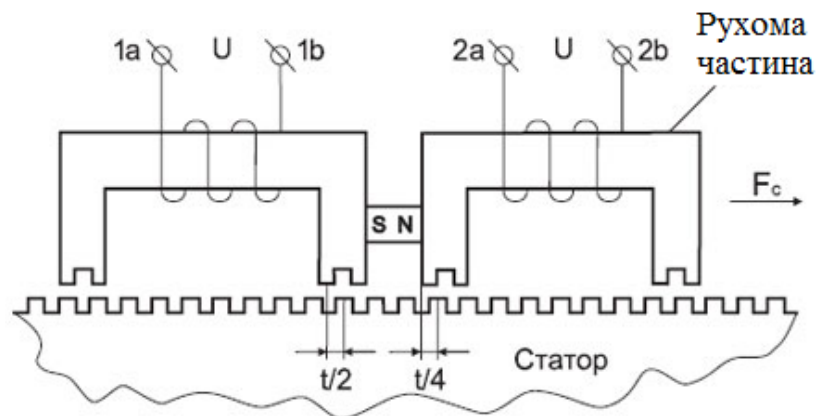


Рисунок 3.6- Схема лінійного крокового двигуна.

Зубцеві ділення статора і рухомої частини двигуна рівні. Зубцеві ділення в межах одного магніто-проводу ротора зміщені на половину зубцевого ділення $t / 2$. Зубцеві ділення другого муздратра зрушені щодо зубцову поділів першого муздратра на чверть зубцевого ділення $t / 4$. Магнітний опір потоку підмагнічування не залежить від положення рухомої частини.

Принцип дії лінійного крокової двигуна не відрізняється від принципу дії індукторного крокової двигуна. Різниця лише в тому, що при взаємодії потоку обмоток управління зі змінною складової потоку підмагнічування створюється не

момент, а сила F_C , яка переміщує рухома частину таким чином, щоб проти зубців даного муздратрау перебували зубці статора, тобто на чверть зубцевого ділення $t / 4$.

$$\Delta X_{ш} = t_z / K_t$$

де K_t - число тактів схеми управління.

Для переміщення об'єкта в площині по двох координатах застосовуються двокоординатні лінійні крокові двигуни.

В лінійних крокових двигунах застосовують магніто-повітряну підвіску. Ротор притягається до статора силами магнітного тяжіння полюсів ротора. Через спеціальні форсунки під ротор нагнітається стиснене повітря, що створює силу відштовхування ротора від статора. Таким чином, між статором і ротором створюється повітряна подушка, і ротор підвішується над статором з мінімальним повітряним зазором. При цьому забезпечується мінімальний опір руху ротора і висока точність позиціонування.

3.5 Вимоги до електроприводу

До приводу пред'являються вимоги наступні:

Точність позиціонування - 10 мкм

Перерегулювання - 20%

Максимальна швидкість - 0,28 м / с

Максимальне прискорення - 18 м / с²

Електродвигуни М1 і М2 є двофазним лінійними кроковими електродвигунами, які здійснюють переміщення ротора (ХУ-столу) за координатами Х і У. Управління рухом ротора, згідно закладеної програми здійснюється за допомогою мікропроцесора.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

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 записуючого пристрою зберігаються програми переміщення ХУ-столу.

Модуль гальванічної розв'язки 2 і вихідні драйвера здійснюють зв'язок між мікропроцесором і комп'ютером (РС).

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

Цифроаналогові 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 до схеми захисту від перевантаження по струму.

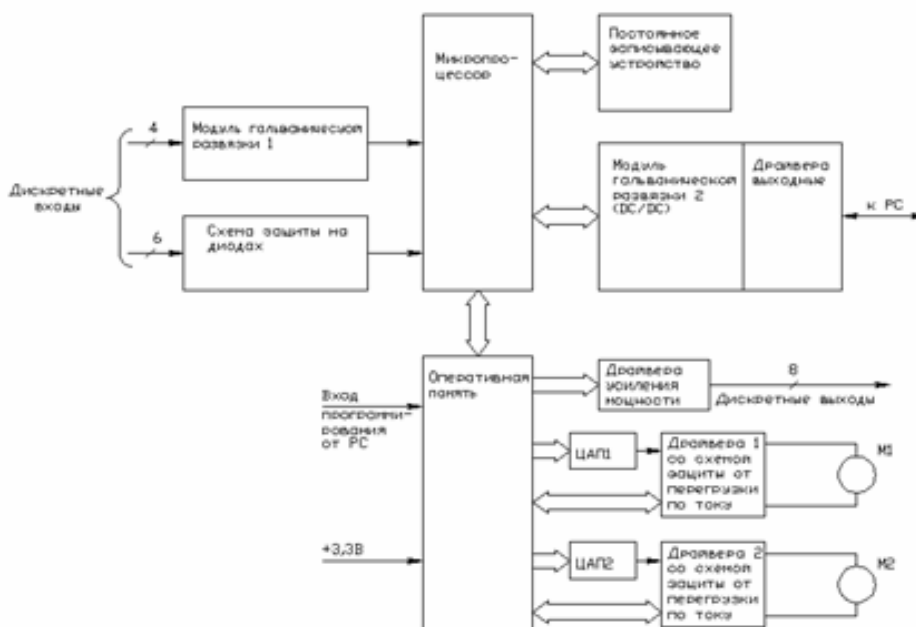


Рисунок 3.7 - Функціональна схема електроприводу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

4.1 Розрахунок навантажень

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

Кроковий двигун в проектуваному 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 все 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, переміщається на повітряній подушці. Зміна статичного моменту не відбувається, оскільки установка знаходиться в спеціальному приміщенні з стабілізованою температурою, оскільки великі зміни температури негативно позначаються на точності позиціонування. Отже, зусилля тяги в статичному режимі можна визначити за формулою [4]

$$F_C = \beta \cdot v$$

де $\beta=10^{-4}$ Нм·с - коефіцієнт в'язкого тертя крокового 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 (4 мм) - $t_p = 0,03$ 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 рисунку 4.1.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

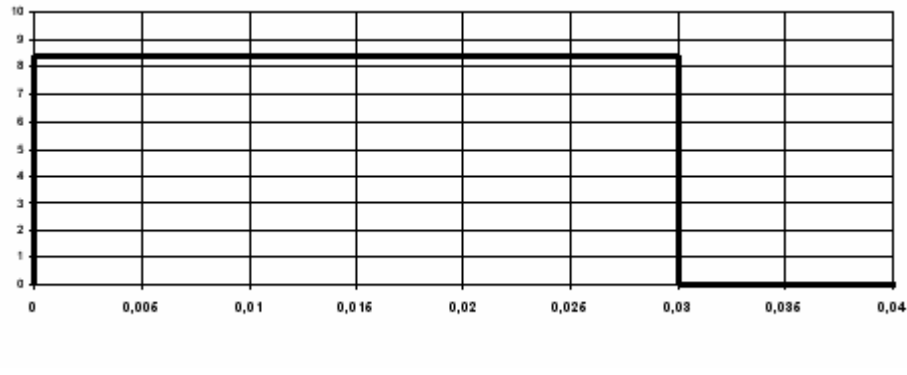


Рисунок 4.1-Навантажувальна діаграма механізму

Так як тягове зусилля при розгоні і гальмуванні значно перевищує зусилля в статичному режимі, вибір електродвигуна можна проводити, ґрунтуючись на спрощеній навантажувальній діаграмі механізму.

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

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

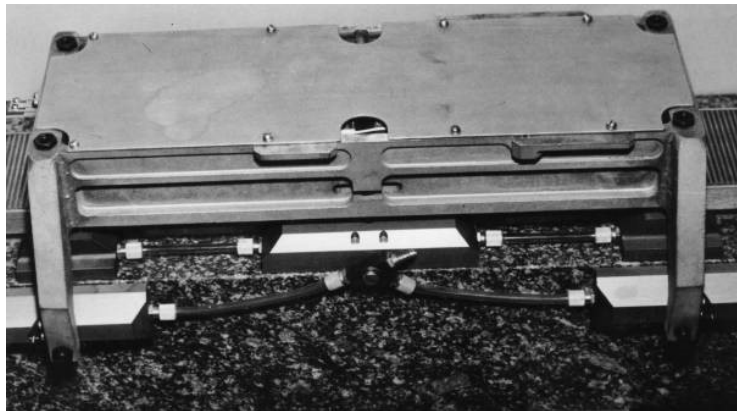


Рисунок 4.2 – Конструктивне виконання двигуна.

