

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
(наименование института)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование кафедры)
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Промышленная электроника
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **СИЛОВОЙ ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Студент(ка)	<u>А.А. Палфёров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>В.П. Певчев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>Парфенова О.А.</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

Аннотация

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Объем: 79 страниц, 30 рисунков, 5 таблиц и чертежи на 7 листах формата А1.

Название бакалаврской работы: «Силовой тиристорный электропривод».

Объектом данной бакалаврской работы является электропривод постоянного тока для подачи стола продольно-фрезерного станка.

Целью бакалаврской работы является проектирование системы автоматизированного электропривода постоянного тока для подачи стола фрезерного станка.

Задачами бакалаврской работы являются расчет и выбор элементов силовой части электропривода: электродвигателя, сетевого трансформатора, вентиля, тахогенератора; разработка структурной схемы и расчет ее параметров, обеспечивающий астатические механические характеристики; построение математической модели электропривода и переходных процессов на основе структурной схеме; выбор принципиальных схем систем импульсно-фазового управления, усилителя импульсов, узла защиты и блокировки.

Приведена технология изготовления печатной платы формирователя импульсов.

Дополнительно включены разделы по охране труда.

Abstract

KEYWORDS: THYRISTOR-MOTOR DRIVE, AUTOMATION, PULSE-PHASE CONTROL

Length: 79 pages, 30 figures, 5 tables and graphic part on 7 A1 sheets.

The title of the bachelor's thesis is Power thyristor-motor drive.

The object of the bachelor's thesis is the DC motor drive for the table feed of a base-type milling machine.

The aim of the bachelor's thesis is the design of an automated DC motor drive for the table feed of a base-type milling machine.

The problems of the bachelor's thesis are the calculation and element selection of the motor drive power circuit: electric motor, mains transformer, rectifiers, tachometer generator; development of the structural diagram and calculation of its parameters, providing astatic mechanical characteristics; the construction of a mathematical model of the electric drive and transients based on the structural diagram; selection of circuit diagrams of pulse phase control systems, pulse amplifier, protection and interlock unit.

The manufacturing technology of the pulse former PCB was given.

In the special part of the bachelor's thesis the work safety.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. АНАЛИЗ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИВОДОВ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	7
2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	26
2.1. Анализ исходных данных для проектировани	26
2.2 Выбор двигателя	26
2.3. Выбор и расчет силового тиристорного преобразователя	32
2.4. Анализ свойств силовой части системы тиристорный преобразователь- двигатель.	35
3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТЫ.	39
3.1. Функциональная схема	39
3.2. Структурная схема	42
3.3. Построение математической модели, переходных процессов	47
4. ВЫБОР И ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ	51
4.1. Выбор принципиальных схем	51
4.2 Силовая часть	52
5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.	57
6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.	65
6.1 Описание рабочего места, оборудования, выполняемых операций.	65
6.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов.	67
6.3 Анализ опасных факторов при изготовлении печатной платы, и мероприятия по созданию безопасных условий труда.	68
6.4 Обеспечение электробезопасности на производственном участке.	71
6.5 Обеспечение пожаробезопасности на производственном участке	72
6.6 Экологичность технологического процесса, вентиляция.	74
6.7 Безопасность объекта при аварийных и чрезвычайных ситуациях.	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
Список используемой литературы	79

ВВЕДЕНИЕ

Электрический привод - электромеханическое устройство, приводящее в движение рабочие органы машины и тем самым осуществляет технологический процесс. Привод состоит из трех основных частей: электрического двигателя, механической части, передающей механическую энергию двигателя рабочим органам машины, и системы управления, обеспечивающей управление технологическим процессом. Характеристики двигателя и заложенные алгоритмы работы определяют производительность механизма, точность выполнения технологических операций, ограничивают до безопасного уровня нагрузки механического оборудования и ряд других факторов. Электрические и механические элементы электропривода образуют единую электромеханическую систему.

Современный электропривод является основным звеном автоматизации производства, уровень его технического состояния определяет возможность решения задач, связанных с повышением производительности и точности работы оборудования, с созданием производственных комплексов энергосберегающих и безлюдных технологий. Широкое применение электроприводов объясняется рядом достоинств и возможностей по сравнению с другими видами приводов: использование и преобразование электрической энергии в другие виды энергии наиболее экономично; большие диапазоны мощности и скорости; возможности автоматизации технологических процессов; высокий КПД и экологическая чистота.

Применение быстродействующих регулируемых систем электроприводов ведет к изменению и упрощению конструкций станков и механизмов. Повышение технического уровня оборудования реализуется за счёт современного исполнения электроприводов, интеграции электропривода в конструкцию станков, применения систем управления средствами микропроцессорной техники.

Тенденция развития электроприводов характеризуется ростом применения систем импульсного управления. Электроприводы не имеют

ограничений по максимальной скорости вращения и предельной мощности, бесконтактны, безуходны и позволяют достичь наиболее высоких динамических показателей.

В состав автоматизированных электроприводов входят сложные динамические системы, включающие в себя различные линейные и нелинейные элементы: двигатели, генераторы, различные электронные усилители, обеспечивающие разнообразные статические и динамические характеристики. Для увеличения диапазона регулирования скорости широко используют цифроаналоговые датчики с большой разрешающей способностью. В системах регулирования применяют преимущественно принципы подчинённого блочного регулирования.

В основном выбор типа привода зависит от требований, предъявляемых к качеству регулирования скорости и к качеству переходных процессов. Для глубокого регулирования скорости и хорошей управляемости могут использоваться только приводы с индивидуальными преобразователями. В настоящее время предпочтение отдаётся приводам постоянного тока.

Современное станочное оборудование просто невысказимо без автоматизированного индивидуального электропривода рабочих органов. Целью бакалаврской работы является – снижение эксплуатационных расходов и повышение надёжности работы станка, путём разработки системы автоматизированного электропривода для подачи стола продольно-фрезерного станка.

1. АНАЛИЗ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИВодОВ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

В зависимости от условий производства и для обработки заготовок различного вида могут использоваться фрезерные станки. Они могут быть подразделены на станки общего назначения и специальные.

К станкам общего назначения относятся продольно и поперечно-фрезерные с двумя или более шпинделями, одностоечные и двухстоечные, продольно - поперечно строгальные, расточные, токарные, сверлильные, с использованием ЧПУ и др.

Проектируемый автоматизируемый электропривод предполагается установить на продольно-фрезерный станок, относящийся к станкам общего исполнения.

Ниже представлен его принцип работы и структура.

Продольно-фрезерный станок (рис. 1.1) двухстоечный с четырьмя шпинделями (два вертикальных и два горизонтальных) предназначен для обработки вертикальных, горизонтальных и наклонных плоскостей на заготовках большой длины или группы заготовок одновременно.

На этом станке используют твёрдосплавные, оснащённые эльбором быстрорежущие фрезы различного типа: торцевые, дисковые, Т-образные, цилиндрические, фасонные и др.

