

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
НТУ "Дніпровська політехніка"

Електротехнічний
(факультет)

Кафедра Електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломного проекту

бакалавра

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 Електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 050702 Електромеханіка
(код і назва напрямку підготовки)

спеціальність 6.05070204
(код і назва спеціальності)

Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

освітній рівень бакалавр
(назва освітнього рівня)

Кваліфікація фахівець у галузі електротехніки
(код і назва кваліфікації)

на тему: Електропривод поворотного стола фрезерного станка

Виконавець:

Студент 4 курсу, групи **ЕМ-14-1**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Конищенко А.Г.

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	Казачковський М.М.		
розділів:			
Автоматизований електропривод	Казачковський М.М.		
Дослідження динаміки	Казачковський М.М.		
Охорона праці	Столбченко О.В.		
Економічний	Тимошенко Л.В.		

Рецензент			
-----------	--	--	--

Нормоконтроль	Казачковський М.М.		
---------------	--------------------	--	--

Дніпропетровськ
2018

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
НТУ "Дніпровська політехніка"

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
Електроприводу
(повна назва)

_____ Казачковський
_____ М.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2018
року

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект
Бакалавра
(назва рівня вищої освіти)

студенту ЕМ-14-1 Кониченко Артему Георгійовичу
(група) (прізвище та ініціали)

Тема дипломного проекту: Електропривод поворотного стола фрезерного станка
затверджена наказом ректора ДВНЗ "НТУ "Дніпровська політехніка" від
№ _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Автоматизований електропривод</i>	Розрахувати навантаження та обрати двигун. Обрати силове електричне обладнання. Розрахувати САР	15.03.2018- 04.04.2018
<i>Дослідження динаміки</i>	Змодельовати, дослідити та проаналізувати роботу та динаміку САР	06.04.2018- 03.05.2018
<i>Розділ «Охорона Праці»</i>	Зробити аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	04.05.2018- 15.05.2018
<i>Розділ «Техніко-економічне обґрунтування»</i>	Встановити економічну доцільність прийнятих технічних рішень. Розрахувати капітальні та експлуатаційні витрати.	16.05.2018- 28.05.2018

Завдання видав _____ Казачковський М.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Кониченко А.Г.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: _____

Термін подання дипломного проекту до ЕК _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записки 52 с., 20 рис., 4 табл, 8 джерел.

Об'єкт детальної розробки: електропривод поворотного столу фрезерного верстату

Мета роботи: розрахунок електроприводу поворотного столу фрезерного верстату.

Вибрані елементи силового кола (синхронний двигун з постійним магнітами, датчик положення(резольвер), сервопреобразователь MKS51A). Розраховані параметри системи регулювання швидкості.

Здійснений розрахунок регуляторів швидкості та положення, струму якоря. При моделюванні охоплені режими пуску, прикладення навантаження, гальмування з використанням пакета MATLAB Simulink. Отримано діаграми швидкості, струму якоря та магнітного потоку розробленої моделі.

Проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори на виробництві.

Розраховано витрати на електроенергію та експлуатацію.

СИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПОВОРОТНИЙ СТОЛ, ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, СИНТЕЗ САР.

	3				ЕП.ПД.16.05.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

РЕФЕРАТ

Пояснительная записки 52 с., 19 рис., 4 табл, 8 источников.

Объект детальной разработки: электропривод поворотного стола фрезерного станка

Цель работы: расчет электропривода возвратного стола фрезерного станка.

Выбранные элементы силовой цепи (синхронный двигатель с постоянными магнитами, датчик положения (резольвер), сервопреобразователь MKS51A). Рассчитаны параметры системы регулирования скорости.

Проведенный расчет регуляторов скорости и положения, тока якоря. При моделировании охвачены режимы пуска, приложения нагрузки, торможение с использованием пакета MATLAB Simulink. Получены диаграммы скорости, тока якоря и магнитного потока разработанной модели.

Проанализированы опасные и вредные факторы на производстве.

Рассчитано затраты на электроэнергию и эксплуатацию.

СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПОВОРОТНЫЙ СТОЛ, ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, СИНТЕЗ САР.

	4				ЕП.ПД.16.05.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ESSAY

Explanatory note 52 pp., 19 Fig., 4 tables, 8 sources.

The object of detailed development: electric drive of the milling machine table

Purpose of work: calculation of the electric drive of the return table of the milling machine.

Selected elements of the power circuit (synchronous motor with permanent magnets, position sensor (resolver), servo converter MKS51A). The parameters of the speed control system are calculated.

The calculation of speed and position controllers, armature current. During simulation, startup modes, load applications, braking using the MATLAB Simulink package are covered. The diagrams of speed, armature current and magnetic flux of the developed model are obtained.

Hazardous and harmful factors in production are analyzed.

Calculated the cost of electricity and operation.

SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, TURNING TABLE, CHOICE OF POWER ELECTRICAL EQUIPMENT, SYNTHESIS SAR

	5				ЕП.ПД.16.05.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Содержание

Список Используемых Сокращений	7
Введение.....	8
1.1. Понятия о сервоприводе.....	10
1.2 Принцип работы сервопривода поворотного стола.....	12
1.3. Структура и элементы сервопривода поворотного стола.....	13
1.3.1. Вентильный двигатель.....	14
1.3.2. Сервопреобразователь	16
1.3.3. Датчик положения (резольвер).....	19
1.4. Расчет статики и выбор двигателя сервопривода	20
1.5. Расчет параметров редуктора.....	24
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СЭП	25
2.1. Техническая оптимизация динамики	25
2.1.1. Выбор структуры СЭП	25
2.1.2. Настройка контура тока.....	26
2.1.3. Настройка контура скорости.....	27
2.1.4. Настройка контура положения:	28
2.2. Имитационное моделирование динамики СЭП	29
2.3. Построение имитационной модели сервопривода.....	30
2.4. Исследование динамики сервопривода.....	37
3. ОХРАНА ТРУДА	39
4. Техничко-экономическое обоснование.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	57

					ЕП.ПД.16.05.С.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Список Используемых Сокращений

Д – двигатель

ЗИ – задатчик интенсивности

МОУД – модуль управления двигателем
ОМ – оптимум по модулю (настройка контура регулирования)

ПИ – пропорционально-интегральный (закон управления)

ПК – персональный компьютер

Р – резольвер (датчик положения двигателя)

РП – регулятор положения

РС – регулятор скорости

РТ – регулятор тока

СО – симметричный оптимум (настройка контура регулирования)

СЭП – систем электропривода

ШИМ – широтно-импульсная модуляция

IGBT – транзистор с изолированным затвором

					ЕП.ПД.16.05.ИС.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Введение

Использование разнообразных машин, механизмов и устройств, которые позволяют облегчить, ускорить или упростить воздействие на материалы, предметы обработки или выполнять иные заданные функции, которые называют рабочими процессами.

В современной практике многие рабочие процессы вообще невозможно осуществить без применения специальных машин, приспособлений и установок. Например, для выполнения любого механического процесса необходимо привести в движение рабочие органы машины или механизма, что и делается приводом. Однако привод осуществляет и преобразование какого-либо вида энергии в механическую работу, в частности преобразует электрическую энергию в механическую работу. Электропривод должен осуществлять целенаправленное преобразование энергии, поэтому в его состав должны входить устройства, реализующие такие функции. Эта цель в приводе должна достигаться автоматически.

В современной приводной технике во многих случаях предъявляются такие высокие требования как:

- точность позиционирования;
- стабилизация скорости;
- широкий диапазон регулирования;
- стабилизация момента;
- перегрузочная способность;
- высокая динамика.

Требования к динамике, т.е. поведению привода во времени, складываются из ускоряющихся процессов обработки, повышения времени цикла и связанной с ними производительности машины.

Высокая точность очень часто определяет возможность использования системы привода. Этим требованиям должны отвечать современные динамичные системы привода.

Из-за возрастающих требований к приводам появилась необходимость разработки приводов, отвечающих этим требованиям. Принципиально перечисленных выше качеств можно добиваться с использованием сервоприводов с применением двигателей постоянного тока независимого возбуждения, асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов. Сервопривод - это система электропривода, которая в большом диапазоне

					ЕП.ПД.16.05.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

регулирования скорости обеспечивает динамичные, высокоточные процессы. В машиностроительных отраслях они были преимущественно вспомогательными.

Целью данного дипломной работы является разработка и исследование динамики системы электропривода (СЭП) поворотного стола на базе вентильного двигателя с преобразователем частоты.

Для достижения цели в работе решаются следующие задачи:

- 1) Расчет статике сервопривода
- 2) Выбор элементов силовой и регулирующей части сервопривода
- 3) Оптимизация динамики сервопривода

					ЕП.ПД.16.05.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1. Автоматизированный электропривод

В работе произведен выбор и расчет параметров сервопривода поворотного стола фрезерного станка. Рассчитана статика электропривода. Произведен расчет динамики и имитационное моделирование динамики работы синтезированного электропривода в программе MATLAB.

1.1. Понятия о сервоприводе

Сервосистема представляет собой высокоточную систему управления движением какого-либо исполнительного устройства, в качестве которого обычно выступает электродвигатель [1, 4].

Сервоконтроллер представляет собой микропроцессорное устройство, способное управлять движением в реальном масштабе времени: может быть одно- или многоосевым (то есть может управлять движением одной или нескольких осей одновременно). Программирование сервоконтроллера производится с помощью обычного персонального компьютера (ПК) на языке программирования, уникальном для данного контроллера, после этого программа остается в памяти контроллера и управляет работой системы. Результатом работы сервоконтроллера является выдача управляющих сигналов на электропривод в какой-либо форме: обычно это аналоговое напряжение/ток (стандарты $\pm 10\text{В}$, $4\text{-}20\text{мА}$, $0\text{-}20\text{ мА}$ и т.д.) которое пропорционально требуемой скорости/перемещению/крутящему моменту. В контроллер поступают сигналы от датчика обратной связи, в соответствии с которыми и происходит корректировка траектории движения исполнительного механизма.

Электрический привод есть устройство, на входе принимающее сигналы от сервоконтроллера и сигналы обратной связи по скорости/положению с вала двигателя, определяющее на их основе рассогласование желаемого и действительного сигналов и формирующее на выходе, куда непосредственно подключен электродвигатель, напряжение и ток нужной величины. Приводы классифицируются, в первую очередь, по типам двигателей, с которыми они могут работать: переменного/постоянного тока, щеточные (коллекторные)/бесщеточные, привод/сервопривод. От обычного привода сервопривод отличается, в основном повышенной (в 10-100 раз) точностью поддержания скорости/крутящего момента/углового положения вала двигателя, улучшенными динамическими характеристиками (уменьшено

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

время реакции на изменение скорости/нагрузки), расширенным диапазоном рабочих скоростей (0-6000 об/мин).

Электродвигателем в сервосистеме может служить обычный асинхронный электродвигатель переменного тока, оснащенный датчиком обратной связи и, при необходимости, вентилятором принудительного охлаждения для работы на сверхнизких скоростях либо специальный серводвигатель: бесщеточный двигатель переменного/постоянного тока с постоянными магнитами на роторе, коллекторный двигатель постоянного тока.

Датчик обратной связи вырабатывает сигналы, которые несут в себе в закодированной форме информацию о угловом положении/скорости/направлении вращения вала двигателя.

В машиностроительных отраслях сервопривода были преимущественно вспомогательными. Теперь и главные приводы реализуются с использованием сервотехники.

Сегодня в качестве сервоприводов все шире применяются электроприводы с синхронными двигателями с постоянными магнитами. Их достоинствами являются: хорошее соотношение цена/мощность; хорошие массогабаритные показатели; длительный срок службы; хорошая термическая перегрузочная способность.

Сравним конкретные двигатели близкой мощности и с близкой номинальной скоростью (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Параметры	Асинхронный двигатель	Двигатель постоянного тока	Синхронный двигатель
Мощность, кВт	7,5	8,3	7,5
Полная масса, кг	66	105	38,6
Момент инерции $J_d \cdot 10^{-4}$ кгм ²	280	496	87,4
Номинальный момент, Нм	24,7	24,7	24
Максимальное ускорение, 1/с ²	²⁾ 1588	797	8238
Время разгона, мс	191	420	38

Из трех сравниваемых двигателей синхронный двигатель с постоянными магнитами имеет наименьшую массу. Это существенное достоинство, особенно

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

в тех случаях, когда электропривод монтируется непосредственно на перемещающемся исполнительном органе.

Моменты инерции особенно сильно различаются у двигателя постоянного тока и синхронного. Малый момент инерции двигателя выгоден, если исполнительный орган имеет небольшой момент инерции, приведенный к двигателю. Однако при большом моменте инерции исполнительного органа эта особенность синхронного двигателя оказывается недостатком.

Синхронные двигатели наиболее динамичны по сравнению с другими типами. Благодаря высокому максимальному моменту M_{\max} и малому моменту инерции, синхронный двигатель имеет весьма малое время разгона вхолостую, что позволяет рекомендовать его для динамичных электроприводов.

1.2 Принцип работы сервопривода поворотного стола

Рассмотрим принцип работы сервопривода.