Стабільність статичних характеристик залежить від впливів, що обурюють на систему. Зокрема, основним возмущаючим впливом в системі керування

електроприводом є навантаження на валу електродвигуна, яка обумовить зміни заданої швидкості його обертання. Як статичної характеристики системи розглядається залежність швидкості від статичного моменту, при сталості задає впливу.

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

Статичне навантаження обмежується тільки силами тертя і дуже мала в порівнянні з динамічним зусиллям. Крім того, статичне навантаження незмінна в часі. Установка знаходиться в приміщенні зі стабілізованою температурою.

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

4.2 Попередній вибір потужності двигуна

Вибір ЛШД здійснюється по зусиллю тяги, необхідного для позиціонування робочого органу з певною 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 , по формулі:

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

Розраховується необхідне зусилля тяги F :

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

За необхідному зусиллю тяги вибираємо лінійний кроковий двигун НР 30848101(рис.4.2).

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

4.3 Вибір номінальної швидкості двигуна і типу двигуна

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 двигу:

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

Розрахуємо момент двигуна для кожного інтервалу роботи механізму: розгін:

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

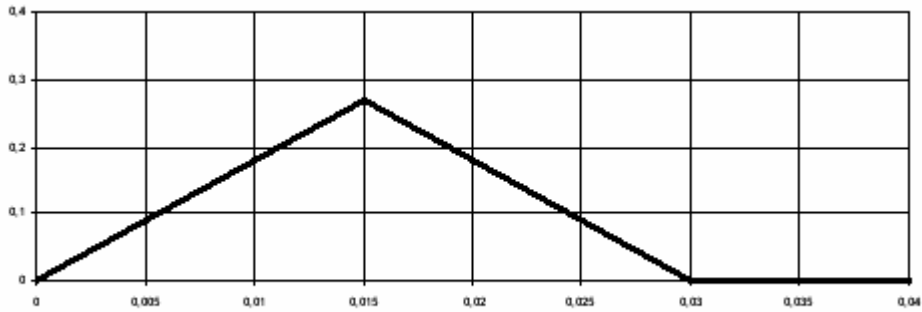
Сталий режим роботи:

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

гальмування:

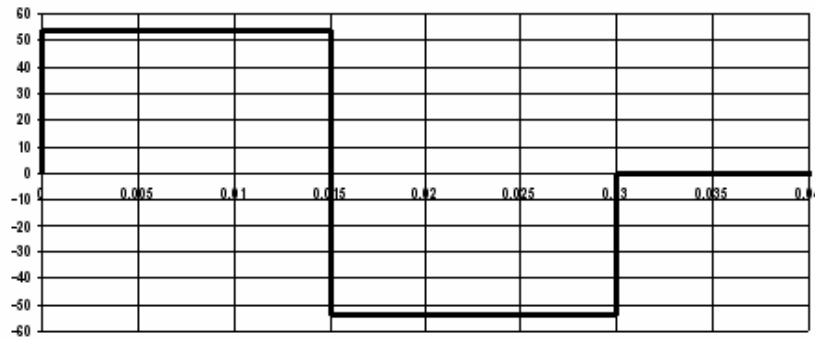
$$F_3 = -m \cdot a + \beta \cdot v = -3 \cdot 17,8 + 0,27 \cdot 10^{-4} = -53,4 \text{ Н.}$$

$V, \text{ м/с}$



t, c

Рисунок 4.3 - Швидкісна діаграма електроприводу



t, c

Рисунок 4.4 - Навантажувальна діаграма електроприводу

Таблиця 4.1 - Параметри двигуна НР 30848101

параметри	значення
Максимальний струм в фазі, А	1,5
Дроблення, мікрошагов / оборот	6400
Максимальне переміщення, дискрет	8388608
Опір обмотки фази, Ом	5
Індуктивність обмотки фази, мГн	0,3
Маса ротора, кг	3
число фаз	2
Тягове зусилля, Н	55
Величина кроку, мкм	10
Максимальна швидкість, м / с	0,3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРБ.ЕМ та М.797-03.16

Лист

39

4.4. Перевірка двигуна по нагріванню і перевантажувальній здатності

Спрощена нагрозочная 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

$$M_{\text{Э}} \leq M_{\text{ном}}$$

У разі лінійного двигуна:

$$F_{\text{Э}} \leq F_{\text{ном}}$$

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

Тоді еквівалентне зусилля тяги двигуна визначимо за формулою

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

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

$$F_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{53,4^2 \cdot 0,015 \cdot 2}{0,015 \cdot 2}} = 53,4 \text{ Н.} \quad \text{Э} \leq F_{\text{н}}$$

, $4 \text{ Н} \leq 55 \text{ Н}$ -Двигун буде задовольняти умовам нагріву.

З навантажувальної діаграми (Мал. 4.4) видно, що

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

отже, обраний двигун задовольняє умовам перевантажувальній здатності.

5. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ

5.1. Комплектний перетворювач частоти

В системі управління розімкненим кроковим приводом важливі період квантування, розрядність і структура периферійних пристроїв. Період квантування для разомкнутого приводу визначається максимальним завданням швидкості. Для разомкнутого крокової приводу період квантування бажано мати не більше 100 мкс. Важлива характеристика процесора - його розрядність. Для забезпечення мікрошаговий управління в широкому діапазоні переміщень, швидкостей і прискорень необхідна розрядність процесора не менше 16. Систему управління розімкненим кроковим приводом можна побудувати на базі мікропроцесора КР1816ВЕ31 [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 вводу-виводу дискретних сигналів на 2 або 4 вхідних сигналу і 4 вихідних сигнали (з них 2 з оптронної 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 управління".

Однак, перерахованим вимогам краще відповідають 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 кількома осями разомкнутого крокової приводу із завданням мікрошага 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 на кафедрі АЕП МЕІ

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

застосувань разомкнутого крокової 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.

6. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ЕЛЕКТРОННІЙ МОДЕЛІ

Моделювання електроприводу на базі лінійного крокового двигуна у пакеті SimPowerSystems.

На рис. 6.1 показано схему електроприводу на базі лінійного крокового двигуна.

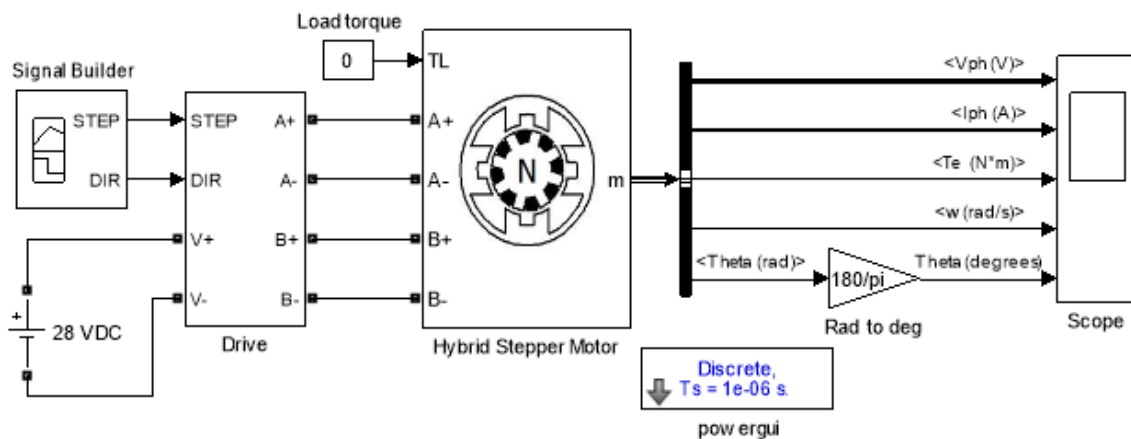


Рисунок 6. 1- Модель електроприводу з лінійним кроковим двигуном.