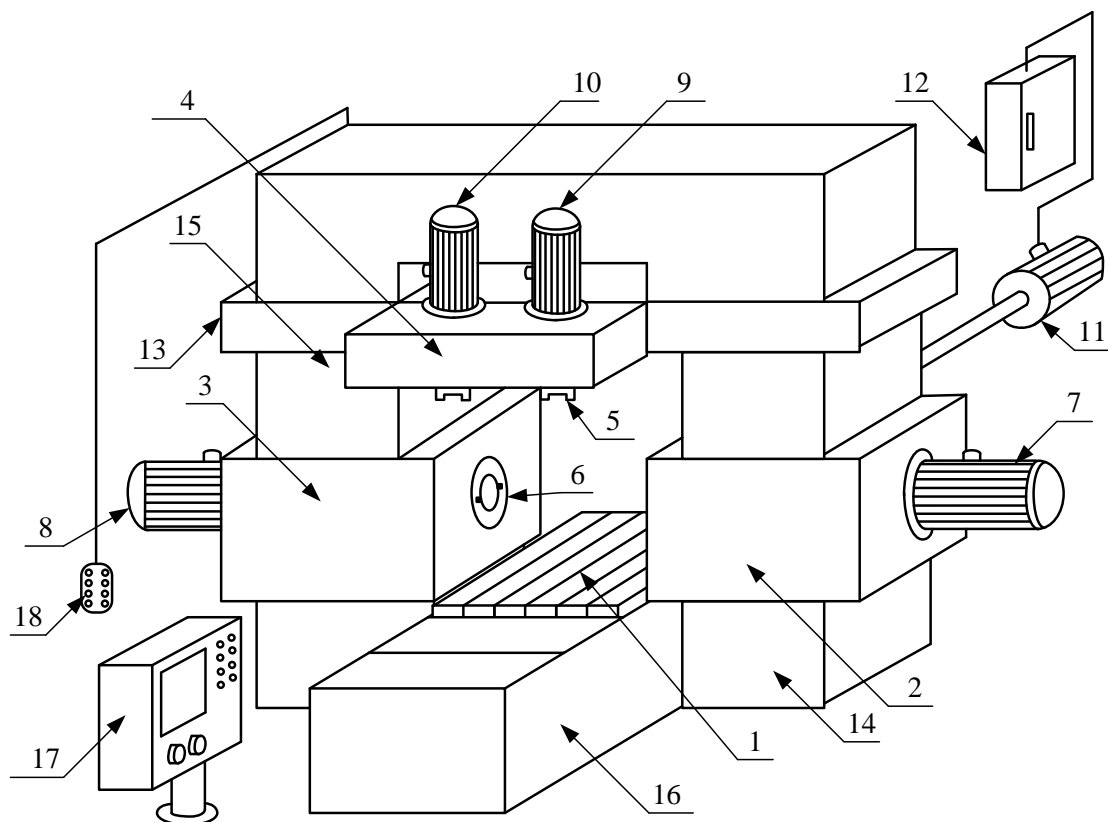


Рисунок 1.1 - Продольно-фрезерный станок

Хотя станок именуется фрезерным, он может быть использован как сверлильный и расточной. Это расширяет его функциональные возможности. Станок оснащён устройством ЧПУ.

Исполнительным механизмом является стол 1, несущий обрабатываемую заготовку и три суппорта (два горизонтальных 2,3 и один вертикальный 4). На вертикальном суппорте расположены два шпинделя 5, на горизонтальных по одному 6. Вращение шпинделей передаётся от двигателей постоянного тока 7,8,9,10 соответственно. Шпиндель ещё называют вертикальной (горизонтальной) фрезерной головкой.

Заготовку устанавливают на стол и зажимают с помощью различных приспособлений. Обрабатывающий инструмент крепят в оправки, а затем уже устанавливают на вертикальном и горизонтальном суппортах. Движение резания передаётся столу от двигателя постоянного тока 11 через понижающий редуктор.

Питание и регулирование скорости электродвигателей производится то тиристорного преобразователя, установленного в электрошкафу 12.

Оптимальные режимы обработки устанавливаются бесступенчатым и независимым регулированием скорости подачи вспомогательного и рабочего хода стола, а также вращения шпинделей. Скорость вспомогательного хода стола больше скорости рабочего хода.

Прерывистое движение подачи на каждый ход стола совершают суппорты режущими инструментами. Таким образом может выполняться обработка одновременно нескольких горизонтальных и вертикальных поверхностей заготовки. Вертикальный суппорт перемещается по траверсе 13, а боковые суппорты – по вертикальным стойкам 14 и 15. Перемещение суппортов осуществляется от отдельных двигателей подач через червячную пару и зубчатые передачи. Включение двигателей происходит в момент реверса стола.

Несущая система станка состоит из станины коробчатой формы 16, вертикальных стоек 14 и 15 с направляющими для траверсы и боковых суппортов. Стойки соединены в верхней части перекладиной.

Управление станком осуществляется от стационарного пульта управления 17 или подвесной кнопочной станции 18.

Двигателем, через редуктор непосредственно осуществляется перемещение столов, траверс и др. элементов перемещения.

К исполнительным двигателям современных электроприводов предъявляются широкий набор технических требований: высокие значения КПД и надёжности, минимальный момент инерции, возможность регулирования скорости, постоянство скорости вращения, большая перегрузочная способность, малая шумность, отсутствие вибраций, жёсткость механических характеристик, малая масса и пониженная стоимость. Однако возникают такие ситуации, когда приходится жертвовать одними показателями для достижения других, более необходимых.

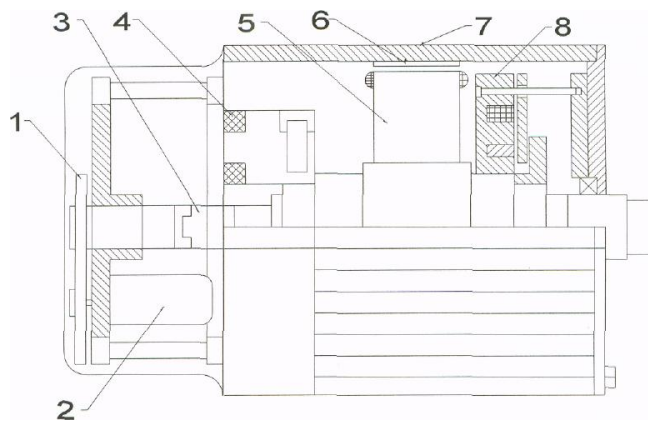
Двигатели приводов рабочих механизмов должны иметь номинальный вращающий момент, равный или незначительно превышающий момент сопротивления рабочего механизма при всех режимах работы; скорость вращения двигателя и диапазон её регулирования, соответствующий скорости перемещения рабочего механизма.

Конструктивно двигатель должен легко сопрягаться с рабочим механизмом и быть надёжно защищён от внешних воздействий, включая возможность попадания в него смазочно-охлаждающих жидкостей и посторонних предметов. Правильность выбора того или иного двигателя определяется наличием необходимого электромагнитного момента на валу при заданной скорости вращения для приведения рабочего механизма в движение.

Применение новых магнитных материалов (таких, как магниты «Альнико», кобальтовые магниты, ферриты, редкоземельные магниты), позволило внедрить двигатели с постоянными магнитами. Отечественная электротехническая промышленность выпускает для использования в электроприводах двигатели специальных серий

В случае традиционного исполнения такие двигатели допускают 6...10 кратную перегрузку по моменту, поэтому их называют высокомоментными. Конструкция такого двигателя показана на рис. 1.2.

У таких двигателей высокое значение момента обеспечивается на низких скоростях, на высоких скоростях, соответствующих вспомогательным перемещениям значение момента падает. Низкие скорости вращения позволяют использовать двигатели без редукторов, это существенно упрощает кинематические цепи, даёт возможность приблизить источник движения к рабочему механизму. Часто двигатели выпускаются со встроенным электромагнитным тормозом, тахогенератором и датчиком положения. Тормоз срабатывает при отключении напряжения питания, а также для быстрого торможения и фиксации положения вала двигателя.