Контур стабилизации скорости вращения серводвигателей. Этот контур полностью реализован внутри сервоприводов с микроконтроллерным управлением. Его основной задачей является достижение максимально полного соответствия между фактической и задаваемой скоростями вращения двигателей. Структурная схема сервопривода с нагрузкой приведена на рис. 1.1

На вход сервоконтроллера привода поступает сигнал задания скорости, который попадает в блок регулятора скорости. Регулирование скорости вращения мотора осуществляется встроенной ШИМ схемой. Эта схема изменяет среднее значение напряжения на статоре двигателя за счет изменения скважности выходного сигнала пропорционально изменению скорости двигателя. Схема содержит усилитель ошибки и компаратор ШИМ. Усилитель ошибки усиливает сигнал пропорциональный скорости вращения двигателя, а компаратор ШИМ формирует сигнал управления затворами нижних транзисторов, длительность которого пропорциональна величине скорости. Входы (инвертирующие и не инвертирующие) усилителя и компаратора доступны для внешнего управления. Это позволяет организовать любой алгоритм управления скоростью (без обратной связи, с положительной и отрицательной обратной связью, пропорциональный и, интегральный, дифференциальный) в зависимости от решаемой задачи и особенностей применения конечного устройства.

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

В блоке преобразования координат осуществляется переход к величинам, связанным с неподвижными обмотками статора синхронной машины. Формируются токи трёх фаз по формуле (2.12). Для получения на выходе необходимого напряжения применяют широтно - импульсная модуляция (ШИМ).

В состав преобразователя координат входит преобразователь поворота вектора и преобразователь фаз в прямом канале. Элемент преобразователь вектора выходные сигналы регуляторов u_{sd} , u_{sq} к осям якоря – формирует сигналы $u_{s\alpha}$ и $u_{s\beta}$, далее преобразователь фаз преобразует их к фазным осям – формирует сигналы U_{sA} , U_{sB} , U_{sC} .

Кроме прямого канала преобразования фаз имеется и обратный канал преобразования фаз и поворота вектора. В нем формируется при помощи преобразователя фаз сигналы I_{sA} , I_{sB} , I_{sC} , поступает от датчика тока, к осям α и β - формирует сигналы $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$. Далее эти сигналы преобразуются к осям d и q индуктора элементом преобразователем поворота вектора- формируя сигналы обратной связи i_{sd} и i_{sq} .

Трёхфазной цепью осуществляем питание вентильного двигателя. При увеличении момента на валу двигателя скорость его снижается; при этом уменьшается ЭДС, наводимая ротором в обмотках двигателя, и соответственно токи в обмотках возрастают. Механические характеристики двигателя достаточно близки к линейным, но имеют крутизну существенно большую, чем у двигателя постоянного тока. Нелинейность механических характеристик обусловлена влиянием электромагнитных постоянных времени обмоток двигателя и усилителя мощности. При необходимости нелинейность характеристик может быть компенсирована подчей корректирующего напряжения на вторую обмотку статора датчика положения.

1.3. Структура и элементы сервопривода поворотного стола

Как следует из структурной схемы сервопривода рис.1.1., сервопривод состоит из:

- синхронный двигатель с тормозом;
- преобразователь;
- датчик положения (резольвер).

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

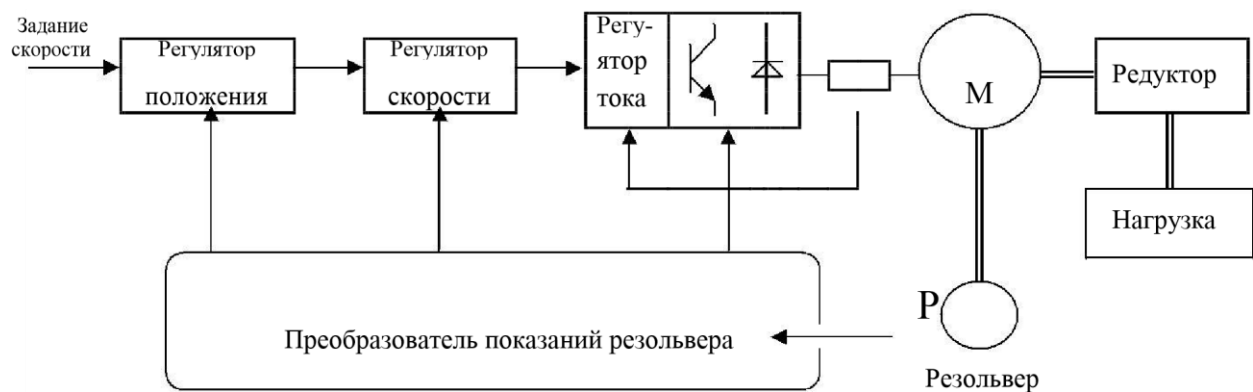


Рис.1.1. Функциональная схема сервопривода

1.3.1. Вентильный двигатель

Синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, называемые иногда также двигателями с электронной коммутацией или бесщеточными (бесконтактными) двигателями постоянного тока, вентильными двигателями. Еще одно название закрепилось за этими машинами, предназначенными для работы в области низких и сверхнизких скоростей вращения, - бесконтактные моментные двигатели (БМП).

Данные двигатели сочетают в себе преимущества машин постоянного тока, имея разнообразные механические характеристики, регулировочные свойства и бесконтактность конструкции асинхронных машин. Использование данных двигателей в наибольшей степени соответствуют требованиям, предъявляемым к серводвигателям.

Их статор можно сравнивать со статором асинхронного двигателя. Шихтованный ротор имеет наклеенный магнит, который обеспечивает постоянное магнитное поле ротора. Двигатели обычно изготавливают в закрытом исполнении (IP65) с самовентиляцией.

Двигатель (эквивалентная схема двигателя рис. 1.2) может работать при различных способах формирования тока. В дальнейшем рассматривается метод синусной коммутации.

Все три фазы обмотки одновременно обтекаются током (рис. 1.3) от соответствующего сервопреобразователя. Ток, индуцируемое напряжение и поток синусоидальны. Благодаря этому, постоянство момента и скорости достигаются также и на низких скоростях. Дополнительно это поддерживается и механическим исполнением двигателя.

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Двигатели с синусоидальным током, как правило, снабжаются резольвером в качестве датчика положения. Резольвер - это электрически и механически надежный вращающийся датчик. Совершенная электронная обработка данных дает возможность определять скорость и абсолютное перемещение ротора. Дополнительная система управления вырабатывает сигнал по перемещению, идентичный сигналу, который формируется вращающимся энкодером (импульсным датчиком).

Этот сигнал может использоваться для систем позиционирования. Благодаря отсутствию дополнительного импульсного датчика можно сэкономить на стоимости затрат.

Эквивалентная схема:

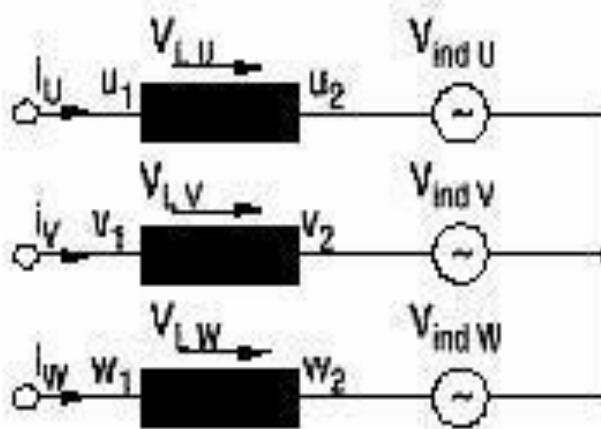
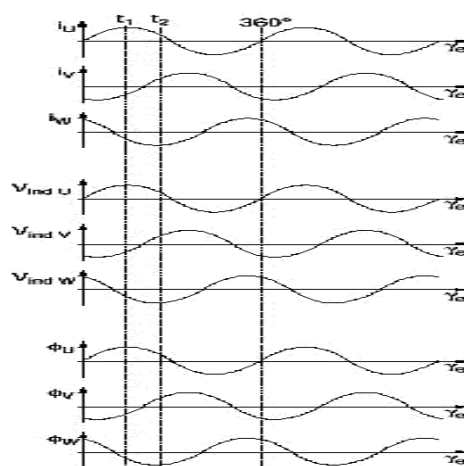


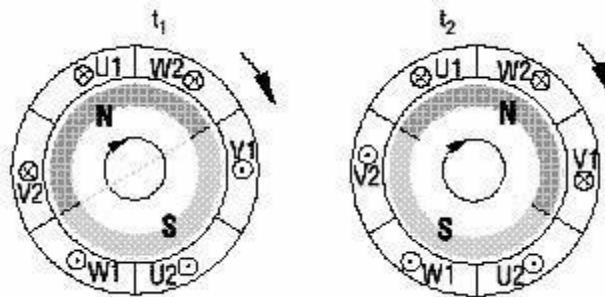
Рис. 1.2. Эквивалентная схема двигателя

V_{ind} – напряжение, индуцируемое при вращении ротора

V_L – падение напряжения на индуктивности



а)



б)

*Рис. 1.3. а) Зависимость переменных от положения ротора;
б) Положение ротора во времени*

Управление состоит в том, что по заранее заданному моменту нужно рассчитать значения трех фазных токов двигателя, а затем установить их для распределения по обмоткам статора. Для этого с помощью датчика положения определяется положение ротора. К полученной величине угла положения в сервопреобразователе в зависимости от направлений скорости и момента прибавляется или вычитается 90 электрических градусов и рассчитываются, соответствующие этому положению токи. Для каждого положения ротора определяется соответствующее положение системы токов статора, т.е. ротор определяет направление системы токов статора.

Положение ротора и, тем самым, поля ротора определяется датчиком положения ротора. Распределение токов статора, соответствующих требуемому моменту, устанавливаются сервопреобразователем.

1.3.2. Сервопреобразователь

Сервопреобразователь – это преобразователь питающие синусоидальным током синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Они могут работать от сети с напряжением 380...500 В~ и частотой 50/60 Гц, обеспечивая выходной ток от 5 до 60 А~, используются для управления синхронными двигателями с резольвером. Цифровой сервопреобразователь служит для регулирования скорости и момента серводвигателя. Сервопреобразователи выпускаются в двух исполнениях: модульном (рис. 1.4,а), предназначенном для многодвигательного привода, и компактном (рис. 1.4,б). Компактное исполнение имеет то преимущество, что сервопривод представляет полный комплект. В то же время имеется возможность для

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

дополнительного электрического монтажа между отдельными компонентами, которые необходимы в модульных системах.



а)

б)

Рис 1.4. Сервопреобразователь а) в модульном и б) компактном исполнении

Сервопреобразователь в модульном исполнении, т.е. один сетевой модуль питает два координатных модуля, каждый из которых питает свой привод.

Достоинство модульного исполнения сервопреобразователя (сетевой модуль и осевой модуль) проявляется в многодвигательном приводе, в котором можно к одному сетевому модулю подключать несколько осевых модулей. При этом мощность сетевого модуля является выходной мощностью и определяется суммой мощностей подключенных осевых модулей.

Сетевой модуль состоит из входного выпрямителя, промежуточного контура постоянного напряжения сервопреобразователя, тормозного прерывателя или устройства возврата энергии в сеть, сетевого выключателя, который выполняет функции защиты, и устройства сопряжения.

При торможении привода кинетическая энергия превращается в электрическую энергию и передается в промежуточный контур. Т.к. емкость конденсатора промежуточного контура ограничена, напряжение промежуточного контура повышается. Для того чтобы привод мог тормозиться, нужно гарантировать отвод энергии. Это необходимо, потому что иначе избыточная энергия будет накапливаться или превращаться в другие виды энергии.

Для этого принципиально имеется три возможности:

1. Отдача энергии в сеть (использование электрической энергии другими потребителями).

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2. Тормозной прерыватель и тормозное сопротивление (преобразование энергии в тепло).

3. Обмен энергии в многодвигательном приводе (использование электрической энергии подключенных двигателей).

Осевой (координатный) модуль подключается к сетевому через токовые шины и шину данных. Осевой модуль содержит инвертор, от которого питается серводвигатель.

Осевые модули могут использоваться в режимах регулирования скорости или момента. Они формируют синусоидальный выходной ток, так что даже при малых скоростях гарантируется точное вращение с малыми пульсациями момента. Одновременно минимизируются потери в двигателе и обеспечивается хорошее использование двигателя по мощности.

Модули управления двигателями (МОУД) постоянного тока являются высоко интегрированными гибридными сборками, включающими в своем составе цифро-аналоговую монолитную схему управления, встроенный источник питания с гальванической развязкой не менее 1000В, мощные выходные ключи на полевых или IGBT-транзисторах с оптронными схемами управления затворами транзисторов, обеспечивающих гальваническую развязку не менее 4000В. Приборы позволяют управлять как трехфазными двигателями постоянного тока с датчиками положения ротора, так и щеточными двигателями постоянного тока, обеспечивая: изменение скорости вращения двигателя; торможение двигателя; контроль тока через двигатель; контроль температуры самого модуля и двигателя.

МОУД содержит в своем составе следующие функциональные блоки: декодер положения ротора, логику управления (направление вращения, система фазирования динамическое торможение, разрешение/останов), драйверы управления затворами выходных полевых или IGBT транзисторов, выходные транзисторы, включенные по схеме 3-х фазного инвертора или по схеме Н-моста, генератор пилообразного сигнала с изменяемой частотой, схему регулировки (изменения и стабилизации) скорости вращения ротора двигателя, содержащую усилитель сигнала рассогласования для систем с обратной связью, и компаратор ШИМ, схему контроля и ограничения тока двигателя, источники изолированного питания для элементов и узлов прибора, в т. ч. источник опорного напряжения с высокой температурной стабильностью, схемы контроля температуры прибора, а также необходимых уровней питающих напряжений для обеспечения безотказной работы прибора. Также в состав МОУД входит гальванически изолированный формирователь сигнала аварии в управляемом двигателе.