Кроковий двигун керується сигналами STEP і DIR, що надходять із блоку Signal Builder (мал.6. 2). Сигнал STEP регулює кутові переміщення крокового двигуна: при одиничному сигналі відбувається ступінчасте зрушення (крок) повороту ротора, при нульовому – зупинка. Сигнал DIR регулює напрямок переміщення ротора: 1 – пряме, 0 – зворотне.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

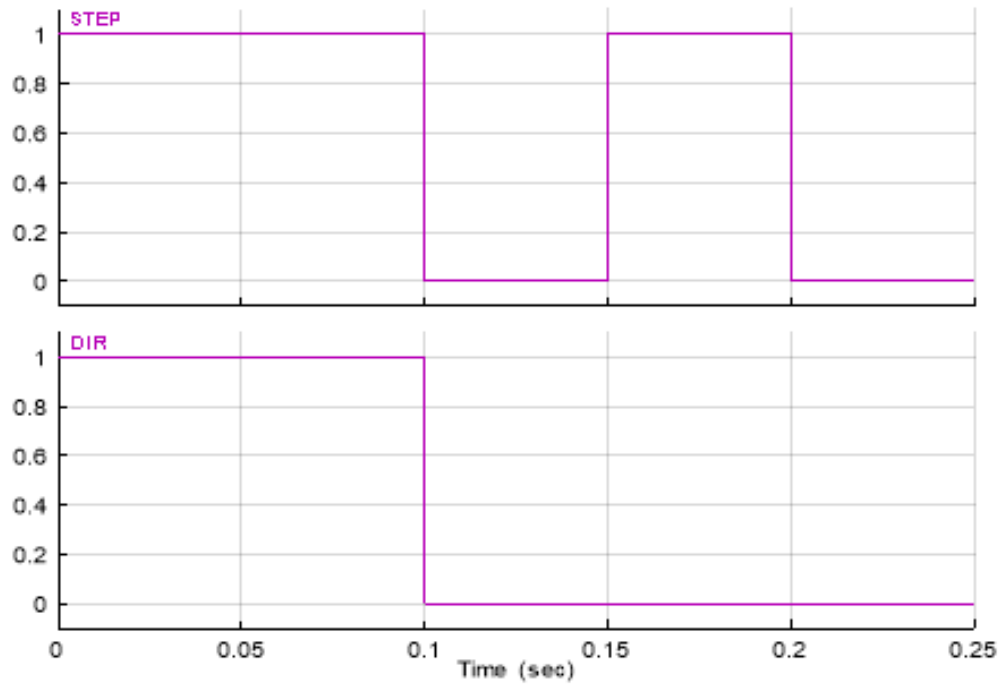


Рисунок 6. 2.-Завдання сигналів STEP .

Блок крокового двигуна (Stepper Motor) необхідно перенести з бібліотеки SimPowerSystems (розділ Specialized Technology/Fundamental Blocks/Machines) на робоче поле моделі, у блоці вибрати тип двигуна – гібридний (Hybrid), число фаз – 2 та задати інші параметри, вказані на рис.5.3.

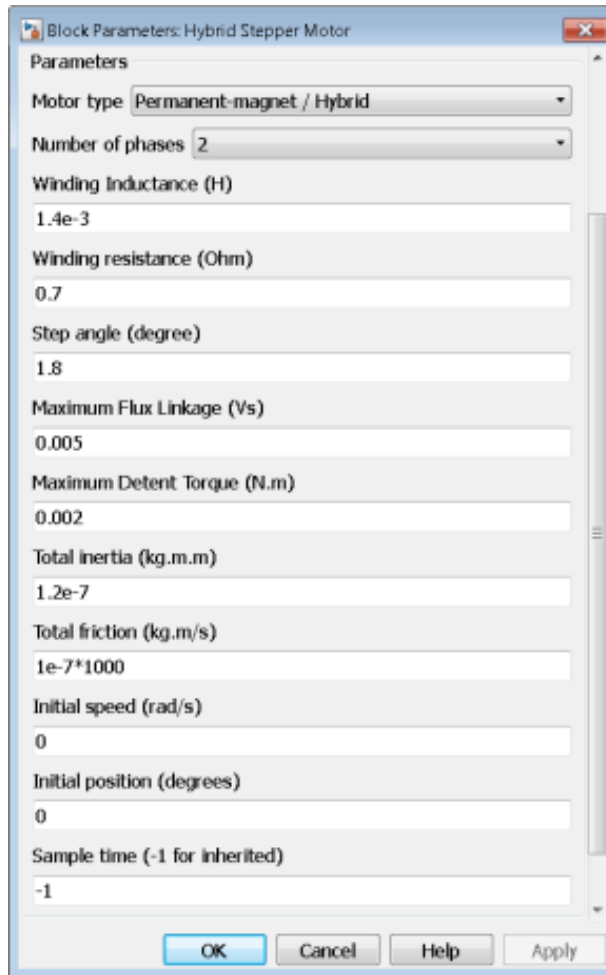


Рисунок 6. 3- Вікно параметрів гібридного крокового двигуна (Hybrid Stepper Motor)

Блок Drive представлений на рис. 6.4.

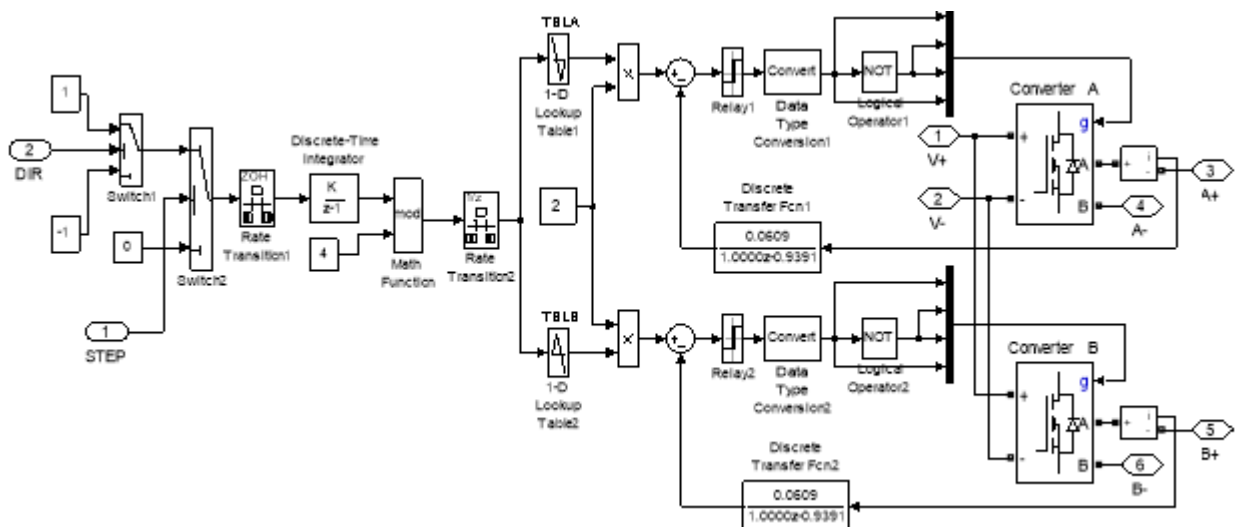


Рисунок 6. 4- Блок Drive

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

У параметрах перемикачів Switch1 та Switch2 необхідно встановити значення Threshold: 0.5. У блоці Math Function вибрати функцію mod. У блоках Logical Operator встановити оператор NOT. У блоці Discrete-time integrator встановити: – Integrator method: Accumulation Forward Euler; – Initial condition setting: Output; – Sample time: $\text{round}(1/500/T_s) \cdot T_s$. У властивостях константи зі значенням 4, яка підводиться до блоку Math Function, також має бути встановлений параметр Sample time: $\text{round}(1/500/T_s) \cdot T_s$. Параметри елементів TBLA та TBLB (блоки 1-D Lookup Table 1 та 2) представлені на рис. 6.4