- 1- механическая передача; 2- датчик положения (резольвер);
 3- соединительная муфта; 4- тахогенератор; 5- якорь; 6- постоянные магниты; 7- корпус; 8- электромагнитный тормоз.

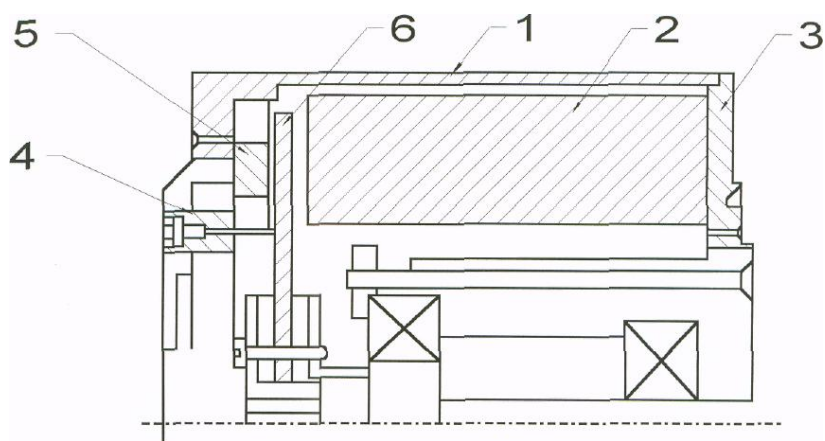
Рисунок 1.2 - Высокмоментный двигатель постоянного тока

Встроенный тахогенератор 4 - это датчиком скорости вращения вала. Для обратной связи при регулировании имеется датчик положения 2, выдающий сигнал, пропорциональный углу поворота вала двигателя. Такая конструкция двигателя позволяет снизить габаритные размеры привода и повысить точность работы привода. Наличие постоянных магнитов позволяет уменьшить габаритные размеры системы возбуждения и двигателя, улучшить его энергетические и динамические характеристики.

Серии двигателей ПВД, ПВ и ДК отличаются формой и материалом постоянных магнитов якоря. Эти отличия вызваны стремлением снизить габаритные размеры и момент инерции якоря.

Снижение момента инерции достигается при выполнении якоря в виде диска торцевой конструкции (рис. 1.3)

Такие двигатели являются малоинерционными. Якорь двигателя выполняется из гетинакса с печатными обмотками. Магнитный поток возбуждения двигателя создаётся мощными постоянными магнитами 3, образующими магнитную систему. Магнитный поток замыкается кольцами 3 и 5, выполненными из магнитомягкого материала.



1- корпус; 2- статор с постоянными магнитами; 3,5- электромагнитные кольца; 4- щёткодержатель; 6- якорь с печатной обмоткой.

Рисунок 1.3 – малоинерционный торцевой двигатель постоянного тока

Лобовые части печатной обмотки выполняют функцию коллектора. Корпус 1 двигателя имеет закрытое фланцевое исполнение с естественным охлаждением.

Преимуществом малоинерционных двигателей является высокое быстродействие. Отсутствие стального сердечника в якоре резко уменьшает его индуктивность. Отсюда электрические переходные процессы в двигателе имеют малую длительность.

К недостаткам двигателя следует отнести малую теплоёмкость якоря исключающая длительную работу двигателя с моментом, больше номинального.

Однако, несмотря на достоинства вышеупомянутых двигателей для автоматизированного электропривода фрезерного станка необходимо двухзонное регулирование. Это необходимо в случаях, когда требуется обеспечить работу двигателя при скоростях ниже и выше номинальной.

В первой зоне при номинальном потоке возбуждения изменяется напряжение якорной цепи, во второй зоне при номинальном напряжении якорной цепи изменяется значение потока возбуждения двигателя. В этом случае применяют двигатели с электромагнитным возбуждением.

Конструктивно такие двигатели выполняют аналогично конструкциям высокомоментных двигателей.

Регулирование тока, момента, скорости производится с помощью различных типов преобразователей. Область применения полупроводниковых преобразователей для регулируемого электропривода постоянного тока постоянно расширяются. Промышленное освоение тиристоров позволило создать управляемые выпрямители для электроприводов, питающихся от сети переменного тока, и импульсные преобразователи – для приводов, питающихся от сети постоянного тока и аккумуляторных батарей. В некоторых областях машиностроения оказалось целесообразным использовать импульсные (тиристорные и транзисторные) преобразователи для питания от сети переменного тока через неуправляемый выпрямитель и фильтр.

Управляемые выпрямители на тиристорах успешно применяются для питания цепей якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока.

Выходное напряжение выпрямителей формируется из последовательных участков выпрямленного напряжения однофазной или трёхфазной сети. При этом коммутация тиристоров (вентилей) выпрямительной схемы осуществляется естественным путём, без применения специальных коммутирующих устройств. Это обстоятельство, а также высокий КПД (более 95%), малые габариты и масса выпрямительного блока обеспечили широкое применение тиристорных выпрямителей в различных электроприводах мощностью от нескольких десятков Вт до нескольких МВт (приводы металлорежущих станков, промышленных роботов, прокатных станков, гребных установок речных и морских судов и др.).

Типовая структура нереверсивного электропривода с однофазным тиристорным выпрямителем представлена на рис. 1.4.

В приведённой схеме якорная цепь электродвигателя М подключается к питающей сети переменного тока промышленной частоты с помощью тиристоров VS1, VS2 и диодов VD1, VD2. Управление тиристорами

осуществляется системой импульсно-фазового управления (СИФУ), которая преобразует непрерывный сигнал управления (напряжение U_y) в импульсный сигнал, фаза α которого изменяется пропорционально величине U_y . Угол α измеряется от момента естественного открытия тиристора, и его принято называть углом управления вентиля. Работа СИФУ должна быть синхронизирована с питающей сетью. Это позволяет генератору опорного напряжения (ГОН) вырабатывать синхронно с сетью опорное напряжение u_0 , пилообразной формы. Опорное напряжение u_0 поступает в ноль-орган (НО), где сравнивается с напряжением с напряжением управлением U_y . В момент равенства напряжений на выходе НО появляется сигнал, который запускает генератор импульсов (ГИ). Последний формирует импульсы с параметрами, необходимыми для управления тиристорами

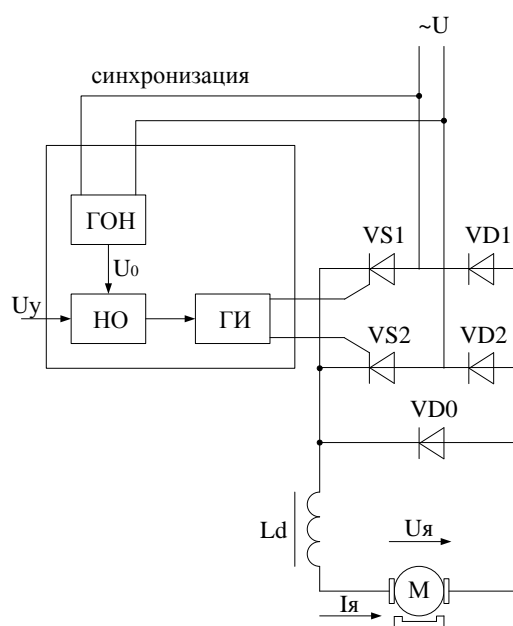


Рисунок 1.4 – Структурная схема электропривода с однофазным выпрямителем

Наиболее существенным недостатком рассмотренной схемы, а также других однофазных схем является низкие значения выпрямленного напряжения $E_d = U_{я}$, а также значительные пульсации тока на нагрузке (рис. 1.5).