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3.3. Датчик положения (резольвер)

Датчик положения вала двигателя (резольвер) работает по принципу вращающегося трансформатора. У вращающегося трансформатора ротор состоит из катушки (обмотки), которая вместе с обмоткой статора образует трансформатор. Принципиально резольвер устроен точно так же с той лишь разницей, что статор выполнен не из одной, а из двух расположенных под углом 90 градусов друг к другу обмоток. Резольвер служит для определения абсолютного положения вала двигателя внутри одного оборота. Кроме того по сигналу резольвера определяется значение скорости и моделируется инкрементный датчик для регулирования положения.

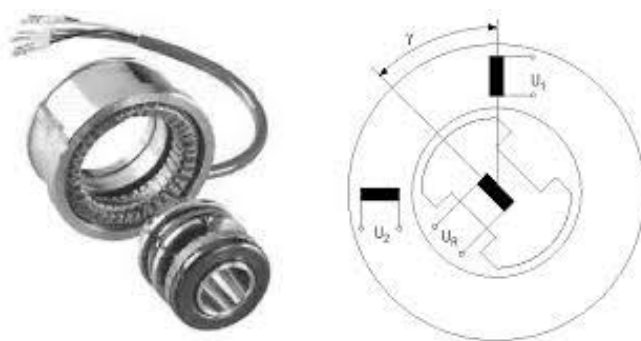


Рис.1.5. Резольвер и его схематическое устройство

Ротор резольвера закреплен на валу двигателя. Для того чтобы можно было передавать переменное несущее напряжение на ротор без щеток, на статоре и роторе размещены дополнительные обмотки. По двум выходным синусоидальным напряжениям U_1 и U_2 , сдвинутым на 90 градусов (рис.1.5), можно определить угол поворота ротора, скорость и инкрементный сигнал по положению (моделирование инкрементного датчика).

Из выходных сигналов резольвера создается 6 выходных сигналов, которые используются управлением верхнего уровня для позиционирования.

Выходы этих каналов А, В и С (рис.1.6) и их инверсные сигналы.

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

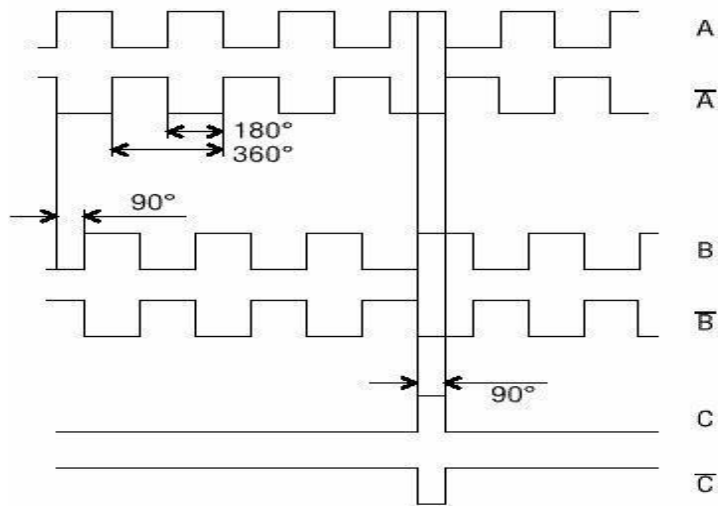


Рис. 1.6. Моделирование инкрементного датчика

Модель инкрементного датчика выдает 1024 импульса на один оборот. Они позволяют системе управления позиционированием с помощью импульсного умножителя частоты удваивать или учетверять разрешающую способность. Тем самым можно один оборот двигателя разделить на 4096 импульсов. Импульсы каналов А и В сдвинуты относительно друг друга на 90 электрических градусов. При движении направо положительные фронты импульсов канала А опережают такие же импульсы канала В и наоборот. Канал С за каждый полный оборот вала двигателя выдает один импульс, который можно использовать как опорный сигнал.

1.4. Расчет статике и выбор двигателя сервопривода

Общий вид привода поворотного стола представлен на рис. 1.7.

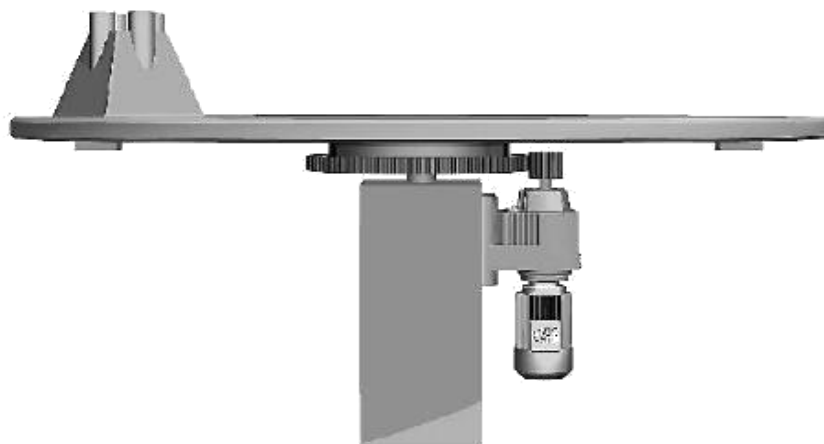


Рис. 1.7. Общий вид поворотного стола

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Расчет параметров двигателя

Момент инерции тола

$$J_T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot 400 \text{ кг} \cdot 1^2 \cdot \text{м}^2 = 200 \text{ кгм}^2 \quad (1.1)$$

$$J_W = 4 \cdot J_S + m \cdot l_S^2,$$

где J_S - собственный момент инерции заготовки по закону Штейнера;

l_S - расстояние "центр тяжести заготовки – центр вращения".

Поскольку заготовки расположены на столе симметрично, возможен упрощенный расчет по следующей формуле:

$$J_W = 4 \cdot m \cdot r^2 = 4 \cdot 70 \text{ кг} \cdot 0,85^2 \text{ м}^2 = 202,3 \text{ кгм}^2$$

В данном случае моментом инерции зубчатого венца можно пренебречь.

При этом общий внешний момент инерции

$$J_X = J_T + J_W = 200 \text{ кгм}^2 + 202,3 \text{ кгм}^2 = 402,3 \text{ кгм}^2$$

Определим частоту вращения и время разгона привода. При заданном ускорении $a = 0,5 \text{ м/с}^2$, линейная скорость будет равна

$$v = \frac{a \cdot t - \sqrt{(a \cdot t)^2 - 4 \cdot a \cdot s}}{2},$$

$$\text{Где } S = \frac{\pi D}{4} = \frac{6,283}{4} = 1,57 \text{ м}$$

$$v = \frac{0,5 \cdot 4,5 - \sqrt{(0,5 \cdot 4,5)^2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 1,57}}{2} = 0,43 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Таким образом, частота вращения стола

$$n = \frac{v \cdot 60}{\pi D} = \frac{0,43}{6,283} = 4,1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Время разгона

$$t_A = \frac{v}{a} = \frac{0,43}{0,5} = 0,86 \text{ с}$$

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Момент инерции поворотного стола, как правило, значительно выше момента инерции ротора двигателя, поэтому в расчете пусковой мощности последнюю величину можно не учитывать.

Полная мощность будет равна сумме динамической и статической мощностей $P_T = P_{DL} + P_S$, где динамическая мощность

$$P_{DL} = \frac{J_X \cdot n_T^2}{91200 \cdot t_A \cdot \eta} = \frac{402,3 \text{ кгм}^2 \cdot 4,1^2 \text{ об/мин}^2}{91200 \cdot 0,86 \text{ с} \cdot 0,9} = 0,096 \text{ кВт}$$

а статическая

$$P_S = \frac{\Sigma m \cdot g \cdot \mu_L \cdot d \cdot n_T}{2 \cdot 1000 \cdot 9550 \cdot \eta} = \frac{680 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 0,01 \cdot 900 \text{ мм} \cdot 4,1 \text{ об/мин}}{2 \cdot 1000 \cdot 9550 \cdot 0,9} = 0,014 \text{ кВт}$$

Полная мощность составит

$$P_T = 0,096 \text{ кВт} + 0,014 \text{ кВт} = 0,11 \text{ кВт}$$

Из каталога SEW-Eurodrive по мощности выбираем двигатель **СМР50S** с характеристиками :

Номинальная мощность $P_n = 0,12 \text{ кВт}$

Номинальная частота вращения $n_n = 2000 \text{ об/мин}$

Момент инерции $J_d = 0,67 \text{ кгм}^2$

Номинальный момент $M_n = 2,4 \text{ Нм}$

Внешний момент инерции

$$J_X = J_X \cdot \left(\frac{n}{n_M} \right)^2 = 402,3 \text{ кгм}^2 \cdot \left(\frac{4,1 \text{ об/мин}}{1380 \text{ об/мин}} \right)^2 = 0,00355 \text{ кгм}^2$$

Момент статический

$$M_S = \frac{P_S \cdot 9550 \cdot \eta}{n_M} = 0,09 \text{ Нм}$$

Динамический момент

$$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9,55 \cdot t_A} + M_S$$

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.5. Расчет параметров редуктора

Передаточное число редуктора

$$I = \frac{n_M}{n_a \cdot I_V} = \frac{1380 \text{ об / мин}}{4,1 \text{ об / мин} \cdot 4,4} = 76,5$$

Определим вращающий момент на выходном валу.

Эксплуатация в режиме 16 ч/сут и при $Z = 120$ вкл/ч (при этом из_за запусков, переключений на низкую скорость и торможений происходит 360 изменений нагрузки в час). При этом относительный момент инерции

$$\frac{J_x}{J_M} = \frac{0,00355 \text{ кгм}^2}{0,00048 \text{ кгм}^2} = 7,4$$

С учетом этого получаем характер нагрузки III и необходимый эксплуатационный коэффициент $f_B = 1,6$.

Вращающий момент на выходном валу будет равен

$$M_a = \frac{P_N \cdot 9550}{n_a} \cdot t_B = \frac{0,12 \text{ кВт} \cdot 9550}{4,1 \text{ об / мин} \cdot 4,4} \cdot 1,6 = 102 \text{ Нм}$$

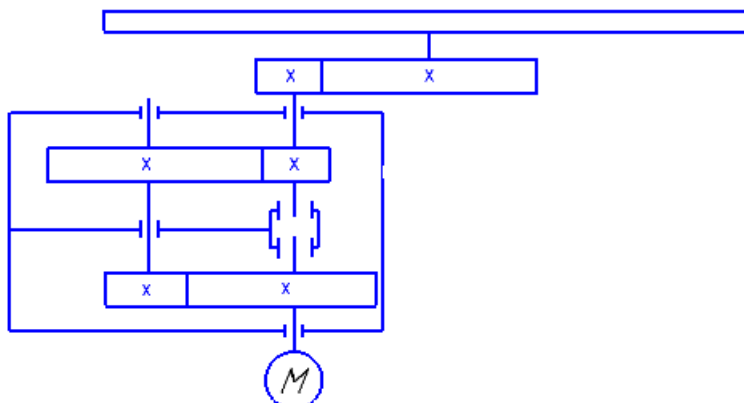
Выбранный привод R27CMP50S с характеристиками

Коэффициент передачи мотор-редуктора $i = 74,11$

Эксплуатационный коэффициент $f_B = 2,1$

Момент на выходном валу $M_a = 62 \text{ Нм}$

Для выбранного редуктора угловой люфт выходного вала составляет $0,21^\circ$. В *пересчете на длину окружности поворотного стола это соответствует расстоянию 0,85 мм. Следовательно, наибольшая часть общего люфта установки в значительной мере создается люфтом в промежуточной передаче.



1.8 Кинематическая схема привода

					ЕП.ПД.16.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СЭП

2.1. Техническая оптимизация динамики

2.1.1. Выбор структуры СЭП

Общую схему СЭП представим виде следующей функциональной схемы. Для достижения хорошей управляемости по положению организовывается контур по скорости и току

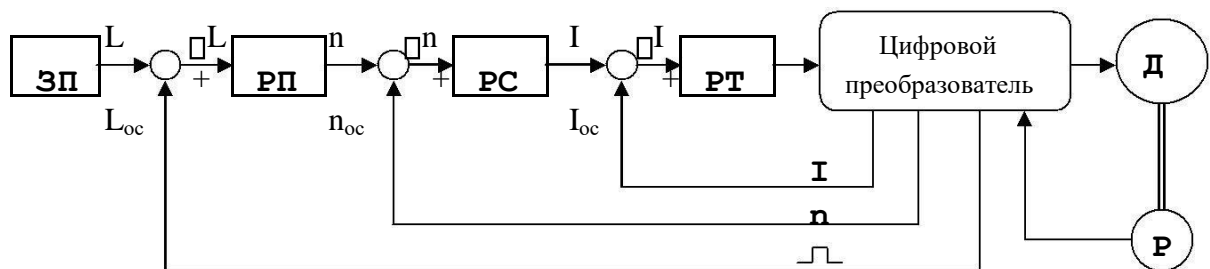


Рис. 2.1. Структурная схема сервопривода

Обозначения на схеме:

- ЗП – задатчик положения;
- РП – регулятор положения;
- РС – регулятор скорости;
- РТ – регулятор тока;
- Д – двигатель;
- Р – резольвер;

С датчика положения, отслеживающего положение ротора двигателя, в МОУД поступает информация о направлении и скорости движения двигателя в каждый момент времени. Схема МОУД выполнена таким образом, что может обрабатывать различные алгоритмы фазирования ротора двигателя ($60^\circ / 120^\circ$) путем выбора соответствующего режима при подаче сигнала “0” или “1” на соответствующий вход управления. В зависимости от расположения датчика положения возможны четыре алгоритма управления позиционированием ротора (60° , 120° , 240° , 300°).

Внешним контуром является контур положения ротора двигателя. Ошибка между текущим положением и фактическим положением поступает на вход ДП, где оценивается. На выходе ДП выходит сигнал, соотнесенный со скоростью двигателя.