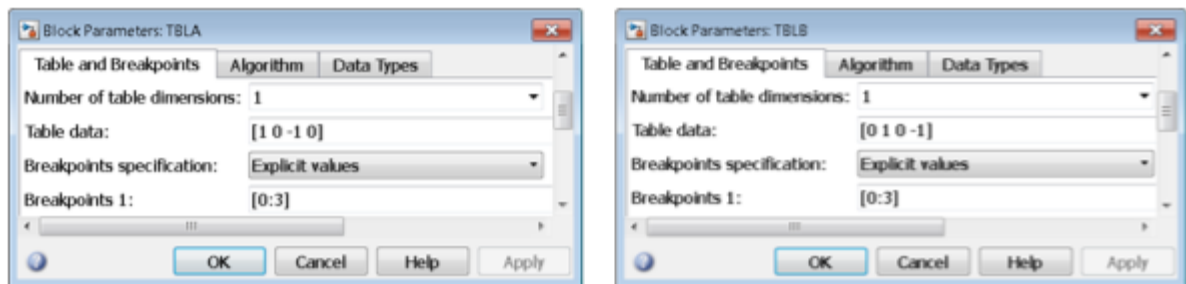


Рисунок 6. 5- Параметри блоків TBLA та TBLB

Параметри блоків Relay: – switch on point: 0.01; – switch off point: -0.01; – output when on: 1; – output when off: 0; – input processing: Inherited. У властивостях блоків Discrete Transfer Fcn необхідно задати: - Чисельник (Numerator): [0, 0.0609]; – Знаменник (Denominator): [1.0000, -0.9391]. Converter A та Converter B представлені блоками Universal Bridge, їх параметри дано на рис. 6. 6.

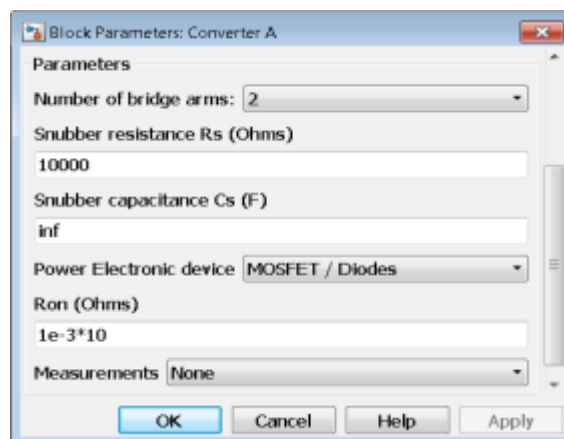


Рисунок 6. 6- Параметри блоків Converter A та Converter B

Для роботи моделі у SimPowerSystems необхідно додати блок Powergui, у якому необхідно встановити такі параметри: – Simulation type: Discrete; – Solver type: Tustin/Backward Euler (TBE); – Sample time: Ts.

Результати моделювання лінійного крокового двигуна SimPowerSystems наведено на рис. 6.7, 6. 8, 6.9 та 6.10.