В связи с этим однофазные тиристорные выпрямители с фазовым управлением используются только в электроприводах малой мощности с невысокими требованиями к динамическим свойствам приводов и в схемах возбуждения электрических машин.

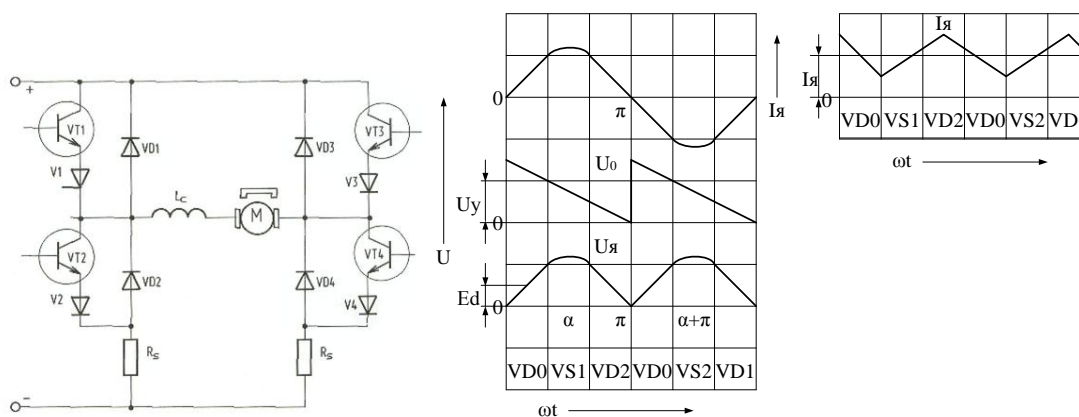


Рисунок 1.5 - Временные диаграммы напряжений и токов электропривода с однофазным выпрямителем

С целью повышения среднего значения выпрямленного напряжения, снижения пульсации тока в нагрузке и исключения из силовой схемы сглаживающего дросселя применяются трехфазные схемы управляемых выпрямителей (рис. 1.6), которые можно разделить на нулевые (трехпульсные) и мостовые (шестипульсные). В нулевых схемах якорь двигателя M включается между нулевой точкой вторичной обмотки трансформатора T и общим катодом тиристоров $VS1$, $VS2$, и $VS3$. Если в нулевой схеме вместо нулевого провода подключить группу вентилялей ($VS4$, $VS5$, и $VS6$), изображенную на схеме штриховыми линиями, то получим мостовую схему выпрямителя, таким образом, мостовая схема управляемого выпрямителя получается при последовательном соединении двух нулевых схем - катодной и анодной.

Мостовые схемы трехфазных выпрямителей (преобразователей) получили широкое применение в электроприводах любой мощности. Нулевые схемы используются только для построения реверсивных

электроприводов, что в первую очередь объясняется насыщением сердечника силового трансформатора однопульсными токами тиристоров

Устранение этого явления расщеплением вторичной обмотки силового трансформатора на две части и соединением ее в "зигзаг" приводит к увеличению расчетной мощности трансформатора, а отсюда к ухудшению массогабаритных показателей тиристорного выпрямителя в целом.

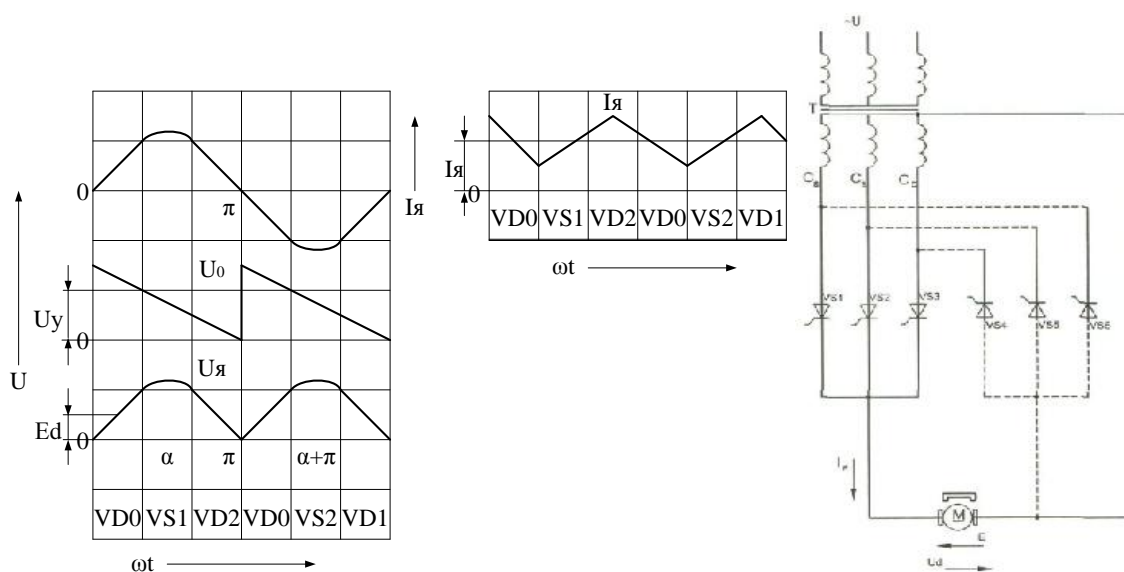


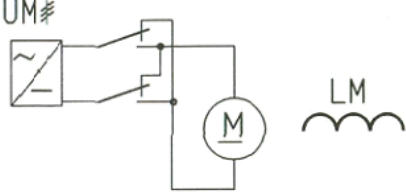
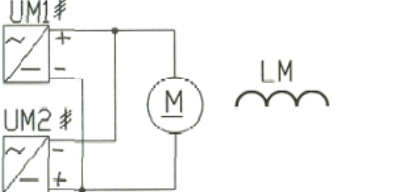
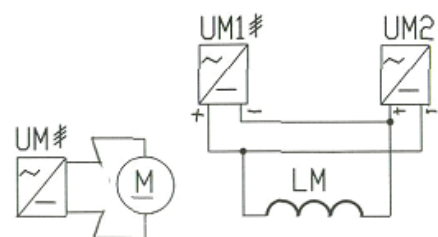
Рисунок 1.6 – Схема электропривода с трёхфазным преобразователем

Основные варианты построения реверсивных электроприводов с тиристорными преобразователями приведены в табл. 1.1. При выборе варианта схемы для реверсивного электропривода конкретного механизма необходимо учитывать следующие факторы: частоту процессов реверса, быстродействие, капитальные затраты, КПД, обслуживание, сложность и надежность электропривода

Среди приведенных схем наибольшую простоту и низкую стоимость имеет схема с контактным реверсом Р (рис. 1.7, а). Схема обеспечивает рекуперативное торможение, поэтому имеет высокий КПД (около 95 %). Однако контактные реверсоры требуют постоянного обслуживания, увеличение их быстродействия вызывает большие затруднения и требует

дополнительных электронных устройств. В тех случаях, когда реверс осуществляется редко, может быть использован нереверсивный электропривод с управляемым выпрямителем, содержащим обратный диод.