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Текущее значение и фактическое значение скорости сравниваются в РС. Ошибка подвергается корректировки при помощи ПИ- регулятора.

Сигнал из ДС подается на цепь ограничителя тока, который защищает двигатель и инвертор, от скачков тока. Выходной сигнал из цепи ограничителя становится током системы для ДТ. Фактическое значение тока, – ток, преобразованный в постоянный ток цепью выпрямителя.

Оцененное значение текущего тока и фактического поступает на ШИМ, выдавая управляющие импульсы на транзисторы инвертора.

2.1.2. Настройка контура тока

Оптимизированный контур тока представляет собой составную часть объекта управления в контуре регулирования скорости вращения электродвигателя : от его быстродействия в значительной мере зависят динамические качества всей системы управления электроприводом. В некоторых случаях характер нагрузки таков, что в начальные пусковые моменты ток через двигатель превышает установленные в МОУД уровни защиты по току. Для обеспечения работы МОУД в таких ситуациях используется РС - цепь блокировки, подключаемая ко входу МОУД. Эта цепь запрещает срабатывание защиты по току на время $t_{бл}$.

РТ можно реализовать как ПИ- регулятор. Входной сигнал - является разница между величиной текущего и фактического фазного тока питающего двигатель. Выходной сигнал является управляющее напряжение для ШИМ.

Используя синусоидальную дельту сравнения, чтобы генерировать широтно - импульсную модуляцию напряжение для управления инвертором.

Фактическая величина тока, измеренная на выходе инвертора, пройдя через трансформатор постоянного тока и подана через компаратор на вход регулятора тока.

Преобразователь с коэффициентом передачи $K_{\Pi} = 5$ из $K_{дт} \frac{R_{вх1}}{R_{вх2}}$, и постоянной времени $T_{\Pi} = 0,001с$;

$R_{яц} = 2,8\text{Ом}$, $T_{я} = 0,015с$ - сопротивление и электромагнитная постоянная времени якорной цепи двигателя;

$K_{\Phi} = \frac{U_{я} - I_{я} * R_{яц}}{\omega}$ - коэффициент момента двигателя;

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = 314с$$

$$K_{\Phi} = \frac{50 - 2.7 * 2.8}{314} = 0.15 \text{ В * с}$$

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Контур тока в следящих системах настраивается на оптимум по модулю (ОМ). При этом регулятор тока описывается передаточной функцией

$$W_{PT}(p) = \beta_2 \frac{\tau_2 p + 1}{\tau_2 p}$$

$$\beta_2 = \frac{T_{Я}}{2 \frac{K_{П} K_{ОГ}}{K_{ЯЦ}} T_{\Sigma 2}}, \quad \tau_2 = T_{Я},$$

где $T_{\Sigma 2} = T_{П} + T_{ДТ} = 0,001 + 0,001 = 0,002$ с.

$$\beta_2 = \frac{0,015}{2 \frac{5 \cdot 1}{1} \cdot 0,002} = 0,75, \quad \tau_2 = 0,015 \text{ с.}$$

В схеме РТ реализован при помощи цифровых элементов, которые уже настроены соответственно.

2.1.3. Настройка контура скорости

Регулирование скорости вращения мотора осуществляется встроенной ШИМ схемой.

Регулятор скорости вычисляет фактическую скорость серводвигателя, сравнивает ее с заданием и вырабатывает сигнал управления в блок регулятора тока. Управляющее воздействие регулятора должно, за определенный интервал времени, привести к устранению рассогласования между заданной и фактической скоростью. В дальнейшем регулятор поддерживает заданную скорость вращения сервопривода независимо от флуктуаций крутящего момента со стороны нагрузки. Механической нагрузкой сервопривода является редуктор и перемещение груза.

Обратная связь по скорости замыкается в сервоприводе через резольвер, установленный непосредственно на валу серводвигателя, который обеспечивает регистрацию угла поворота с разрешением 0,35°.

Контур скорости в следящих системах настраивается на ОМ. В качестве регулятора скорости применяем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W_{PC}(p) = \beta_1 \frac{\tau_1 p + 1}{\tau_1 p}$$

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

с параметрами

$$\beta_1 = \frac{T_{ЭМ}}{2 \cdot K_D \cdot K_{Ос} \cdot K_{ОТ} \cdot T_{\Sigma 1}}, \tau = 20 T_{\Sigma 1}$$

$$R_{ЯЦ}$$

где $T = \frac{J R}{\Sigma_{ЭМ} (\kappa \Phi)^2} = \frac{0,0072 \cdot 1}{(0,156)^2} = 0,2959$ с. – электромеханическая постоянная времени.

$$\beta_1 = \frac{0,2959}{2 \cdot \frac{6,4103 \cdot 0,0318 \cdot 1}{1} \cdot 0,005} = 145, \quad \tau_1 = 20 \cdot 0,005 = 0,1 \text{ с.}$$

Частота среза контура скорости $\omega_{с1} = 1/2 T_{\Sigma 1} = 1/2 \cdot 0,005 = 100 \text{ с}^{-1}$.

2.1.4. Настройка контура положения:

Регулятор положения может быть выполнен как ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{ПИ}(p) = \beta_0 \frac{\tau_0 p + 1}{\tau_0 p}$$

Параметры регулятора положения при настройке на ОМ

$$\beta_0 = \frac{K_{оп}}{\Delta K \cdot K_I} ; \quad \tau_0 = (8K_{12}) T_{\Sigma 1},$$

$$\frac{K_{оп}}{\Delta K \cdot K_I}$$

$$k_{оп} = \frac{U_z}{\omega_n} = \frac{10}{144} = 0,0694$$

– коэффициент передачи обратной связи по положению;

$$k_p = \frac{1}{i_p} = \frac{1}{74,11} = 0,0135$$

- коэффициент передачи редуктора;

$k_{ДП} = 1$ – коэффициент передачи датчика положения;

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$T_{\Sigma 0} = 2T_{\Sigma 1} = 2 \cdot 0,005 = 0,01\text{c}$ – суммарная малая постоянная времени контура положения.

ДТ, ДС – датчики тока и скорости с коэффициентами передачи (обратной связи) $k_{OT}=1, k_{OC} = 0,0318$ и постоянными времени

$$T_{DT} = 0,001\text{c}, T_{DC} = 0,001\text{c}$$

$T_{\Sigma 1} = T_{DC} + 2T_{\Sigma 2} = 0,001 + 2 \cdot 0,005 = 0,005\text{c}$ – суммарная малая постоянная времени контура скорости.

$$\beta_0 = \frac{0,076}{2 \cdot 1 \cdot 0,0625 \cdot 0,01} = 60,8, \quad \tau_0 = 10 \cdot 0,005 = 0,05\text{c}.$$

Частота среза контура положения $\omega_{C0} = 1/2T_{\Sigma 0} \approx 50\text{c}^{-1}$.

2.2. Имитационное моделирование динамики СЭП

Исследование динамики сервопривода проведем с помощью интерактивного инструмента для моделирования, имитации и анализа динамических систем – пакет прикладных программ MATLAB с расширением Simulink и библиотекой Power System Blockset [4].

MATLAB выполняет множество задач для поддержки научных и инженерных работ, начиная от сбора и анализа данных до разработки приложений. Среда MATLAB объединяет математические вычисления, визуализацию и мощный технический язык. Встроенные интерфейсы позволяют получить быстрый доступ и извлекать данные из внешних устройств, файлов, внешних баз данных и программ. Кроме того, MATLAB позволяет интегрировать внешние процедуры, написанные на языках Си, Си++, Фортран, и Java. Используемый повсюду в промышленности, государственных, академических и учебных организациях, MATLAB фактически стал принятым во всем мире стандартом для технических вычислений. MATLAB имеет широкий спектр применений, включая цифровую обработку сигналов и изображений, проектирование систем управления, естественные науки, финансы и экономику, а также приборостроение. Открытая архитектура позволяет легко использовать MATLAB и сопутствующие продукты для исследования данных и

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

быстрого создания конкурентоспособных пользовательских инструментов. В состав данного релиза включены новейшие версии программных продуктов:

Simulink является интерактивным инструментом для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Он дает возможность строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать работоспособность систем и совершенствовать проекты. Simulink полностью интегрирован с MATLAB, обеспечивая немедленным доступом к широкому спектру инструментов анализа и проектирования.

Power System Blockset - пакет моделирования мощных энергетических (в основном электротехнических) систем, таких как линии передачи, силовые ключи, регуляторы напряжения и тока, устройства управления электродвигателями различного типа и нагревательными системами. Данный пакет обеспечивает моделирование широкого спектра энергетических систем и устройств - начиная с анализа простейших электрических цепей и кончая моделированием сложных преобразовательных устройств и даже целых электрических систем. Результаты моделирования отображаются разнообразными виртуальными измерительными приборами, такими как графопостроители, осциллографы и др.

2.3. Построение имитационной модели сервопривода

Математическая модель сервопривода в Simulink представлена на рис. 2.2 и состоит из следующих основных блоков [4]:

- вентильный двигатель;
- преобразователь координат;
- ШИМ инвертор;
- блок измерения переменных состояния двигателя.

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

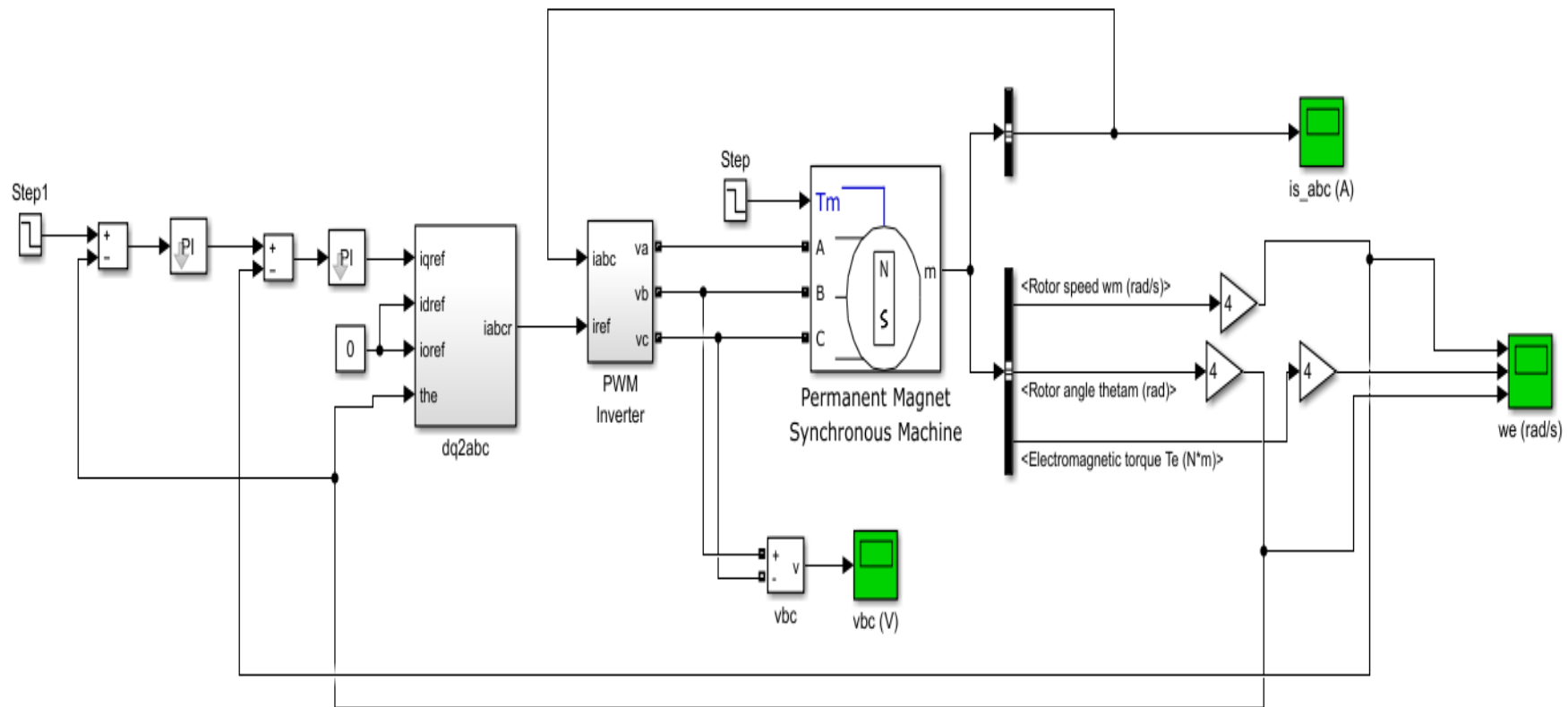


Рис. 2.2. Имитационная модель сервопривода в Simulink

Окно настройки позволяет задавать следующие значения:

- активное сопротивление статора R (Ом);
- индуктивность статора по продольной и поперечной оси L_d и L_q (Гн);
- поток возбуждения Φ (Вб);
- момент инерции ротора J (кгм²), коэффициент вязкого трения η (Нмс),

число пар полюсов p .

На выходе получаем момент развиваемый двигателем.

2) Преобразователь координат.

Преобразователь координат используется для перехода из вращающихся осей d и q , связанных с ротором вентильного двигателя, к трех фазной системе A, B, C .

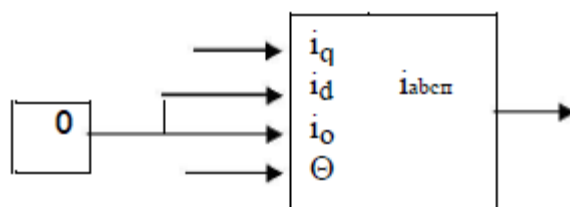


Рис. 2.5. Преобразователь координат

Преобразователь координат состоит из следующих стандартных блоков.