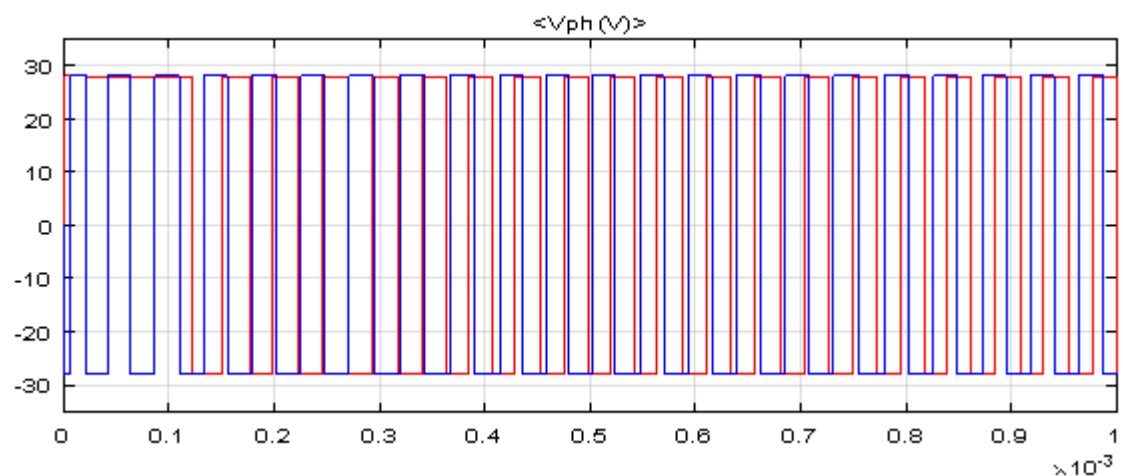


Рисунок 6. 7 Напруги на двох обмотках крокового двигуна

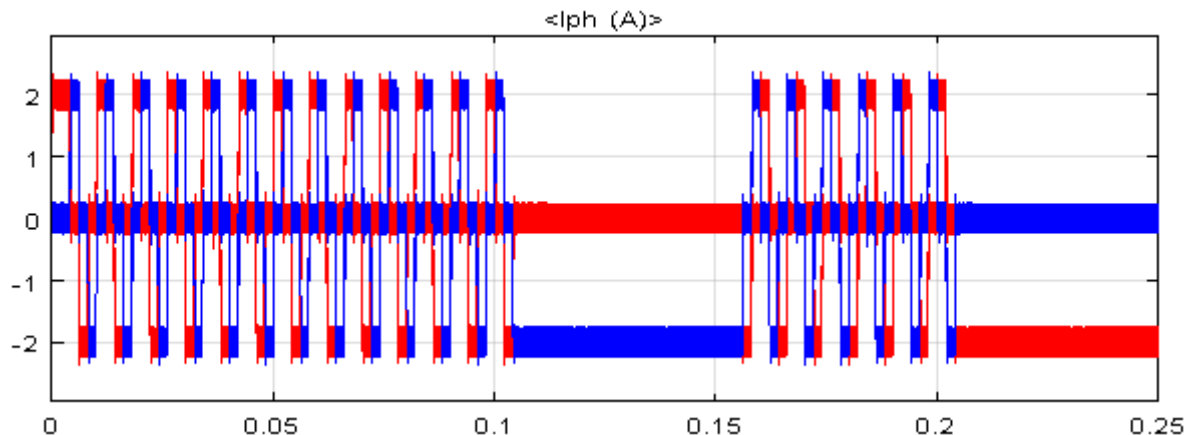


Рисунок 8. 8- Струми на двох обмотках крокового двигуна

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРБ.ЕМ та М.797-03.16

Лист

46

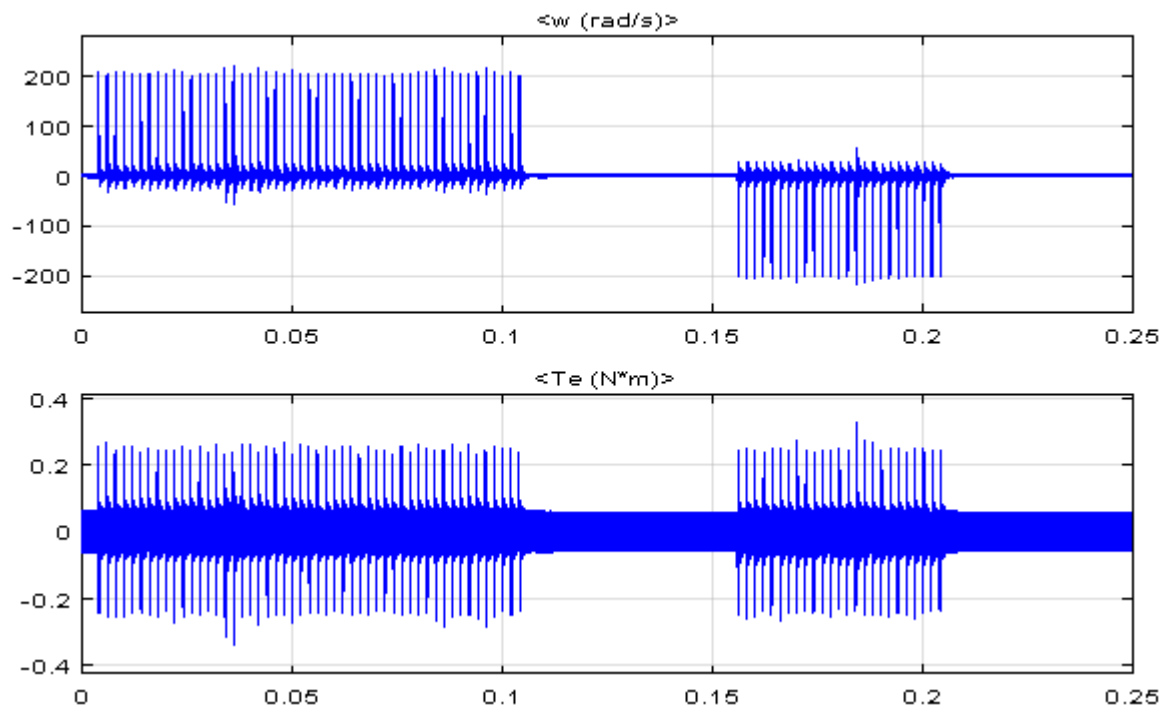


Рисунок 6. 9.-Швидкість та електромагнітний момент крокового двигуна

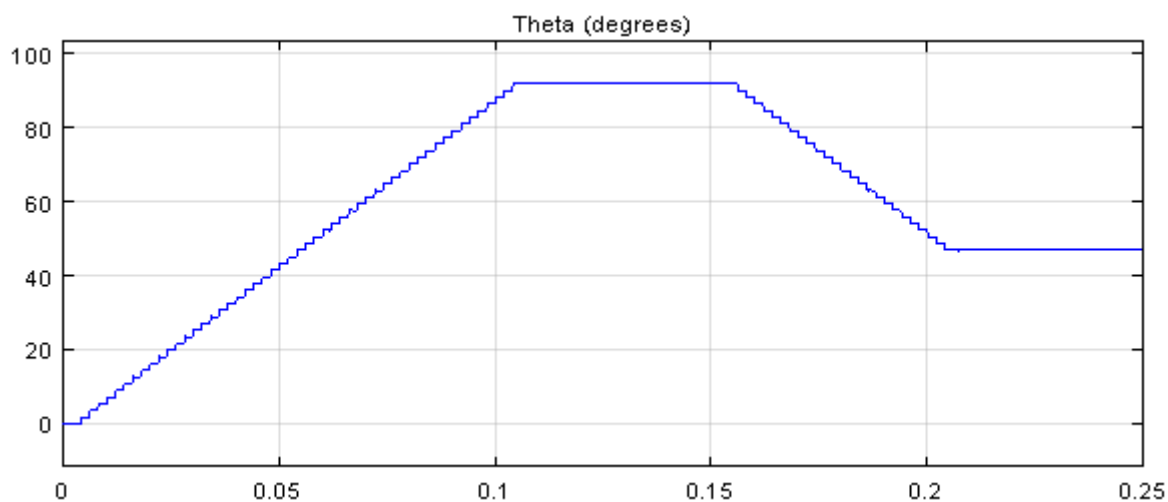


Рисунок 6. 10- Кут повороту на валу крокового двигуна

Примітка: щоб уникнути помилок при запуску розрахунку моделі, необхідно відкрити меню Simulation, вибрати Model Configuration Parameters.

У вікні, що відкрилося, в меню Diagnostics перейти до пункту Connectivity і встановити значення Mux blocks used to create bus signals: error, як показано на мал б. 11.

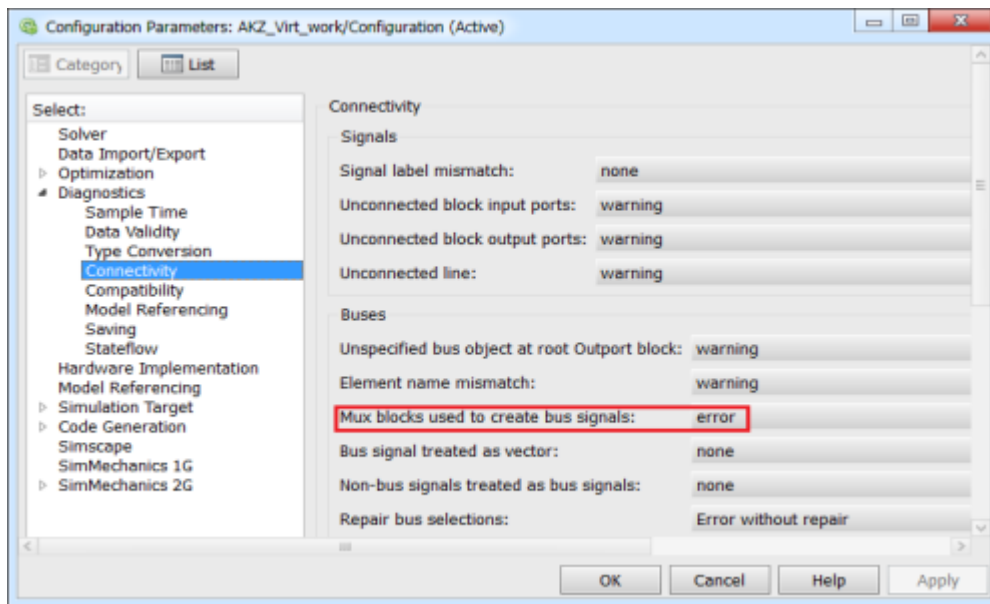


Рисунок 6. 11. Вікно параметрів

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

7. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В порівнянні з базовою системою нова система володіє такими перевагами:

- а) покращенням показників економії електроенергії;
- б) підвищенням ефективності та надійності системи;

Визначимо ефективність застосування нової системи керування електроприводу шляхом співставлення показників базового і нового варіантів.

При співставленні варіантів технічних рішень по впровадженню нових видів обладнання і технологічних процесів використовують метод порівняльної економічної ефективності. При цьому методі основними показниками є мінімум приведених затрат Z , який є сумою річних експлуатаційних затрат C і капітальних вкладень K , приведених до однієї розмірності в відповідальності з нормативним коефіцієнтом ефективності E_n .

Капітальні вкладення включають в себе всі одноразові витрати: відпускну ціну нової техніки, затрати на її транспортування, монтаж і наладку, затрати на демонтаж старого обладнання та інше.

$$Z = C + E_n \cdot K \quad (7.1)$$

де $E_n = 0,08 \div 0,15$ (для нової техніки $E_n = 0,15$).

Повні економічні витрати:

$$Z_e = Z_{en} + Z_{br} + Z_{ab} + Z_{mb} \quad (7.2)$$

де індекси **б** і **н** відносяться до базового і нового варіантів.

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_n - K_b}{Z_b - Z_n} \quad (7.3)$$

де $T_{ок}$ – строк окупності додаткових капітальних затрат.

7.1 Визначення величини витрат запропонованого варіанту

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів приведений в таблиці 7.1

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

Таблиця 7.1

Найменування електрообладнання	N	Кошторисна вартість			
		Базова		Нова	
		за шт., грн	Всього, грн	за шт., грн	Всього, грн
ПЧ-АД	1	7000	7000	21591	21591
Кроковий двигун НР3084101	2	3500	7000	3500	7000

Прод
овже
ння
табл.
7.1

Всього	7000		28591
Транспортні витрати (13%)	910		3716
Монтажні роботи (10%)	700		2859
Капітальні вкладення всього	8610		35166

7.2 Розрахунок фонду заробітної платні

Розрахуємо оплату праці по існуючому тарифу. Так як установка є установкою з напругою до 1000В, де напруга живлення $U=0,4$ кВ, то згідно ПУЕ обслуговувати може дану установку 2 робітники, у яких розряд не нижче четвертого, а група допуску не нижче ніж третя по електробезпеці. Тарифна ставка 1-го розряду ТС1 складає 6,8 грн/год.

$$TC4 = 1,27 \cdot TC1 = 1,27 \cdot 6,8 = 8,6 \text{ (грн / год)} \quad (7.4)$$

Розраховуємо заробітну плату по існуючому тарифу:

$$Z_m = TC4 \cdot t = 8,6 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 8 = 3302,4 \text{ (грн.)} \quad (7.5)$$

де ТС4 – це тарифна ставка робітника IV розряду; m – кількість робочих днів в місяці.