Таблица 1.1 - Реверсивные тиристорные приводы постоянного тока

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА	ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕБОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЮ	И К	ВРЕМЯ РЕВЕРСА ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА, С	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
 <p>Рисунок 1.7, а</p>	<p>Реверс обеспечивается переключением якорной цепи с помощью контактора Р.</p>		<p>0,2-0,3</p>	<p>Приводы с ограниченным переключением, в основном небольшой мощности.</p>
 <p>Рисунок 1.7, б</p>	<p>Бесконтактный реверс по цепи якоря двигателя. Необходимо подавление уравнивающего тока между управляемыми выпрямителями UM1 и UM2.</p>		<p>0,1-0,2</p>	<p>Универсальное применение.</p>
 <p>Рисунок 1.7, в</p>	<p>Бесконтактный реверс обеспечивается изменением направлением тока в обмотке возбуждения LM двигателя. В период реверса ток якоря двигателя должен быть равен нулю.</p>		<p>0,7-1,1</p>	<p>Медленно реверсируемые двигатели большой мощности (приводы подъёмников и т.д.).</p>

Для механизмов с частым реверсом лучше подходят схемы с двумя комплектами управляемых выпрямителей, при этом, если механическая постоянная времени привода мала, целесообразно осуществлять реверс по цепи якоря двигателя (рис. 1.7, б) позволяющий заметно сократить общее время переходного процесса. Если же механическая постоянная времени соизмерима с постоянной времени цепи возбуждения, то имеет смысл использовать более экономичную схему с реверсом по цепи возбуждения

(рис. 1.7, в). Тиристорные электроприводы с реверсом по цепи возбуждения, очевидно, менее дороги, поскольку функции регулирования в основном сосредоточены в маломощной цепи.

В реверсивных электроприводах с двумя комплектами управляемых вентилях выпрямительные группы тиристоров соединяются по встречно-параллельной схеме, что обеспечивает работу электропривода в четырех квадрантах механической характеристики. По существу, схема с двумя комплектами вентилях является статическим устройством, обладающим регулировочными свойствами быстродействующего генератора постоянного тока. Если в реверсивном преобразователе с двумя комплектами тиристоров отсутствуют пульсации выходного напряжения и тока якоря двигателя, выходные напряжения групп управляемых вентилях пропорциональны косинусу угла управления, то такой преобразователь можно считать идеальным (см рис. 1.8).

В приведенной схеме (Рис. 1.7, а) управляемые выпрямители или группы вентилях UM1 и UM2 реверсивного преобразователя представлены двумя регулируемыи источниками напряжения, последовательно соединенными с вентилями, имитирующими однонаправленную проводимость каждого из выпрямителей.

Углы α_1 и α_2 обеих групп вентилях изменяются в зависимости от управляющего напряжения U_y таким образом, что выходные напряжения U_1 и U_2 групп вентилях UM1 и UM2 имеют одинаковую величину:

$$U_1 = U_{d0} \cdot \cos \alpha_1 \text{ и } U_2 = U_{d0} \cdot \cos \alpha_2$$

Для идеального реверсивного преобразователя имеет место равенство

$$U_y = U_1 = -U_2 \text{ или } U_{d0} \cdot \cos \alpha_1 = -U_{d0} \cdot \cos \alpha_2$$

Это позволяет определить соотношение углов управления группами вентилях реверсивного преобразователя

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$$

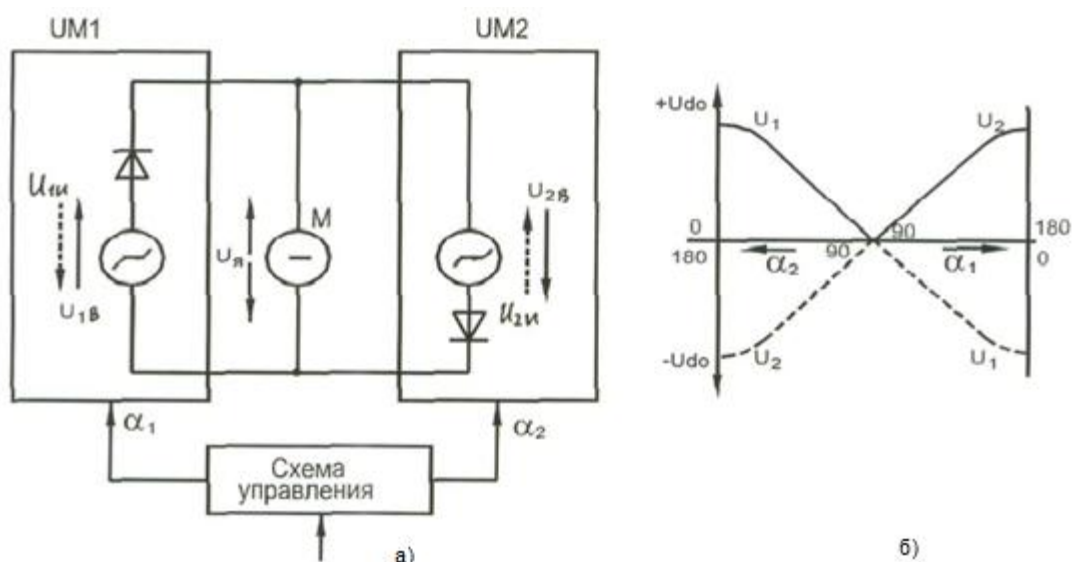


Рисунок 1.8 - Схема замещения (а) и регулировочные характеристики (б) идеального двухкомплектного преобразователя

На рис. 1.8, б показаны зависимости выходных напряжений U_1 и U_2 групп управляемых вентилях UM1 и UM2 при изменении углов α_1 и α_2 в пределах от 0 до 180° .

Кривые, изображенные сплошными линиями, соответствуют выпрямительному режиму, а кривые, изображенные штриховыми линиями – инверторному.

Схема управления группами вентилях UM1 и UM2 должна обеспечивать выполнение соотношения $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$ при любом значении U_y . В пределах изменения углов α_1 и α_2 от 0 до 180° группы управляемых вентилях вырабатывают одинаковые средние напряжения, которые равны среднему значению напряжения U_y якоря.

При этом, если одна из групп работает в выпрямительном режиме, то другая – в инверторном.

В реальной схеме реверсивного преобразователя, несмотря на то, что сумма средних значений напряжений равна нулю, сумма мгновенных напряжений отлична от нуля.

Сопоставление мгновенных напряжений объясняет причины появления уравнивающего напряжения $u_y = u_1 + u_2$ и уравнивающего тока i_y .

Уравнивающий ток имеет односторонний и пульсирующий характер.

Для ограничения величины уравнивающего тока в контур включают реакторы L_1 и L_2 (рис. 1.9, а). Необходимая суммарная индуктивность реакторов определяется выражением

$$L_{\Sigma} = L_1 + L_2 = (1/0,65\omega) \cdot E_M / I_{y \max} - 2L_{2T}, \quad (1.1)$$

где $I_{y \max}$ – максимальное среднее значение уравнивающего тока, полученное при $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$.

Наличие небольшого уравнивающего тока благоприятно сказывается на внешних характеристиках реверсивного преобразователя и механических характеристиках (рис. 1.9, б) реверсивного электропривода. Характеристики не имеют изломов, т.к. исключается область прерывистого тока. Это создает однозначность характеристик, плавность перехода из двигательного режима в тормозной режим. Тормозной режим создается резким изменением напряжения U_y управления в сторону его уменьшения, что соответствует переходу электропривода на более низкую скорость вращения, т.е. переходу из рабочей точки К в рабочую точку М механических характеристик. В результате ток i_y меняет направление, переходит от выпрямителя UM1 к выпрямителю UM2, подготовленному к работе в инверторном режиме. При этом энергия торможения двигателя М рекуперируется в сеть.