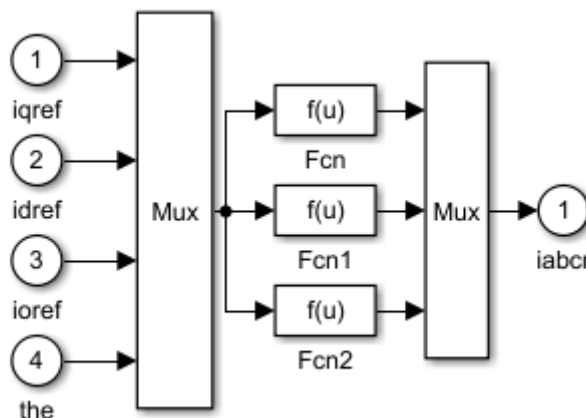


Рис. 2.6. Блоки преобразователя координат

Блок *Mux1* (мультиплексор (смеситель)). Объединяет входные сигналы в вектор. На вход *Mux1*, подаются следующие сигналы: i_q – ток по поперечной оси, i_d – ток по продольной оси, i_o – ток нулевой последовательности, Θ – угол отклонения ротора.

3) ШИМ инвертор. Внешний вид блока моделирования ШИМ инвертора представлен на рис. 2.9.

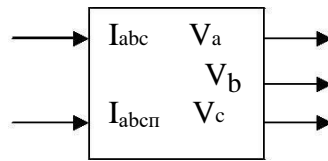


Рис. 2.7. ШИМ инвертор

ШИМ выполнен на основе модулей IGBT – биполярных транзисторов с изолированным затвором. Такое построение ШИМ обеспечивает многократное широтно-импульсное регулирование напряжения, причем в течении каждого полупериода основной частоты образуется много импульсов. Таким образом можно понизить содержание гармонических в кривой напряжения. ШИМ инвертор также играет роль регулятора тока, его реализация лежит в исполнении компаратора

Раскрытая подсистема инвертора представлена на рис. 2.8.

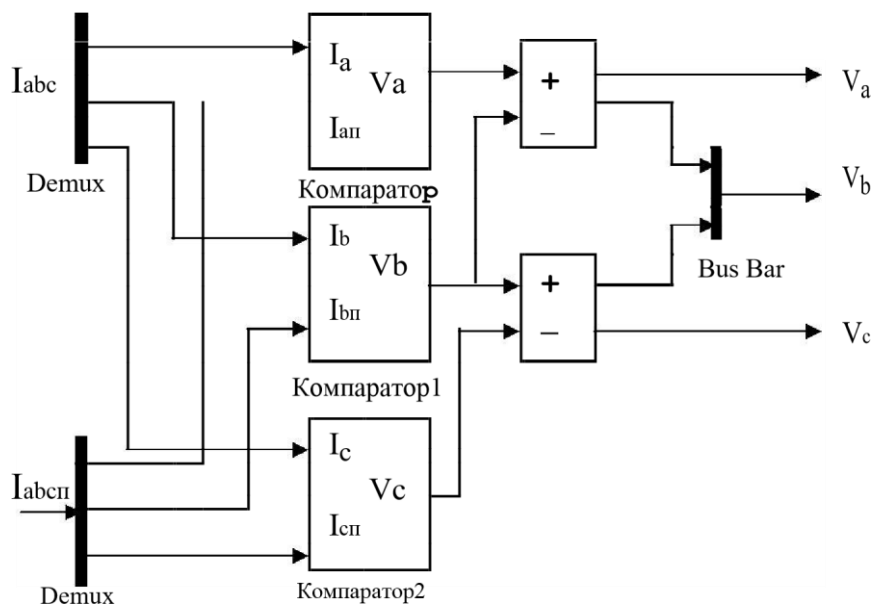


Рис. 2.8 Блочное представление ШИМ инвертора

Демультимплексор (разделитель) *Demux* разделяет входной векторный сигнал на отдельные составляющие. Входным сигналами в обычном режиме является вектор, сформированный любым способом.

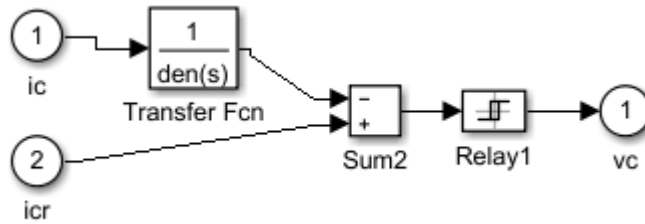


Рис. 2.9 Компаратор

На вход компаратора подаются два тока, I_a – ток трех фазной сети, который проходя через фильтр с малой постоянной сравнивается с током I_{ap} – преобразованным током по формуле (2.12).

4) Блок измерения переменных состояния двигателя Данный блок позволяет снимать параметры переменных связанные с данным двигателем.

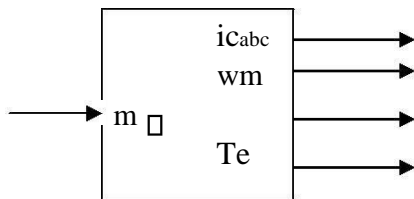


Рис. 2.10. Блок измерения переменных состояния двигателя

Окно настройки блока измерения переменных состояния двигателя имеет вид (рис.2.11).

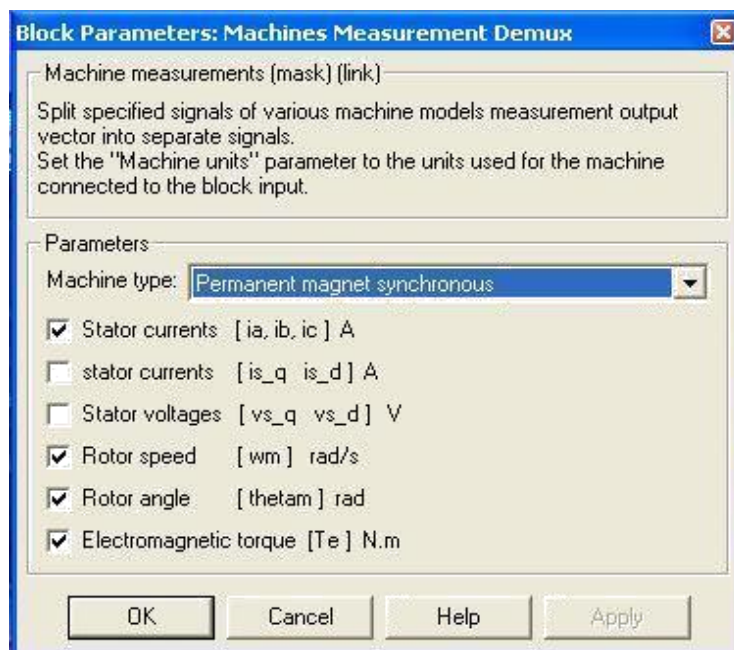


Рис. 2.11. Окно настройки блока измерения переменных состояний двигателя

При выборе, типа машины *Permanent magnet synchronous*. Флажками выбираем параметры необходимые для измерения.

- ток статора IABC (А);
- скорость вращения ротора ω (рад/сек);
- угол положения ротора θ (рад);
- электромагнитный момент T_e (Нм).

2.4. Исследование динамики сервопривода

Исследование динамики сервопривода поворотного стола выполнено в приложении Simulink по схеме, представленной на рис. 2.2. На рис. 2.12 представлен сигнал заданное и отработанное положения стола. Из графика положения стола видно что поворот стола осуществляется на 90 градусов или 1,57 радианы за время, не превышающее 5 секунд.

На рис. 2.12 представлены соответствующие графики по скорости и ускорению стола. Благодаря использованию фильтра с постоянной времени 0,1 секунды на входе контура положения удалось снизить броски ускорения при пуске и позиционировании с 2,5 до 0,95 рад/с², что удовлетворяет техническому заданию.

На рис. 2.12 представлены графики переходных процессов по моменту двигателя. Из графика момента видно, что поворот осуществляется при номинальном моменте нагрузки на двигатель в 2,4 Нм, с кратковременными перегрузками в 4,5 раза в моменты пуска и позиционирования, что допустимо для данного типа двигателей.

Таким образом, синтезированная СЭП поворотного стола в удовлетворяет техническому заданию.

					ЕП.ПД.16.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

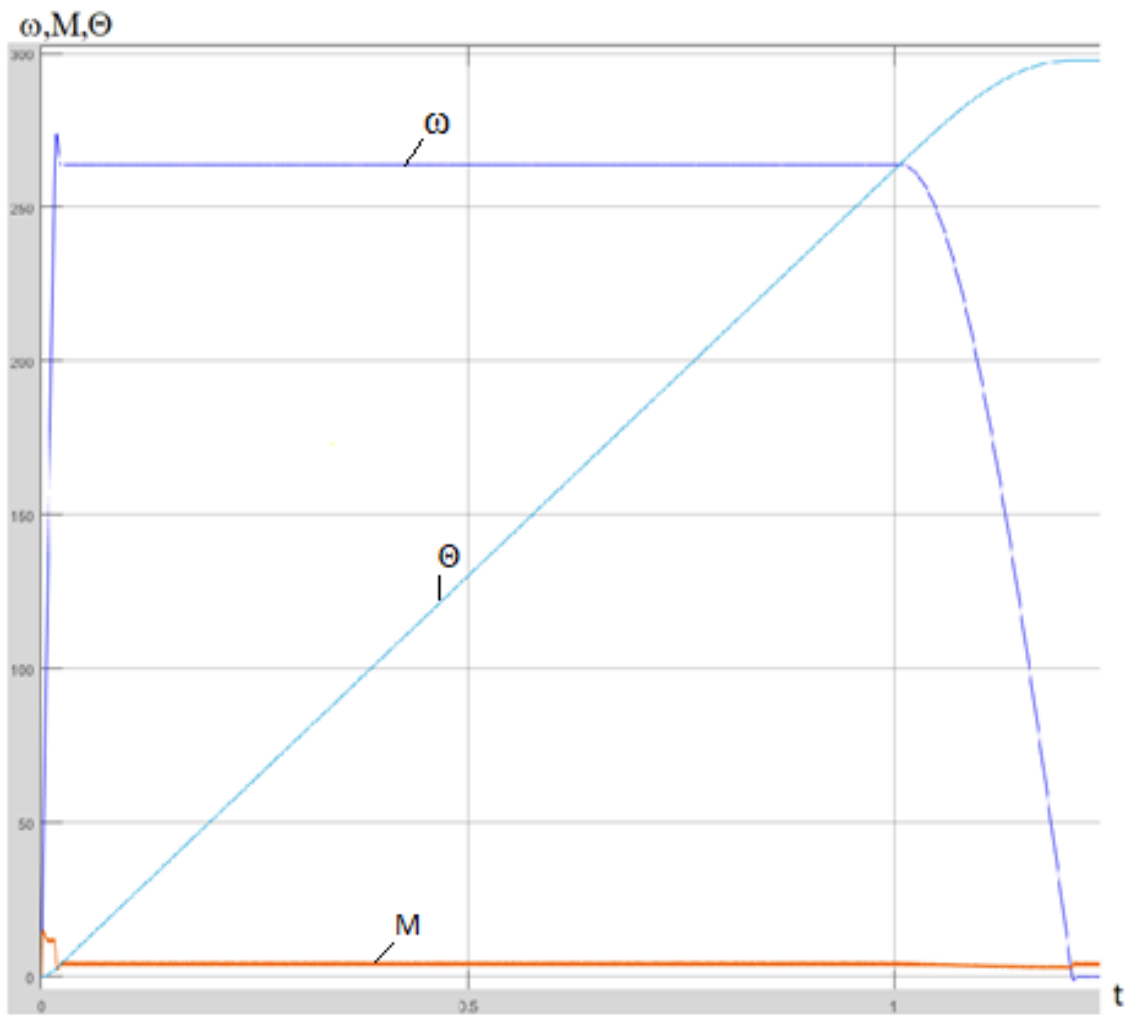


Рис. 2.12 График переходных процессов в системе при отработке задания

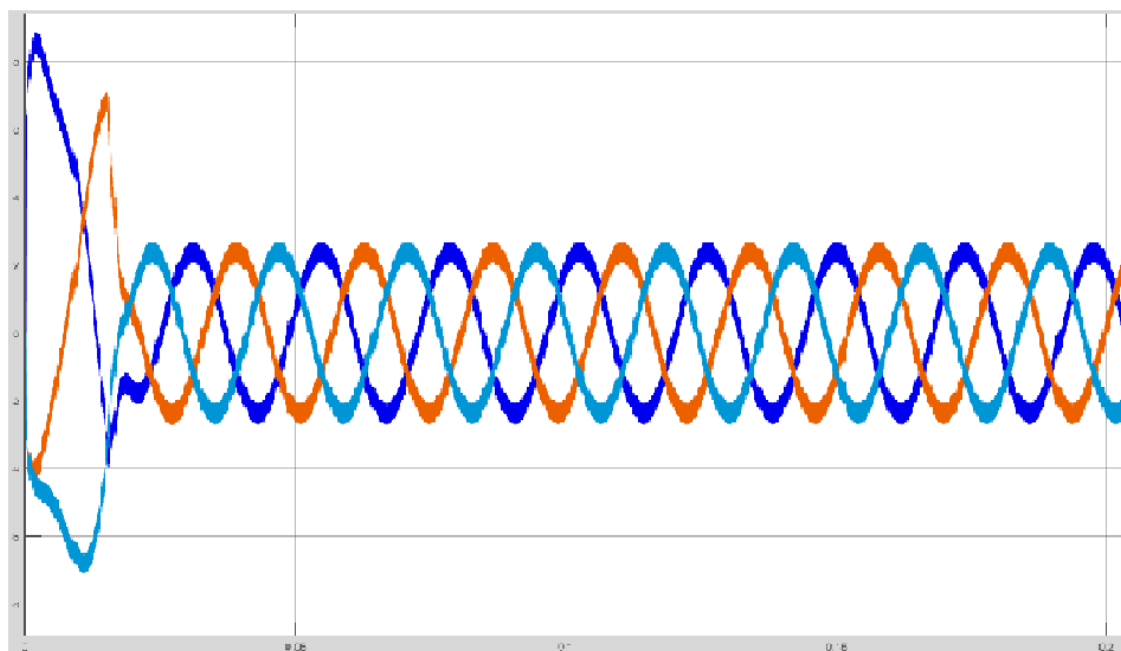


Рис. 2.18 Осциллограмма токов в системе при отработке задания.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3. ОХРАНА ТРУДА

3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.