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$P_{nm} = \frac{Z_m \cdot H_{nm}}{100} = \frac{3302,4 \cdot 10}{100} = 330,24 \text{ (грн.)} \quad (7.6)$$

де H_{nm} – надбавка за професійну діяльність (для працівників з четвертим розрядом складає 10%).

$$P_{yn} = \frac{(Z_m + P_{nm}) \cdot H_{yn}}{100} = \frac{3302,4 + 330,24 \cdot 17}{100} = 89,16 \text{ (грн.)} \quad (7.7)$$

де H_{yn} – надбавка за умови праці, що для четвертого розряду складає 17%.

Всього постійна заробітна плата складає:

$$Z_{пост} = Z_m + P_{nm} + P_{yn} = 3302,4 + 330,24 + 89,16 = 3721,8 \text{ (грн.)} \quad (7.8)$$

Оплата премій $K = 15 - 20\%$.

$$P_{пр} = \frac{Z_{пост} \cdot K}{100} = \frac{3721,8 \cdot 17}{100} = 632,7 \text{ (грн.)} \quad (7.9)$$

Всього основна заробітна плата:

$$Z_{осн} = Z_{пост} + P_{пр} = 3721,8 + 632,7 = 4354,5 \text{ (грн.)} \quad (7.10)$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату:

$$Z_{дод} = Z_{осн} \cdot 0,1 = 4354,5 \cdot 0,1 = 435,45 \text{ (грн.)} \quad (7.11)$$

Знайдемо відрахування в фонд соціального страхування, що складають 22 % від суми додаткової та основної заробітної плати.

$$Z_{нф} = 0,22 \cdot (Z_{осн} + Z_{дод}) = 0,22 \cdot (4354,5 + 435,45) = 1039,86 \text{ (грн.)} \quad (7.12)$$

Загальний фонд оплати праці складає:

$$\Phi = (Z_{осн} + Z_{дод} + Z_{нф}) \cdot 2 \cdot 12 = (4354,5 + 435,45 + 1039,86) \cdot 2 \cdot 12 = 138396,96 \text{ (грн.)} \quad (7.13) \quad \mathbf{7.3}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат для базового і нового варіантів

Розмір капіталовкладень для базового і нового варіантів:

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$K_6 = 8610 \text{ грн,}$$

$$K_n = 35166 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт обладнання. При використанні ПЧ-АД зменшуються пускові струми, втрати в кабелях, збільшується надійність всієї установки, тобто кількість поломок зменшується, а отже надійність системи електроприводу зростає. Заплановані витрати на поточний ремонт і обслуговування при базовому варіанті становлять 6%, а при новому 3%.

$$Z_{op} = 0,06 \cdot K_6 = 0,06 \cdot 8610 = 516 (\text{грн.}) \quad (7.14)$$

$$Z_{np} = 0,03 \cdot K_n = 0,03 \cdot 35166 = 1054 (\text{грн.}) \quad (7.15)$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

$$Z_a = \sum N_{ai} \cdot K_i. \quad (7.16)$$

де N_a -(0,5) норма амортизаційних відрахувань.

$$Z_{a6} = 0,5 \cdot 8610 = 4305 (\text{грн.})$$

$$Z_{an} = 0,5 \cdot 35166 = 17583 (\text{грн.})$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 20%, а при новому 5% від фонду оплати праці:

$$Z_m = 0,2 \cdot \Phi \quad (7.17)$$

$$Z_{m6} = 0,2 \cdot 138396,96 = 27679,39 (\text{грн.})$$

$$Z_{mn} = 0,05 \cdot 138396,96 = 6919,84 (\text{грн.})$$

Повні експлуатаційні витрати:

$$Z_e = Z_{op} + Z_{a6} + Z_{m6} \quad (7.18)$$

$$Z_{e6} = 516 + 4305 + 27679,39 = 32500 (\text{грн.})$$

$$Z_{en} = 1054 + 17583 + 6919,84 = 25556 (\text{грн.})$$

7.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахуємо річний економічний ефект за експлуатаційними витратами згідно формули (9.2):

$$Z_{ef} = 32500 - 25556 = 6944 (\text{грн.})$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_n - K_o}{Z_{ef}} = \frac{35166 - 8610}{32500 - 25556} = 3,8 \text{ роки} \quad (7.19) \quad 7.5$$

Техніко економічне обґрунтування вибору системи електроприводу

Для даного технологічного процесу можна використати такі системи: ПЧ-АД. Для розгляду економічної сторони вигідності тієї чи іншої системи використовуємо метод зведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C \quad (6720)$$

$$Z = 0,15 \cdot 35166 + 23893 = 29167 (\text{грн}).$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_n = 0.15$),

K – капіталовкладення, в які входять вартість двигуна D та системи керування СК;

C – собівартість:

$$C = C_a + C_o + C_{\Delta W}, \quad (7.21)$$

$$C = 17583 + 527 + 5783 = 23893 (\text{грн}).$$

де C_a – амортизаційні відрахування;

$$C_a = E_a \cdot K, \quad (7.22)$$

$$C = 0,5 \cdot 35166 = 17583 (\text{грн}).$$

C_o – витрати на обслуговування і ремонт:

$$C_o = E_o \cdot K, \quad (7.23)$$

$$C_o = 0,015 \cdot 35166 = 527 \text{ (грн).}$$

де $E_o = 0,5$

$C_{\Delta W}$ – витрати на електроенергію:

$$C_{\Delta W} = m_o \times \Delta W, \quad (7.24)$$

$$C_{\Delta W} = 1,6 \cdot 361 = 577 \text{ (грн).}$$

де $E_o = 0,015$, $m_o = 1,6$ грн/кВт год – вартість електроенергії

ΔW – кількість втраченої електроенергії за рік:

$$\Delta W = \Delta P \times T_p, \quad (7.25)$$

$$\Delta W = 0,784 \cdot 4608 = 361 \text{ (кВт·год)}$$

де T_p – річний час роботи обладнання ($T_p = 4608$ год.).

Втрати потужності:

$$\Delta P = k_3 \cdot P_n \times (1 - \eta_d) / \eta_d, \quad (7.26)$$

$$\Delta P = 0,7 \cdot 7,5 \cdot (1 - 0,87) / 0,87 = 0,784 \text{ (кВт)}$$

де $k_3 = 0,7$ – коефіцієнт завантаження, $\eta_d = 0,87$ – ККД двигуна.

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{3} = \frac{35166}{29167} = 1,2 \text{ (років)}. \quad (7.27)$$

Покажемо приклад розрахунку для системи ПЧ-ЛАД. При вартості двигуна $D = 8000$ грн. та системи керування $СК = 13540$ грн. капіталовкладення становитимуть:

$$K = D + CK, \quad (6.28)$$

$$K = 8000 + 13540 = 21540 \text{ (грн.)}$$

Амортизаційні витрати відповідно до

$$C_a = 0,5 \cdot 21540 = 10770 \text{ (грн.)} \quad (7.29)$$

Витрати на обслуговування і ремонт відповідно до

$$C_o = 0,015 \cdot 21540 = 323 \text{ (грн.)} \quad (7.30)$$

Втрати потужності відповідно до (9.26):

$$\Delta P = 0,7 \cdot 7,5 \cdot (1 - 0,87) / 0,87 = 0,784 \text{ (кВт)}.$$

Кількість втраченої електроенергії за рік відповідно до (7.31)

$$\Delta W = 0,784 \cdot 4608 = 361 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрати на електроенергію відповідно до (9.25):

$$C_{\Delta W} = 1,6 \cdot 361 = 577 \text{ (грн.)}.$$

Собівартість відповідно до (9.21):

$$C = 10770 + 323 + 577 = 11670 \text{ (грн.)}.$$

Зведені витрати відповідно до (9.20):

$$Z = 0,15 \cdot 21540 + 11670 = 14901 \text{ (грн.)}.$$

Термін окупності відповідно до (9.27):

$$T = 21540 / 14899 = 1,44 \text{ (років)}.$$

Аналогічним чином розраховуються економічні показники і для системи ПЧ-АД.