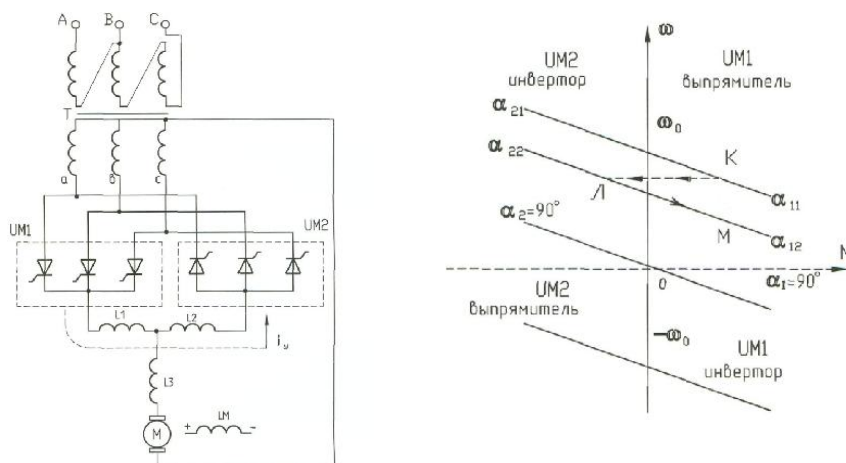


Рисунок 1.9 - Схема реверсивного электропривода с двумя комплектами управляемых вентилях (а) и его регулировочные характеристики (б)

Основными недостатками реверсивного тиристорного электропривода с совместным управлением комплектом групп вентилях являются: 1) наличие уравнивающих реакторов, существенно увеличивающих массу и габаритные размеры преобразователя; 2) неполное использование тиристоров в выпрямительном режиме, т.к. угол опережения β инверторной группы тиристоров не должен быть меньше критического β_{\min} значения; 3) возможность возникновения динамического уравнивающего тока, значительно превышающего значения статического уравнивающего тока, при резком изменении управляющего сигнала.

Для преодоления названных недостатков применяют реверсивные преобразователи с отдельным управлением групп тиристоров. Раздельное управление принципиально отличается от совместного тем, что управляющие импульсы подаются только на тиристоры одной группы. Другая группа тиристоров в эти моменты времени не работает.

При мощности нагрузки более 10 кВт стандартной схемой вентиляного преобразователя является трехфазная мостовая схема выпрямления с встречно-параллельным соединением групп тиристоров и их раздельным управлением. Если по условиям нагрузки электропривод не допускает

прерывания якорного тока, то применяется согласованное управление групп тиристоров.

Новым средством преобразования напряжения постоянного тока в регулируемое напряжение являются широтно-импульсные преобразователи.

Принцип широтно-импульсного управления двигателя постоянного тока поясняет рис. 1.10.

Ключ VS, периодически подключает цепь якоря двигателя M на выход неуправляемого выпрямителя V с напряжением U_d . Длительность t_0 , когда ключ VS открыт, тогда ток $i_я$ якоря двигателя создаётся напряжением U_d . При этом часть энергии запасается в якоре двигателя M в виде магнитного поля.

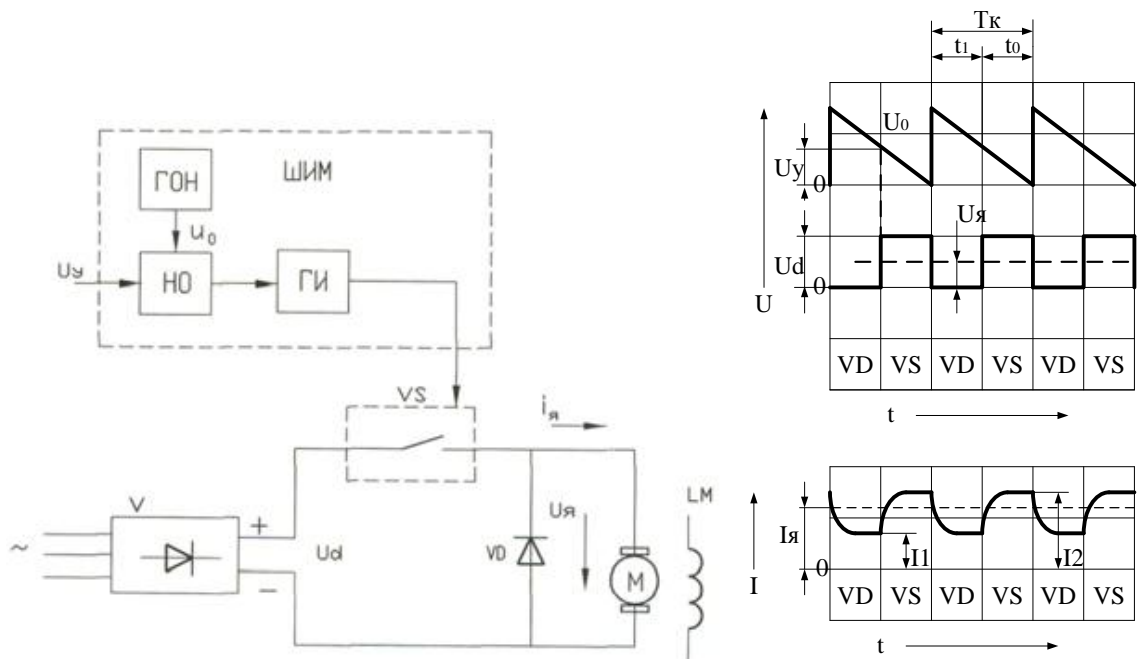


Рисунок 1.10 - Схема (а) и диаграмма (б) напряжений и тока при широтно-импульсном управлении

Среднее значение напряжения $U_я$ на якоре двигателя M за период $T_к$ коммутации VS ключа определяется по формуле

$$U_{я} = \frac{1}{T_K} \int_0^{t_0} u_{я} dt = \gamma U_d \quad (1.2)$$

где $\gamma = t_0/T_к$ – скважность импульсов.

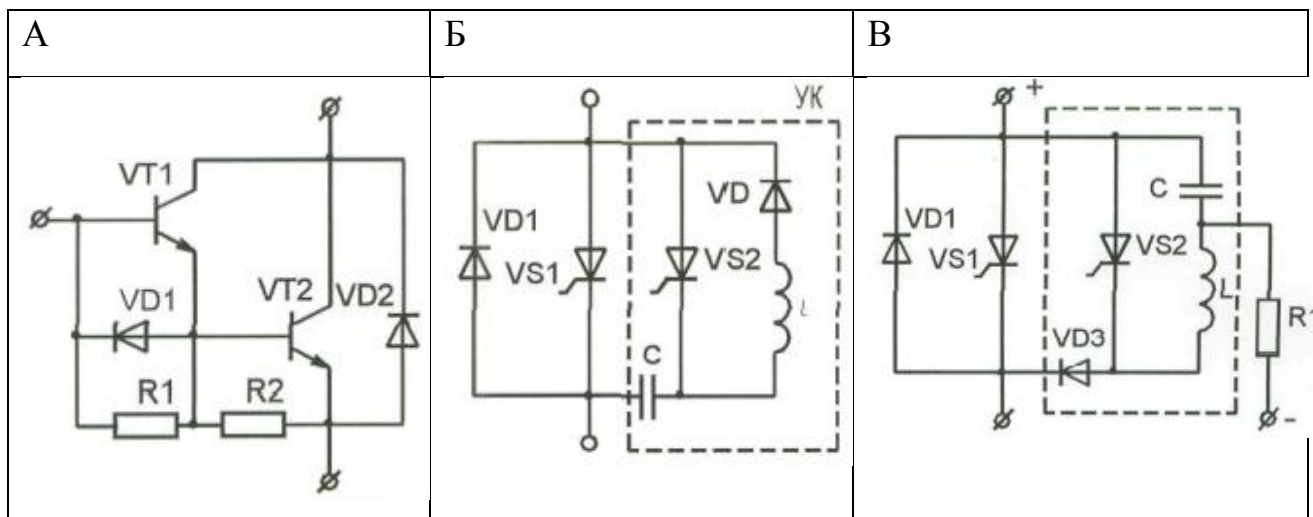
Напряжение U_y изменяется изменением скважности импульсов. Применяется широтно-импульсный модулятор ШИМ (рис. 1.10, а).