Согласно межгосударственного стандарта ГОСТ 12 ГОСТ 12.0.003-74, опасные и вредные производственные факторы по природе действия подразделяются на:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Применительно к механизму, электропривод которого разрабатывается в данной работе, можно говорить о доминации следующих вредных производственных факторах: физических и психофизических. Для данной установки вредные факторы физической природы можно разделить на несколько основных групп:

- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- отсутствие или недостаток естественного света.

Говоря о психофизиологических опасных производственных факторах, следует вспомнить о нервно-психических перегрузках персонала, которые особенно выражены на фоне статических и динамических физических перегрузок.

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Мероприятия по технике безопасности труда и безопасной эксплуатации установки.

Говоря о технике безопасности труда персонала обслуживающего устройство следует, в первую очередь, выделять правила для персонала обслуживающего электроустановки, правила для персонала обслуживающего механическую часть, ну и конечно правила общие для всех трудящихся в металлургической области.

Нормативными документами устанавливаются следующие требования к электроустановкам:

- Все электроустановки металлургических производств должны находиться в технически исправном состоянии, обеспечивающем безопасные условия труда и функционирование технических устройств.

- Эксплуатация электрооборудования металлургических производства должна производиться в соответствии с НПА и ТНПА, устанавливающими требования технической эксплуатации электроустановок потребителей и техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

- Для каждой электроустановки должны быть составлены эксплуатационные схемы режимов работы. Все изменения, вносимые в схемы электрических соединений, а так же изменения мест установки заземления должны быть отмечены в схеме с обязательным указанием, кем, когда и по какой причине внесено то или иное изменение. Эксплуатационные электрические схемы и изменения, вносимые в них, должно утверждать лицо, ответственное за электрохозяйство предприятия.

- В электрических схемах должна быть предусмотрена защита электроустановок от перегрузки и короткого замыкания, а так же защита персонала от воздействия электромагнитного поля.

- При работах, связанных с опасностью поражения электрическим током или воздействия электромагнитного поля, должны применяться средства защиты.

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- У электрифицированных инструментов, переносных электрических ламп, понижающих трансформаторов и преобразователей частоты электрического тока перед применением должны быть проверены отсутствие замыкания на корпус, состояние изоляции питающих проводов и исправность заземляющего провода.

Переносной электрифицированный инструмент должен соответствовать требованиям межгосударственных стандартов безопасности труда, храниться в кладовой (инструментальной) и выдаваться рабочим на период работы. Электрифицированный инструмент напряжением выше 42 В должен выдаваться в комплекте со средствами индивидуальной защиты.

Лица, производящие обслуживание и ремонт электроустановок должны знать и соблюдать требования действующих ПУЭ.

Техническое обслуживание двигателей:

Во время эксплуатации двигателя необходимо вести его техническое обслуживание, которое по видам и периодичности делится на 3 группы:

- Общее наблюдение;
- Технический осмотр;
- Профилактический ремонт.

-Общее наблюдение заключается в периодическом контроле режима работы, состояния контактов, нагрева, чистоты двигателя.

-Технический осмотр проводить не реже одного раза в два месяца. При техническом осмотре нужно очистить двигатель от пыли и грязи, проверить надежность заземления и соединения с приводным механизмом.

-Профилактический ремонт двигателя производить в зависимости от производственных условий, но не реже одного раза в год.

При профилактическом ремонте производить разборку двигателя, продувку, обтирку, внутреннюю очистку, замену смазки, подшипников, проверку надежности заземления и всех соединений, проверку состояния вводных концов.

Разборка двигателя производится в следующем порядке:

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- а) отсоединяются от двигателя токоподводящие провода;
- б) отсоединяют двигатель от приводного механизма;
- в) снимается полумуфта с вала при помощи съемного приспособления, отвернуть болты, крепящие кожух двигателя и снять кожух;
- г) снять наружное кольцо вала, запирающее вентилятор. Снять вентилятор с помощью отжимных болтов, вынуть шпонку;
- д) отвернуть болты, крепящие крышку подшипников к переднему и заднему подшипниковым щитам, и снять крышки;
- е) отвернуть болты, крепящие передний щит, расположенный со стороны привода, и задний щит, расположенный с обратной стороны привода;
- ж) вывести задний щит из замка станины, подать ротор легкими толчками в сторону заднего щита и поддерживая его вывести осторожно из статора, чтобы не повредить лобовые части обмотки;
- з) положить вынутый ротор с задним щитом на деревянную подставку во избежании его повреждения.

Подшипники снимают только в случае их замены, для этого:

- а) снять пружинные кольца, фиксирующие положение подшипника на валу;
- б) снять смазочный диск и подшипник с помощью съемника;
- в) очистить и тщательно промыть бензином или керосином поверхности под подшипник;
- г) нагреть подшипник в чистом минеральном масле до температуры 70 - 80° С;
- д) насадить нагретый подшипник на вал до упора внутреннего кольца вала.

Собирают двигатель в последовательности обратной разборке.

При насадке муфты на вал нагреть его до температуры 80-1000С.

Проверить рукой свободно ли вращается ротор после сборки двигателя. Ротор должен вращаться без особых усилий, шума, стука, и заеданий и в конечном итоге проверяют сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса.

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пуск стана в неисправном состоянии, а также при отсутствии или неисправности оградительных и предохранительных устройств запрещается.

- При необходимости перехода через главный соединительный вал каждой клетки прокатного стана (далее – стан) должны устанавливаться переходные мостики с ограждением.

На непрерывных станах вместо отдельных мостиков через соединительные валы каждой клетки до пускается устройство одного сплошного мостика вдоль всех клеток с лестницами для спуска к каждой из клеток.

- Производить устранение неисправностей узлов и механизмов станов во время прокатки металла запрещается.

Неработающие калибры валков должны закрываться щитами.

- Проверка калибров, зазора между валками, а так же положения проводок должна производиться при помощи соответствующей оснастки.

Регулировка зазора между валками на вновь строящихся станах должна быть механизирована.

- Замер профиля прокатываемого металла на ходу стана должен производиться только дистанционно с использованием соответствующих измерительных приборов.

- На станах «трио» при наличии системы гидравлического уравновешивания среднего валка промежутки между траверсой привода и станиной клетки должны быть закрыты оградительными щитами.

- При ручной задаче металла в валки клещи вальцовщиков должны соответствовать сортаменту прокатываемого металла и быть в исправном состоянии. Для охлаждения клещей около станов должны быть установлены емкости с проточной водой, температура которой не должна превышать 45 °С.

- Конструкция подъемно-качающихся столов должна исключать возможность падения с них прокатываемого металла.

Для предотвращения травмирования работающих боковые поверхности подъемно-качающихся столов должны быть обшиты листовым металлом. При

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верхнем положении стола обшивка не должна быть выше плитового настила рабочего места.

- Для ремонта и осмотра механизмов подподъемно-качающимися столами должны быть устроены прямки с наклонными лестницами.

В случаях, когда устройство прямков с наклонными лестницами невозможно, допускается устройство сбоку подъемно-качающихся столов колодцев с вертикальными лестницами или скобами.

- Во время осмотра и ремонта механизмов, расположенных подподъемно-качающимися столами, стан должен быть остановлен, а подъемно-качающийся стол надежно закреплен.

- Промежутки между роликами рольгангов, за исключением рабочих рольгангов у блюмингов и слябингов, должны быть перекрыты.

Далее перечислены основные правила для блюмингов и слябингов:

- Для защиты работающих от отлетающих при прокатке частиц окалины и шлака с боков клетки блюминга (слябинга) против прорези в станине и сбоку рабочих рольгангов должно быть установлено соответствующее защитное ограждение (предохранительные щиты, сетчатое ограждение).

- Указатель нажимного устройства клетки блюминга (слябинга) должен быть доступен для регулировки и хорошо освещен. При обильном парообразовании для улучшения видимости должен быть предусмотрен отдув пара с помощью вентилятора.

- Клеймение блюмов и слябов после резки должно производиться автоматически клеймовочной машиной.

Управление машиной должно быть дистанционное.

- Работы по погрузке и уборке обрезки должны выполняться в соответствии с требованиями технологической инструкции.

При погрузке обрезки в железнодорожные вагоны места погрузки должны быть ограждены.

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Во время передвижения вагонов для установки под сбросной желоб должны подаваться звуковые сигналы. На участке погрузки должны быть установлены соответствующие знаки безопасности.

- При уборке обреси в коробки переполнять их за прещается.
- Для наблюдения за погрузкой обреси в вагоны посты управления должны быть оборудованы телевизионными установками, а конвейер обреси – дистанционным управлением.

3. Производственная санитария

В соответствии с Законом Украины „Об обеспечении санитарного и эпидемического благополучия населения” вопросы санитарных и противоэпидемиологических норм нашли отражение в целом ряде законодательных, нормативных и инструктивных документах: „Закон Украины об охране труда”, СНиП 89-90 „Генеральные планы промышленных предприятий”, ДСН 3.3.6.042.99 „Санитарные нормы микроклимата производственных помещений”, ДСН 3.3.6.039-99 „Государственные санитарные нормы производственной общей и локальной вибрации”, ДНАОП 0,03-1,02-94 „Положение о медицинском осмотре работников определенных категорий”, ГОСТ 12.1.005-88 „Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”, ДБН 2.2.1-95 „Основные положения проектирования” и др.

В ст.7 Законодательства „Обязанности предприятий, учреждений и организаций” изложены обязанности администрации по выполнению санитарных и противоэпидемиологических мер, контроля за вредными и опасными производственными факторами; ликвидации непредвиденных обстоятельств и их последствий, оповещению работников и специальных органов Государственного надзора о допущенных нарушениях. Технология производства такова что на одних участках все санитарные нормы соблюдены и

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не наблюдается резкого отклонения от них, а на других наблюдается циклическое резкое отклонение многих параметров от нормы.

4 Противопожарная безопасность

В производственных помещениях, на подстанциях и в электромашинах помещения должны быть первичные средства огнетушения, которые применяет обслуживающий персонал для ликвидации пожара до прибытия вызывной пожарной части.

Для тушения пожаров можно использовать воду, водяной пар, воздушно-механическую пену и специальные химические средства (углекислота). Для тушения пожаров применяются: огнетушитель типа УП-1М, углекислотно-бромтиловые огнетушители, а также простейшие средства такие как песок, асбестовая ткань и т.д. Противопожарные огнетушители вывешиваются на видных местах.

Соблюдение правил техники безопасности во многом способствует улучшению пожарной безопасности на производстве. Кроме того, существуют специальные противопожарные правила, которые следует выполнять каждому работающему на производстве.

Пожары происходят в результате неосторожного обращения с огнем, небрежности рабочего и по другим причинам. Огнеопасные материалы (бензин, керосин, растворители, масляные тряпки, обтирочные материалы и др.) необходимо хранить в специально отведенных для этого местах. Курить у станка и бросать окурки на пол воспрещается. По окончании работы или при перерывах в работе надо обязательно выключить все электродвигатели станка и местное освещение. Рабочий не должен сам исправлять повреждения в электрооборудовании и электропроводке станка. При любых неисправностях электрооборудования (перегреве или остановке электродвигателя, перегорании предохранителей и др.) следует немедленно вызывать электротехника.

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

В случае возникновения пожара надо выключить все электродвигатели и по ближайшему телефону или специальным сигналом вызвать пожарную команду. До ее прибытия следует тушить пожар собственными силами, пользуясь огнетушителями, песком, брезентом и другими подручными средствами.

Горящий бензин, керосин, нефть, смазочные масла следует тушить пенными огнетушителями. При пожаре нельзя выбивать окна, так как при этом увеличивается приток кислорода, способствующего усилению огня. Для проведения мероприятий по охране от пожаров промышленных предприятий организуются добровольные пожарные дружины из числа рабочих, инженерно-технических работников и служащих.

На добровольную пожарную дружину возлагается:

- осуществление контроля за выполнением и соблюдением в цехе противопожарного режима;
- надзор за исправным состоянием первичных средств пожаротушения;
- вызов пожарных команд в случае возникновения пожара и принятие немедленных мер к тушению пожара имеющимися в цехе средствами.

На каждом предприятии инженерно-техническим персоналом должны быть разработаны цеховые (объектовые) противопожарные инструкции. В инструкции предусматриваются общие меры пожарной безопасности, противопожарный режим, специальные мероприятия в зависимости от технического процесса, способы вызова пожарной охраны и т. д.

На промышленных предприятиях должна проводиться повседневная пожарно-профилактическая работа.