Результати розрахунків зводимо до таблиці 7.2.

З економічної сторони найбільш швидко окупляться обидві системи ПЧ-АД, але система ПЧ-ЛАД потребує більших капіталовкладень.

Табл. 7.2

Порівняння варіантів систем

Показники	Тип системи
-----------	-------------

	ПЧ-АД	ПЧ-ЛАД
Потужність двигуна P_n , кВт	7,5	
Вартість двигуна (Д), грн.	7000	8000
Вартість системи керування (СК), грн.	28166	13540
Капіталовкладення, грн	35166	21540
E_a	0,5	
Амортизаційні відрахування грн.	17583	10770
E_o	0,015	
Витрати на обслуговування і ремонт грн.	527	323
Вартість електроенергії m_o , грн/кВт год	1,6	
Коефіцієнт завантаження	0,7	
Річний час роботи, год	4608	
ККД %	0,87	
Втрати потужності, кВт	0,784	
Кількість втраченої електроенергії за рік, кВт·год	361	
Витрати на електроенергію, грн	577	
Собівартість, грн	23893	11670
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності	0,15	
Зведені витрати, грн	29167	14901
Термін окупності, роки.	1,2	1,44

Отже, модернізація для даного типу обладнання є економічно доцільною. Малий термін окупності пояснюється зменшенням витрат на допоміжні матеріали. Після введення перетворювача частоти стало можливо змінювати вихідний продукт.

8. ТЕХНІКА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

8.1 Експлуатація електрообладнання і основи електробезпеки.

Основні вимоги та організація обслуговування електроустаткування.

Під технічною експлуатацією електрообладнання розуміють процес його використання за призначенням і підтримання в технічно справному стані. Чітка організація цього процесу, планування та управління розв'язуються на основі теорії експлуатації, широко застосовує сучасні методи моделювання, використання операцій і ін.

Технічна експлуатація електроустаткування включає виконання наступних заходів: підготовку, включення і виключення електроустаткування, виявлення несправностей і прогнозування технічного стану; Профілактичні роботи; настройку і регулювання окремих вузлів, зв'язків і електрообладнання в цілому: забезпечення схоронності окремих блоків та електрообладнання в цілому; забезпечення комплектом запасних частин (ЗІП); технічну підготовку обслуговуючого персоналу; правильне ведення технічної документації.

Ефективна організація системи технічної експлуатації електрообладнання можлива за умови, якщо ще в період проектування були враховані особливості побудови, використання і експлуатації електрообладнання, розроблені технічні засоби його обслуговування, методи обробки інформації та контролю стану. Важливою частиною технічної експлуатації електрообладнання є технічне обслуговування. Погано організоване технічне обслуговування може призвести до простою електроустаткування або аварії при неправильних діях обслуговуючого персоналу.

Для оцінки ефективності технічного обслуговування систем електрообладнання слід застосовувати такі показники: 1) трудомісткість одноразового технічного обслуговування або за певний період експлуатації; вартість

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

технічного обслуговування; 2) надійність електрообладнання, яка визначається одним або кількома показниками надійності; 3) середній час простою і втрати в процесі технічного обслуговування; 4) ймовірність виконання технічного обслуговування в заданий час.

Обслуговуючий персонал виконує наступний обсяг робіт по експлуатації електрообладнання: спостереження за станом і роботою електрообладнання, а також за механічною частиною електроприводів з проведенням профілактичних заходів (змазування, чищення, підтяжка кріплень); періодичну ревізію основного і резервного електрообладнання з поточним ремонтом, що проводиться за графіком; капітальний ремонт електрообладнання під час його зносу і заміну його при проведенні модернізації; дослідження характеристик обладнання для проведення модернізаційних заходів; наладку нового обладнання або обладнання, що зазнає ревізії або ремонту.

В процесі експлуатації електрообладнання електротехнічний персонал веде журнали: дефектів, збоїв і несправностей, де реєструють неполадки в роботі будь-якого елемента обладнання; оперативних перемикачів на підстанції; технічного огляду та ремонту електричного обладнання; проведення робіт в електроустановках низької напруги (до 1000 В).

У своїй діяльності щодо забезпечення надійної та продуктивної роботи електрообладнання електротехнічний персонал використовує технічну документацію, в тому числі: комплект електротехнічних схем (принципових і з'єднань) з електропостачання, електроприводу, висвітлення і сигналізації; паспорти та технічні описи електроустаткування з паспортом і актами випробувань до них, посадові і виробничі інструкції з обслуговування, ремонту та налагодження електричних апаратів, машин і засобів автоматизації; керівні та нормативні матеріали.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Всі інструкції підлягають перегляду не рідше одного разу на 5 років, а істотні зміни і доповнення вносять негайно і доводять до відома відповідальних посадових осіб. Весь комплект проектних електричних схем, описів, інструкцій повинен зберігатися в технічному архіві.

Широке застосування складної електронної та мікроелектронної техніки висуває підвищені вимоги до практики технічної експлуатації електрообладнання. У зв'язку з цим набувають поширення нові принципи технічного обслуговування і ремонту електроустановок. Розглянемо деякі з них.

8.2.Заземлення та занулення електроустановок

Захисні заходи від до частин електроустановок, нормально знаходяться без напруги, але опинилися йод напругою внаслідок порушення ізоляції струмоведучих частин електроустановки, такі: заземлення та занулення корпусів електроустаткування і конструктивних металевих частин електроустановок; пристрій захисного відключення, що забезпечує автоматичне відключення установки, в якій відбулося замикання фази на корпус; пристрій ізоляційних майданчиків для обслуговування електроустаткування, якщо виконання перших двох пунктів утруднено.

Захисне відключення забезпечує знеструмлення електроустановки в межах часу не більше 2 с, якщо на даній електроустановці сталося коротке замикання на корпус. Як приклад розглянемо схему пуску і зупинки асинхронного двигуна, де передбачено захисне відключення за допомогою реле КАО (рис. 10.1).

Основним заходом захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до корпусів електроустановок, в яких з якої-небудь причини порушена ізоляція, є захисне заземлення та занулення. Занулення від заземлення відрізняється з'єднанням корпусу електроустановки з нейтраллю, наприклад, трансформатора через нейтральний провід (рис. 10.2). Так як захисне занулення має менший опір для

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

струмів короткого замикання I_k , то створюються умови для більш надійного і більш швидкого відключення ушкоджень електроустановки.

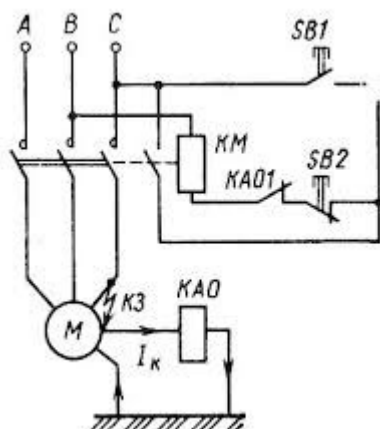


Рис. 8.1-Захисне відключення в ланцюзі асинхронного двигуна

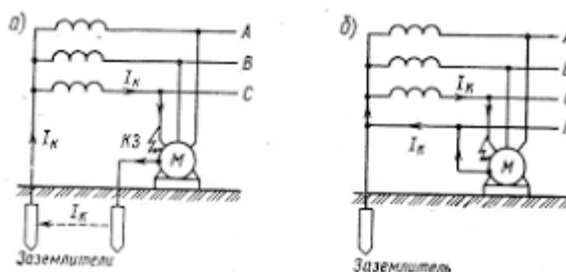


Рис. 8.2-Схеми заземлення (а) і занулення (б)

Ступінь ураження людини електричним струмом визначається силою струму, шляхом і тривалістю його протікання через тіло людини. Сила струму залежить від напруги дотику $U_{пр}$ і опору всієї електричної ланцюга, в яку послідовно «включений» людина. При опорі тіла людини $R_{ч}$ струм, що проходить через його тіло, дорівнює $I_{ч} = U_{пр} / R_{ч}$. Якщо електроустановка заземлена і опір заземлювача $R_3 \ll R_{ч}$, то по тілу людини буде протікати струм, близький до нуля: $I_{ч} = I_3 R_3 / R_{ч}$, де I_3 - струм короткого замикання, що проходить через заземлювач.