ШИМ - это генератор опорного напряжения (ГОН), нуль-орган (НО) и формирователь импульсов (ФИ). ГОН вырабатывает треугольное напряжение U_0 с частотой $f_k = 1/T_k$, которое компарируется в НО с управляющим U_y . В момент равенства этих напряжений НО вырабатывает импульсы, включающие VS . Когда ключ VS замкнут, ток i_y в якоре нарастает с минимального значения I_1 до максимального I_2 .

Рассмотренная схема не обеспечивает торможение при регулировании скорости вращения и сбросе нагрузки. Недостатки можно устранить при использовании схемы с силовыми ключами.

Возможные варианты схем электронных ключей импульсных преобразователей приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 - Схемы силовых ключей импульсных преобразователей



Транзисторные модули находят применение в электроприводах мощностью до 10 кВт. Основой модуля является составной транзистор (Дарлингтона). Схема обладает большим коэффициентом усиления, равным произведению коэффициентов усиления каскадно соединённых транзисторов $VT1$, $VT2$. Для защиты основного транзистора $VT2$ от появления обратных напряжений применяется быстродействующий диод $VD2$, который служит

одновременно для сброса энергии торможения в сеть при работе смежного ключа. Резисторы R1 и R2 необходимы для расширения диапазона входных сигналов составной схемы. Для снижения остаточного перенапряжения вследствие коммутации ключей диод VD2 желательно шунтировать RC – цепью.

В электроприводах средней и большей мощности в качестве силовых ключей применяют тиристорные модули (табл. 1.2, схемы б и в). Тиристорные модули содержат силовой тиристор VS1, шунтируемый диодом VD1 обратного моста и узел УК искусственной коммутации.

В схеме (в) для закрытия силового тиристора VS1 применяется параллельная токовая коммутация. При включении VS2 резонансный ток конденсатора C, изменяя своё направление, запирает VS2 и, продолжая протекать по новой цепи, содержащий диод VD3 и ещё открытый тиристор VS1, запирает последний. Для обеспечения надёжной коммутации конденсатор C предварительно заряжается через резистор R.

Реверсивный электропривод с импульсным управлением может быть выполнен с одним или двумя комплектами электронных ключей и контактным реверсом, а также с четырьмя комплектами ключей рис. 1.11).

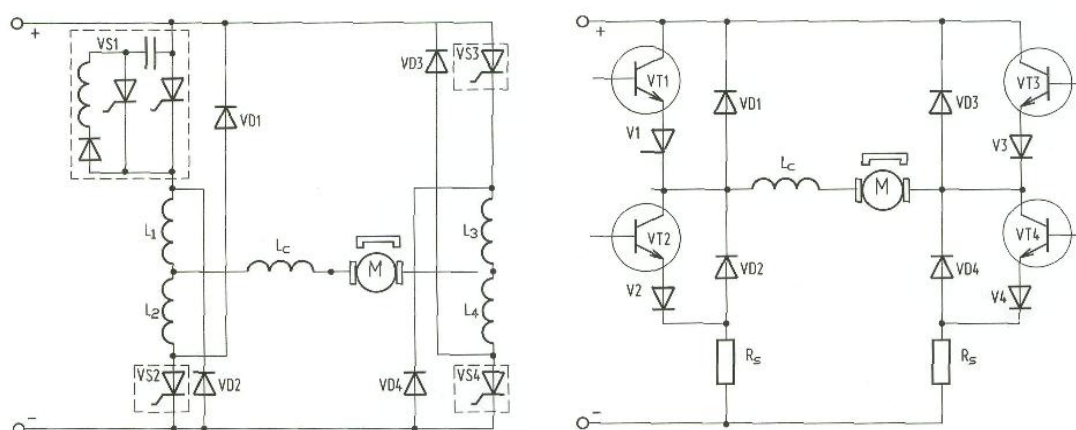


Рисунок 1.11 - Реверсивный импульсный электропривод с тиристорными (а) и транзисторными (б) ключами

Применение четырёх ключей позволяет получить работающий в четырёх квадрантах механической характеристики с отдачей энергии в сеть при торможении.

2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1. Анализ исходных данных для проектирования

Рабочий механизм (стол станка) приводится в движение двигателем постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) через редуктор с передаточным соотношением i и КПД η . Механизм работает циклично и в различных фазах цикла $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ с общей длительностью $t_{\text{ц}}$ развивает на валу моменты $M_{\text{р.м.1}}, M_{\text{р.м.2}}, M_{\text{р.м.3}}, M_{\text{р.м.4}}, M_{\text{р.м.5}}, M_{\text{р.м.6}}$ для выполнения обработки детали фрезой диаметром не менее 30 мм. Продолжительность пуска и торможения двигателя не превышают величин $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{т}}$ соответственно.

Требуется выбрать электродвигатель и разработать систему электропривода с ним при питании от тиристорного преобразователя с ограничением тока (момента) двигателя. Двигатель должен обеспечивать требуемый диапазон регулирования скорости.

Исходные данные:

Моменты на валу рабочего механизма: $M_{\text{р.м.1}} = 70 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{р.м.2}} = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{р.м.3}} = 115 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{р.м.4}} = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{р.м.5}} = 115 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{р.м.6}} = 70 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Время цикла: $t_{\text{ц}} = 96 \text{ с}$;

Фазы цикла: $t_1 = 3 \text{ с}$; $t_2 = 30 \text{ с}$; $t_3 = 15 \text{ с}$; $t_4 = 30 \text{ с}$; $t_5 = 15 \text{ с}$; $t_6 = 30 \text{ с}$.

Номинальная скорость вращения рабочего механизма: $n_{\text{р.м.ном}} = 375 \text{ об/мин}$;

Время пуска: $t_{\text{п}} = 1,3 \text{ с}$; Время торможения: $t_{\text{т}} = 1,1 \text{ с}$;

Передаточное соотношение редуктора: $i = 8$;

КПД: $\eta = 0,86$; Диапазон регулирования скорости: $D = 1000: 1$.

После анализа исходных данных приступаем к поиску необходимого двигателя

2.2 Выбор двигателя

2.2.1. Выбор двигателя по среднему моменту статической нагрузки.

Нагрузочная диаграмма рабочего механизма используется в качестве исходной данной для построения соответствующих диаграмм электродвигателя (рис. 2.2 и рис. 2.3).

При этом моменты $M_{рм.1}$, $M_{рм.2}$, $M_{рм.3}$, $M_{рм.4}$, $M_{рм.5}$, $M_{рм.6}$ нагрузочной диаграммы пересчитываем в моменты $M_{с1}$, $M_{с2}$, $M_{с3}$, $M_{с4}$, $M_{с5}$, $M_{с6}$ статической нагрузки двигателя (рис. 2.1) с учётом КПД, передаточного числа редуктора по формуле приведения момента рабочего механизма к валу двигателя.