Она заключается в проведении комплекса мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность предприятия:

- устранение причин, могущих вызвать возникновение пожара;
- осуществление мероприятий, ограничивающих распространение пожара в случае его возникновения;
- создание условий для успешной эвакуации людей и имущества при пожаре;

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

– проведение мероприятий, обеспечивающих успешную ликвидацию пожара местными силами и средствами в первоначальный момент его возникновения.

Непосредственная ответственность за состояние пожарной безопасности и соблюдение правил противопожарного режима на отдельных объектах (цех, участок, склад и т. д.) возлагается на начальников объектов.

Во время пожара важно соблюдать спокойствие и беспрекословно выполнять все распоряжения руководителей производства.

					ЕП.ПД.16.05.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

4. Техничко-экономическое обоснование

1. Экономическое обоснование внедряемой системы электропривода

Универсальным средством для обработки деталей является фрезерные станки. Они позволяют работать с различными деталями. Фрезерные станки можно встретить как на больших так и на небольших, предприятиях различных отраслей промышленности. Самыми современными являются автоматизированные станки и станки с ЧПУ (числовым программным управлением). Фрезерные станки позволяют изготовить детали со сложными криволинейным узорами.

Техническое оборудование постоянно модернизируется. Этот процесс не обходит и токарные станки. Использование предприятием современных фрезерных станков позволяет повысить эффективность труда и снизить затраты, вследствие чего возрастает его доход.

В дипломном проекте был произведен расчет электропривода стола фрезерного станка с использованием системы автоматического управления. Это позволит повысить производительность станка, сократить расходы на электроэнергию за счет полного использования мощности двигателя и тем самым уменьшить электропотребление и соответственно затраты на электроэнергию и эксплуатационные затраты в целом.

В технико-экономическом обосновании необходимо определить проектные капиталовложения

2. Расчет капитальных расходов

В состав капитальные расходы входят:

- стоимость нового оборудования системы электропривода;
- резерв, если предусмотрено;

					ЕП.ПД.16.05.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- стоимость строительно-монтажных работ по установке оборудования, в том числе зарплата;

- транспортные расходы по доставке оборудования;

- стоимость занимаемой оборудованием площади;

- заготовительно-складские расходы.

Расчет общей стоимости капитальных вложений внедряемой и базовой системы электропривода приведен в таблице.

Определим капитальные расходы, необходимые для внедрения проектируемой системы:

$$K_{\text{б}} = C_{\text{об}} + C_{\text{м}} + C_{\text{рез}} + Z_{\text{пл}} + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{скл}}, \text{ грн}$$

Где $C_{\text{об}}$ - стоимость основного оборудования;

$C_{\text{м}}$ -стоимость монтажных работ;

$C_{\text{рез}}$ - стоимость резервного оборудования;

$Z_{\text{пл}}$ -затраты на занимаемую площадь при установке агрегатов и щитов;

$Z_{\text{тр}}$ - транспортные расходы;

$Z_{\text{пл}}$ – заготовительно-складские расходы.

Смета расходов на электрооборудование

№п/п	Наименование и характеристика оборудования	Количество	Стоимость, грн
1	Мотор-редуктор СМР50S	1	40 750
2	Поворотный стол	1	20 000
3	Сервопреобразователь МКС51А	1	33 217
	Всего		93 956

3. Расчет и сопоставление эксплуатационных затрат

Текущие годовые затраты на эксплуатацию состоят из:

- амортизационных отчислений C_a ;
- затраты на электроэнергию $C_э$;
- затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования $C_{обсл}$;
- другие затраты $C_{др}$.

3.1 Расчет амортизационных отчислений

Расчет амортизационных отчислений необходимо провести для электрооборудования. Стоимость основных фондов:

$$\Phi_a = \Phi_{п} - Л = 87096 - 0 = 93956 \text{ грн.}$$

де $\Phi_{п}$ – начальная стоимость объекта основных средств;

$Л$ – расчетная ликвидационная стоимость основных средств. Принимаем $Л=0$.

Норма амортизации $Н_a$ при прямолинейном методе постоянная на протяжении всего амортизационного периода и определяется по формуле:

$$Н_a = \frac{\Phi_{п} - Л}{\Phi_{п} * T_k} * 100\% = \frac{93956}{93956 * 5} * 100\% = 20\%$$

Электрооборудование имеет $T_k = 5$ лет.

Расчет амортизационных отчислений

Наименование	Капитальные расходы, грн.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, грн
Проектный вариант	93956	20	18791

3.2 Расчет годового фонда заработной платы

Расчет годового фонда заработной платы осуществляется по категориям персонала (рабочие, РСС), обслуживающего объект проектирования, в

					ЕП.ПД.16.05.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

соответствии с их численностью, режимом работы, часовыми тарифными ставками, должностными окладами, применяемыми на предприятии формами и системами оплаты труда и премирования.

Основная заработная плата работников – это вознаграждения за выполненную работу в соответствии с установленными нормами труда (нормы времени, выработки, обслуживания, должностные обязанности). Она определяется тарифными ставками и сдельными расценками для рабочих, должностными окладами для специалистов, служащих и руководителей.

Дополнительная заработная плата – это вознаграждение за работу сверх установленных норм, за особые условия труда. К дополнительной заработной плате относятся премии, связанные с выполнением производственных заданий и функций, доплаты и надбавки, гарантийные и компенсационные выплаты, предусмотренные действующим законодательством. Поскольку оборудование не нуждается в постоянном контроле достаточно уделять час на осмотр в неделю.

$$T_{\text{ном}} = 52 \cdot 1 = 52 \text{ год.}$$

№ п/п	Название профессии	Учетный штат, чел.	Тарифная ставка за час, грн.	Годовой фонд рабочего времени, час.	Основная зарплата по тарифу, грн.
1.	Электрослюсар	1	31,4	52	1632,8

Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала определяется в размере 10-15% от основной заработной платы. Таким образом, общая величина годового фонда заработной платы составляет:

$$C_z = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

$$C_z = 1632.3 + 326.5 = 1959.36 \text{ грн.}$$

где $Z_{\text{осн}}$, $Z_{\text{доп}}$ – основная и дополнительная заработная плата соответственно, грн.

					ЕП.ПД.16.05.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.3 Определение годовых затрат на техническое обслуживание

Годовые затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт электротехнического оборудования включают затраты в основном на запасные части и определяются по данным предприятия.

Расходы на текущий ремонт электротехнического оборудования можно рассчитать по формуле:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right)$$

где R - часовая ставка рабочих, выполняющих ремонт, руб;

t - трудоемкость одного ремонта (для среднего принимаем 7 ч / ед.)

m - количество ремонтов в год;

R_Σ- суммарная категория сложности ремонта (принимаем 10);

S - стоимость однотипных заменяемых элементов, грн;

Π - количество однотипных заменяемых элементов, грн;

T - средний срок службы деталей одного типа, ч;

T_φ - число часов работы оборудования в год, часов

В свою очередь эффективный фонд рабочего времени оборудования ТЕФопределяется как календарный фонд времени T_к (В 2017 году - 116 дней), а также времени простоя оборудования в планово предупредительных работ.

Число часов работы в год составляет 249 · 8 = 1992 год.

(245 рабочих дней, смена 8:00, работа в 1 смену)

Время на проведение ремонтных предупредительных работ

T_{п-рем.} = 6 · 8 = 48 часов.

Техническая остановка механизма примерно 1 час. в смену есть 249 часов.

Общее время работы оборудования составляет:

$$T_p = 1992 - 48 - 245 = 1695 \text{ год.}$$

					ЕП.ПД.16.05.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Проектные расходы:

$$C_{\text{т.р.}} = 31,4 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 10 + \frac{200 \cdot 6}{300} \cdot 1695 = 8978 \text{ грн}$$

3.4 Расчет стоимости потребленной электроэнергии

Стоимость электроэнергии, потребляемой электроприводом подачи в течение года, определяется исходя из его установленной мощности и годового фонда рабочего времени токарного станка по формуле:

$$C_э = W_p \cdot Ц_э \text{ грн ,}$$

$$W_p = N_y \cdot T_n \cdot K_{\text{инт}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где N_y – установленная мощность оборудования;

T_n – номинальное время работы оборудования за год;

$K_{\text{инт}}$ – интегральный коэффициент использования мощности.

$$\begin{aligned} T_{\text{эф}} &= T_{\text{кал}} - T_{\text{нероб}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{техн}} = 365 \text{ дней} \cdot 8 \text{ часов/смену} \cdot 3 \text{ смены} - \\ &- 115 \text{ дней} \cdot 8 \text{ часов/смену} \cdot 3 \text{ смены} - 6 \text{ дней} \cdot 8:00 \text{ всмену} \cdot 3 \text{ смены} - \\ &- 246 \text{ дней} \cdot 1:00 \text{ всмену} \cdot 3 \text{ смены} = 8760 - 2760 - 144 - 738 = \\ &= 5118 \text{ часов} \end{aligned}$$

Количество электроэнергии, потребляемой внедряются объектом за год:

$$W_p = 0.12 \cdot 5118 \cdot 0.6 = 368.496 \text{ кВт}$$

где W_p – количество потребленной за год электроэнергии:

21 – количество рабочих дней в месяц (дней);

6 – количество рабочих месяцев в году (мес.);

8 – количество рабочих часов в смену (час);

0.12 – мощность электродвигателя (кВт);

$Ц_э = 2.2$ грн – тариф на электроэнергию, по состоянию на 1 июня 2018 года, (грн/кВт·ч) источник информации: «ДТЭК Днепрооблэнерго»

$$C_e = 368.496 \cdot 2.2 = 744,36 \text{ грн}$$

					ЕП.ПД.16.05.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.5 Определение прочих расходов

Прочие расходы по эксплуатации объекта проектирования включают затраты по охране труда, на спецодежду и пр. Согласно практике, эти расходы определяются в размере 4% от годового фонда заработной платы обслуживающего персонала

И составляют:

$$C_{\text{иш}} = 1959.3 \cdot 0,04 = 78,37(\text{грн})$$

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы составляют:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{\text{иш}} = 1632.8 + 1959.36 + \\ + 431.05 + 8978 + 744,36 + 78,37 = 13823,94 \text{ грн}$$

3.6 Выводы по технико-экономическим расчетам

В разделе была определена стоимость капитальных затрат на внедрение разработанного решения которая составляет 93956 грн. Также определена сумма расходов на эксплуатацию и обслуживание оборудования которая составила 13823 грн.

					ЕП.ПД.16.05.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты дипломного проекта могут быть сформулированы следующим образом:

1. Сервоприводы целесообразно использовать там, где недостаточно точности и диапазона регулирования обычных общепромышленных приводов переменного тока на базе асинхронных двигателей. Сервоприводами оснащаются прецизионные системы поддержания скорости и позиционирования промышленных роботов, высокоточных станков и других агрегатов.

2. Выполнен расчет и выбор элементов силовой и регулирующей частей привода поворотного стола на базе компонентов фирмы SEW-EURODRIVE. По желанию заказчика привод может быть скомпонован из компонентов других производителей.

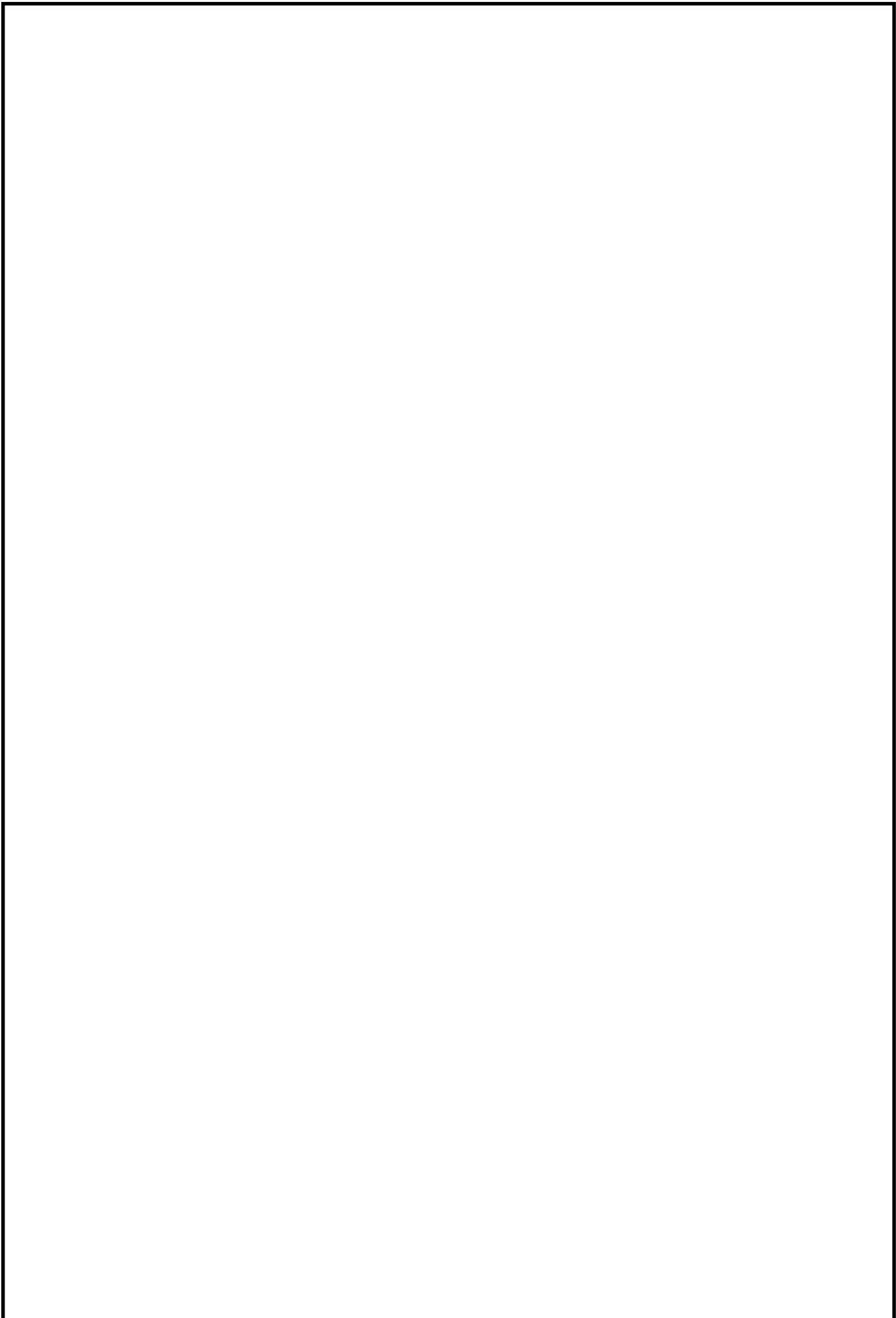
3. Произведено построение математической модели сервопривода и исследование динамики синтезированного электропривода на ЭВМ в системе имитационного моделирования Simulink с применением библиотеки Power System Blockset.