Отже, чим менше опір заземлення, тим менше струм, що проходить через тіло людини.

8.3. Техніка безпеки при обслуговуванні електрообладнання.

Сучасні верстати, як правило, мають індивідуальний електропривод. У більшості випадків електродвигуни, реле та інші електричні апарати розміщені або на самому верстаті, або в окремому шафі. Верстати мають двигуни, кінцеві і шляхові вимикачі, розміщені всередині верстата.

Роботу з налагоджування, експлуатації та ремонту електроустаткування верстатів поділяють на чотири категорії: роботи при повному знятті напруги, роботи з частковим зняттям напруги, роботи без зняття напруги поблизу струмоведучих шин і роботи без зняття напруги віддалік від струмоведучих шин.

Роботою при повному знятті напруги вважається робота, яку виконують в електроустановці, де зі всіх струмоведучих частин знято напругу і де немає незачиненого входу в сусідню електроустановку, що знаходиться під напругою.

До такого виду робіт ставляться:

- а) прозвонка ланцюгів силовий схеми,
- б) ремонт або заміна електричної апаратури безпосередньо на верстаті,
- в) перевірка величини опору ізоляції струмоведучих частин.

Роботою з частковим зняттям напруги вважається робота, яку проводять на відключених частинах електроустановки, в той час як інші її частини знаходяться під напругою або напруга знята повністю, але є незамкнений вхід в сусідню електроустановку, що знаходиться під напругою.

До такого виду робіт ставляться:

- а) регулювання параметрів спрацьовування реле,
- б) регулювання і чищення контактів апаратів,
- в) зміна ламп освітлення в шафі і на верстаті.

Роботою без зняття напруги поблизу і на струмоведучих частинах вважається робота, яка вимагає прийняття технічних і організаційних заходів і проводиться на невідключеної електроустановки із застосуванням захисних засобів. До такого виду робіт ставляться: вимір величин струму і напруги за допомогою вимірювальних клещів.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин вважається робота, при якій виключено випадкове наближення працюючих людей і використовуваних ними ремонтної оснастки і інструменту до струмоведучих частин на небезпечну відстань і не потрібно прийняття технічних і організаційних заходів для запобігання такому наближенню.

До такого виду робіт ставляться:

- а) протирання пультів і шаф управління з зовнішнього боку,
- б) протирання електродвигунів верстата,
- в) вимірювання частоти обертання двигунів тахометром,

Роботу з налагоджування електроустаткування верстатів повинні виконувати не менше двох працівників, старший з яких - виконавець робіт - повинен мати кваліфікаційну групу не нижче третьої, а другий - член бригади - не нижче другої.

Налагоджувальні роботи виробляють за усним або письмовим розпорядженням відповідального керівника робіт (начальника електролабораторії, механіка, майстра експлуатації чи старшого електрика), який перевіряє наявність у виробника посвідчення на право допуску до робіт на електрообладнанні, дає завдання на наладку і забезпечує його технічною документацією принциповою електричною схемою та специфікацією до неї.

Перед початком роботи виконавець робіт готує робоче місце: вимикач пульта управління верстатом встановлює в положення «Відключено» і вивішує плакат «Не включати - працюють люди», оглядає технічний стан пульта, шафи з електроустаткуванням: підготовляє захисні засоби килимки, діелектричні рукавички,

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

монтерский інструмент) , готує електровимірювальні та інші прилади, необхідні під час налагодження.

Перевірку дефектів монтажній схеми дозволяється проводити тільки на повністю відключеному обладнанні. Огляд електроустаткування з метою виявлення його дефектів можна виробляти без зняття напруги виконавцем робіт через відчинені двері в присутності другої особи зі складу бригади.

Заміну поламаних апаратів проводять за умови повного зняття напруги, при цьому на ручці вступного автомата або рубильника повинен бути вивішений плакат «Не включати - працюють люди».

При подачі напруги на окремі ділянки схеми по тимчасовим перемичках повинні бути забезпечені умови безпечної роботи для інших членів бригади, зайнятих на налагодження апаратури, встановленої на верстаті або в іншому шафі. При подачі напруги на всю схему необхідно поставити огорожі в місцях, доступних для проникнення сторонніх осіб і вивісити плакат «Стій! Небезпечно для життя! ».

При заміні запобіжників, вимірах переносними приладами і мегомметром необхідно користуватися захисними засобами. Перед використанням у роботі захисних засобів необхідно переконатися в тому, що термін користування ними не закінчився (для діелектричних рукавичок він становить 6 місяців, для діелектричних килимків 2 року, для монтерського інструменту з ізольованими ручками 1 рік. Одночасно необхідно переконатися в механічній цілісності діелектричних рукавичок. при виявленні проривів та інших механічних пошкоджень користуватися захисними засобами забороняється.

З точки зору можливого травматизму, найбільш відповідальними і небезпечними є випробування роботи верстата вхолосту і під навантаженням, так як в процесі ремонту або наладки можуть бути не виявлені і не усунуті деякі дефекти устаткування, що впливають на безпеку роботи на верстаті. Тому перевірку роботи верстата вхолосту і під навантаженням необхідно проводити з великою обережністю.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Перед перевіркою роботи верстата видаляють з нього сторонні предмети, разом з механіком переконуються в правильній роботі кінематичної схеми, перевіряють кріплення всіх апаратів, електричних машин, стан і роботу запобіжних і блокувальних пристроїв, дія зупиночних, пускових і реверсують пристроїв, переключаючих рукояток фрикційних муфт, колійних вимикачів.

Перед пуском верстата чітко усвідомлюють послідовність операції включення і відключення головного приводу і приводів подач, переконуються в правильному підключенні електродвигунів їх напрямок обертання повинно відповідати вимогам паспорта.

Первісне випробування верстата під навантаженням потрібно виробляти на найнижчих оборотах і при найлегших режимах з поступовим збільшенням завантаження верстата. При випробуванні верстата під навантаженням слід суворо керуватися правилами техніки безпеки, що відносяться до виконуваної на ньому роботі і що впливають із його конструктивних особливостей.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

ВИСНОВОК

1. Обґрунтовано вибір двигуна для управління транспортним модулем двокоординатним координатного стола по виготовленню мікросхем.

2. Розраховано навантаження та вибрано крокомі двигуни.

3. Розрахований електропривод двокоординатного модуля для виробництва інтегральних мікросхем.

4. У даній виробничій установці застосований лінійний кроковий двигун з аеростатичного опорами.

5. Модуль має перевагу перед модулями традиційного типу, виконаними на основі обертових двигунів.

6. Економічними розрахунками була доведена доцільність заміни лінійним кроковим двигуном обертового крокової двигуна з кинематическим перетворювачем на основі гвинт-гайки.

7. Термін окупності 1,44 роки.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балковой А.П., Мухаметгалеев Т. Х., Рижов С. М. уточненными модель крокового электроприводу // Електротехніка. 2002. № 6. С. 28 - 35.
2. Ратмиров В.А. Кроковий привід в верстатах з програмним управлінням. М., НІПМАШ, 2001 - 123 с.
3. Бондаренко В.І., Писанко В.В., Кацалап С.М. Дискретний електропривод з мікропроцесорним управлінням // Електротехніка. № 5. С. 15 - 17.
4. Анхімюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектування систем автоматизованого керування електроприводами: Учеб. посібник для вузів по спец. "Електропривод і автоматизація промислових установок": - Мн .: Вища. шк., 2006. - 143 с.
5. Электричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.
6. Півняк Г. Г. Электричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. – Д.: НГУ, 2003. – 328 с. – ISBN 966-8271-36-X.
7. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.
8. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
9. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів СВО «Бакалавр» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузі знань 14 – «Електрична інженерія» / Укладачі: П.І. Осадчук, В.Ф. Бабіч, А.А. Галіулін, Є.П. Штепа. – Одеса: ОНТУ, 2021. – 55 с.

					КРБ.ЕМ та М.797-03.16	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66