					ЕП.ПД.16.05.3.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

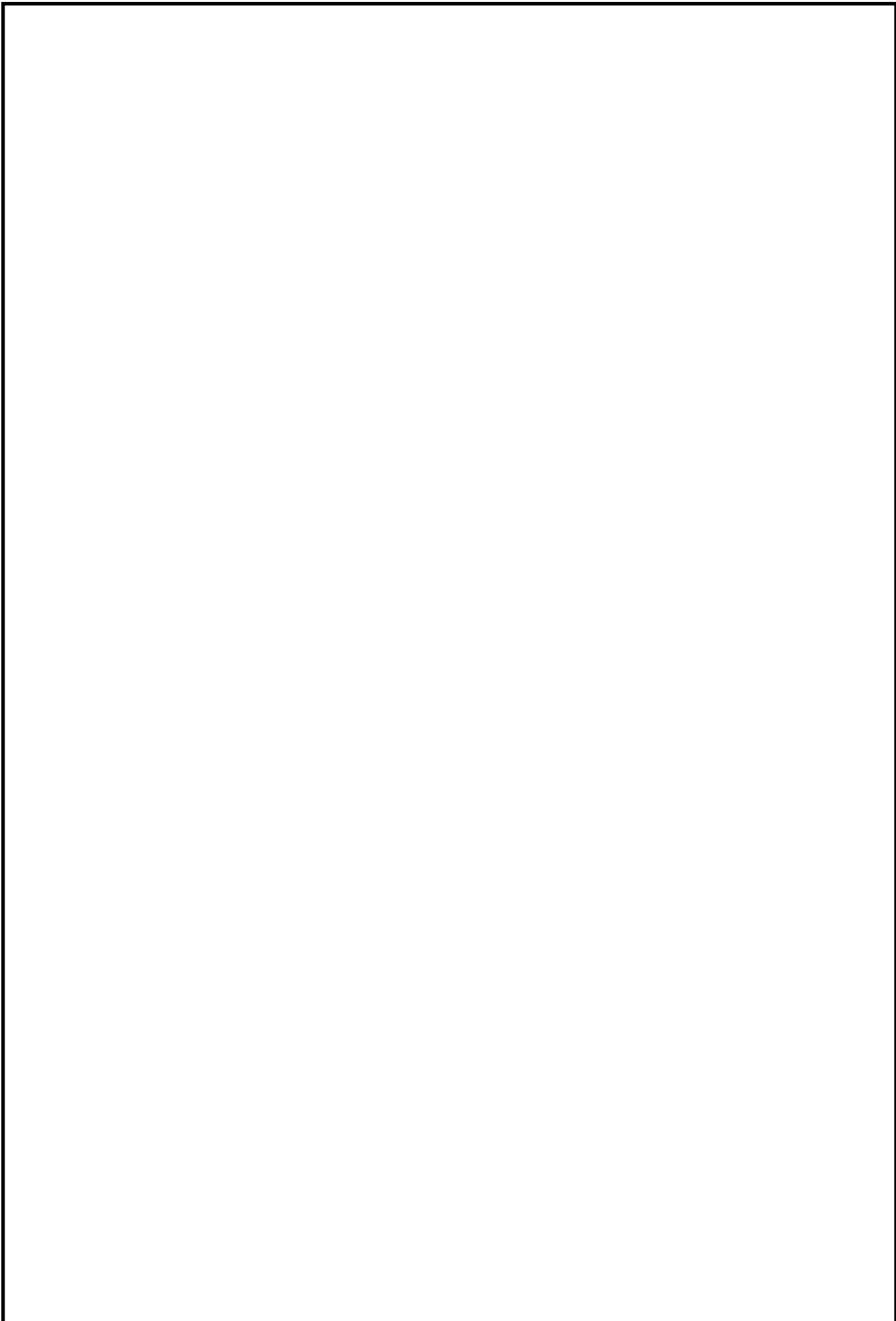
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелян А.К. Вентильные электрические машины и регулируемый электропривод. – СПб.: Энергия, 1977.
2. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. – Л.: Энергия, Ленингр. отд – ние, 1979.
3. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода: Учебник для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт – Петербургское отд – ние, 1994.
4. Лебедев Н.И. Вентильные электрические машины. – СПб.: Энергия 1996.
5. Осин И.Л. Электрические машины: синхронные машины. – М.: Высш. шк. 1990.
6. Подлипенский В.С. и др. Элементы и устройства автоматики: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 1995.
7. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат. 1992.
8. Дьяконов В., Simulink 4. Специальный справочник. С-Пб.: Питер, 2002.
9. Каталог SEW- Evrodrive Сервопреобразователь MOVIDYN .
10. Каталог SEW- Evrodrive Синхронные серводвигатель SMP.

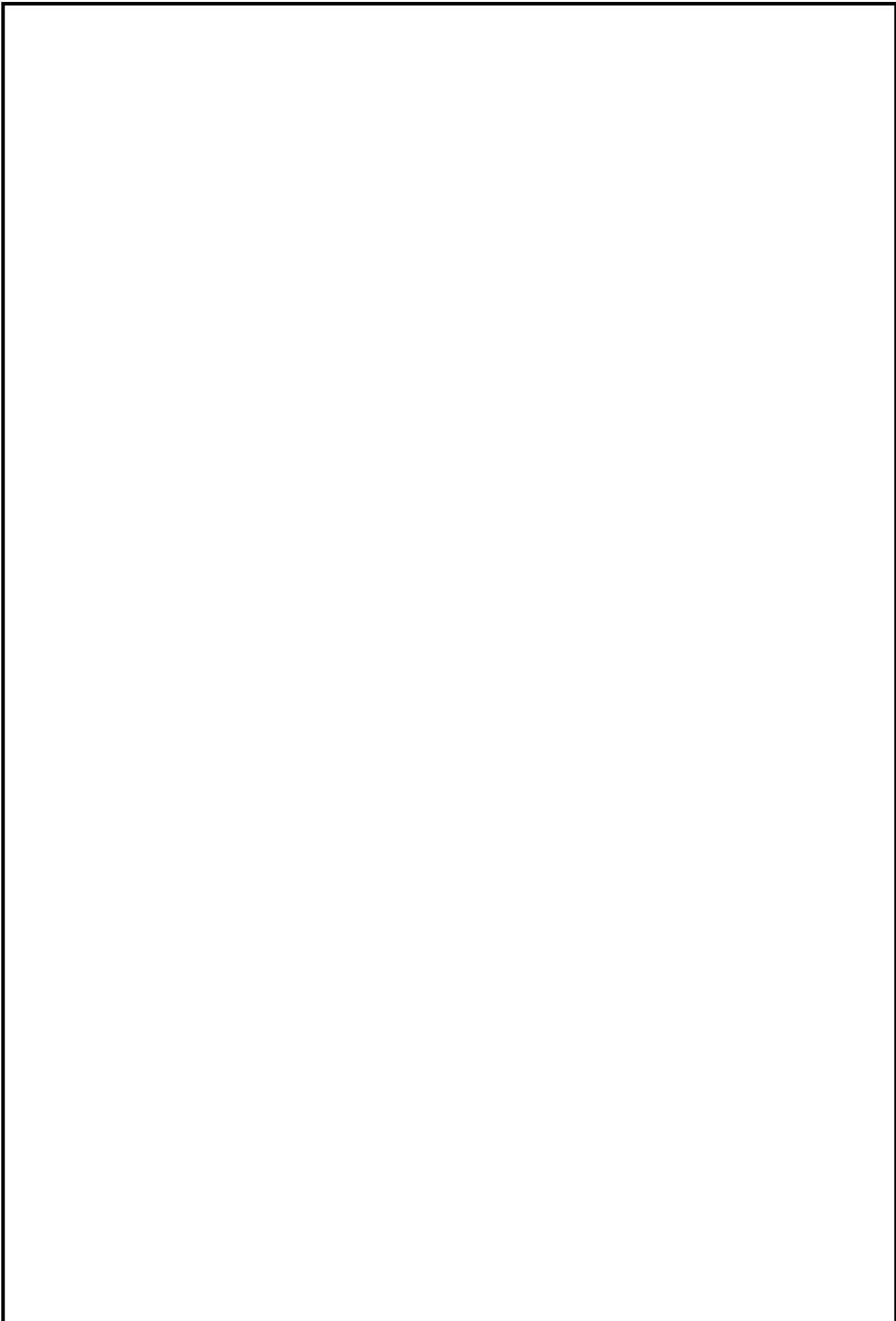
					ЕП.ПД.16.05.СЛ.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



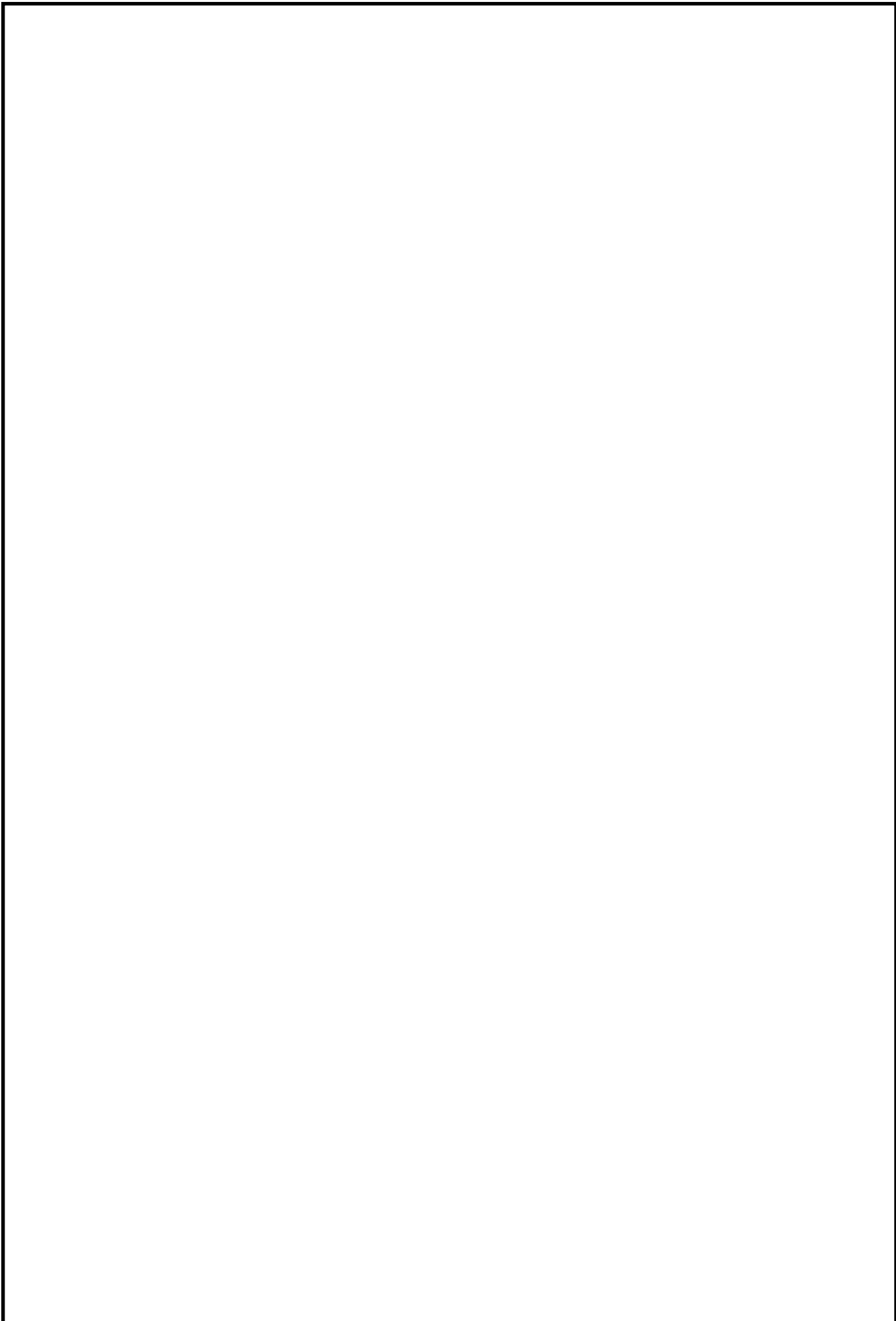
					ЕП.ПД.16.05.РЕ.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58



					ЕП.ПД.16.05.РЕ.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



					ЕП.ПД.16.05.РЕ.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



					ЕП.ПД.16.05.РЕ.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61