Статические моменты в различных фазах цикла работы двигателя:

$$M_{с1} = \frac{M_{рм.1}}{i \cdot \eta} = \frac{70}{8 \cdot 0,86} = 10,174 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{с2} = \frac{M_{рм.2}}{i \cdot \eta} = \frac{100}{8 \cdot 0,86} = 14,535 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{с3} = \frac{M_{рм.3}}{i \cdot \eta} = \frac{115}{8 \cdot 0,86} = 16,715 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{с4} = \frac{M_{рм.4}}{i \cdot \eta} = \frac{100}{8 \cdot 0,86} = 14,535 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{с5} = \frac{M_{рм.5}}{i \cdot \eta} = \frac{115}{8 \cdot 0,86} = 16,715 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{с6} = \frac{M_{рм.6}}{i \cdot \eta} = \frac{70}{8 \cdot 0,86} = 10,174 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

После анализа исходных данных приступаем к поиску необходимого двигателя

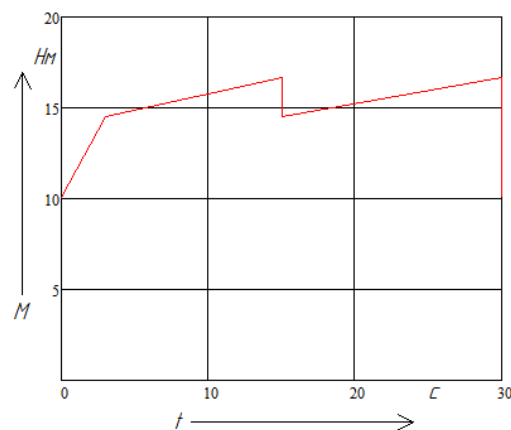


Рисунок 2.1 - Нагрузочная диаграмма рабочего механизма

Рабочая скорость двигателя

$$n_{\text{раб}} = n_{\text{рм.ном}} \cdot i = 375 \cdot 8 = 3000 \text{ об/мин}$$

Для предварительного выбора двигателя находим средний момент статической нагрузки по формуле

$$M_{c.c.p} = \frac{\sum_{i=1}^6 M_{ci} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^6 t_i} = \frac{\sum_{i=1}^6 M_{ci} \cdot t_i}{t_{\Sigma}}, \quad (2.1)$$

где M_{ci} – момент статической нагрузки на i -м интервале, Н·м;

t_i – продолжительность i -го интервала, с.

Расчитываем средний момент статической нагрузки.

$$M_{c.c.p} = (10.174 \cdot 3 + 14.535 \cdot 30 + 16.715 \cdot 15 + 14.535 \cdot 30 + 16.715 \cdot 15 + 10.174 \cdot 3) / 96 = 14.9437 \text{ Н·м}.$$

Номинальный момент искомого двигателя

$$M_H = K_v \cdot M_{c.c.p} = (1,1 \div 1,3) \cdot 14,9437 = 16,438 \dots 19,427 \text{ Н·м},$$

где $K_v = 1,1 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий динамические режимы работы привода.

Для выбора двигателя известны требуемые величины момента $M_H = 16,438 \dots 19,427 \text{ Н·м}$ и скорости $n_{\text{раб}} = 3000 \text{ об/мин}$.

Если для регулирования скорости двигателя использовать только изменение напряжения в якорной цепи при обязательном соотношении $U < U_{\text{ном}}$, ориентируемся на условие $n_{\text{ном}} > n_{\text{раб}}$.

Выбираем двигатель П41 со следующими данными:

Номинальная мощность P_H , кВт	6,0
Номинальное напряжение U_H , В	220
Номинальный ток I_H , А	33
Номинальный момент M_H , Н·м	19,5
КПД η , %	82,5
Номинальная скорость вращения двигателя $n_{\text{ном}}$, об/мин	3000

Угловая скорость вращения $\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}}/60, \text{ c}^{-1}$	314,16
Маховой момент $GD^2, \text{ кгс}\cdot\text{м}^2$	0,15
Допустимая кратность пускового тока, $I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	2
Число полюсов $2p$	4
Обмоточные данные:	
Число параллельных ветвей $2a$	2
Число витков обмотки якоря ω_a	324
Сопrotивление обмотки якоря при 20°C $R_{\text{я}}, \text{ Ом}$	0,37
Сопrotивление обмотки добавочных полюсов при 20°C $R_{\text{д}}, \text{ Ом}$	0,12
Число витков последовательной обмотки на полюс ω_c	5
Сопrotивление последовательной обмотки при 20°C $R_c, \text{ Ом}$	0,007
Число витков параллельной обмотки на полюс $\omega_{\text{ш}}$	3100
Сопrotивление параллельной обмотки при 20°C $R_{\text{ш}}, \text{ Ом}$	635
Номинальный режим работы	S1
Класс изоляции обмотки	F
Климатическое исполнение	УХЛ
Категория размещения	4
Тип исполнения	IP 44
Возбуждение	

2.2.2. Проверка перегрузочной способности двигателя.

Предварительный выбор двигателя позволяет определить в нагрузочной диаграмме величину максимального момента (в данном случае M_1) и проверить перегрузочную способность двигателя.

При разгоне двигатель развивает момент M_1 , который превышает M_{c1} на величину динамического момента $M_{\text{дин}} = J \cdot d\omega/dt$. Определение максимального момента M_1 сводится к решению уравнения движения привода

$$M_1 = M_{c1} + J \cdot d\omega/dt \quad (2.2)$$

Максимально допустимое ускорение при пуске, рассчитывается по формуле

$$d\omega/dt = \omega_{\text{раб}}/t_{\text{п}} = 2\pi n_{\text{раб}}/60 \cdot 1/t_{\text{п}} = 2\pi \cdot 3000/(60 \cdot 1,3) = 241,66 \text{ с}^{-2}.$$

Очевидно, что аналогичным образом можно получить величину отрицательного ускорения при торможении

$$\left| d\omega/dt \right|_{\text{т}} = \omega_{\text{раб}}/t_{\text{т}} = 2\pi n_{\text{раб}}/60 \cdot 1/t_{\text{т}} = 2\pi \cdot 3000/(60 \cdot 1,1) = 285,6 \text{ с}^{-2},$$

вследствие чего тормозной момент M_2 двигателя

$$M_2 = M_{\text{сб}} - J \cdot \left| d\omega/dt \right|_{\text{т}} \quad (2.3)$$

Суммарный момент инерции J_{Σ} состоит из момента инерции двигателя J и приведённого момента инерции к валу двигателя рабочего механизма.

Момент инерции двигателя

$$J = GD^2/4 = 0,15/4 = 37,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.4)$$

Момент инерции механизма, приведённого к валу двигателя (10-20% от J)

$$J_{\text{рм.прив}} = 0,17 \cdot J = 0,17 \cdot 37,5 \cdot 10^{-3} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Отсюда суммарный момент инерции

$$J_{\Sigma} = J + J_{\text{рм.прив}} = 37,5 \cdot 10^{-3} + 6,5 \cdot 10^{-3} = 0,044 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Таким образом, максимальный момент

$$M_1 = M_{\text{с1}} + J_{\Sigma} \cdot d\omega/dt = 10,174 + 0,044 \cdot 241,66 = 20,8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Проверка двигателя по перегрузочной способности сводится к проверке выполнения условия $M_{\text{макс}} \leq M_{\text{доп}}$

$$\text{где } M_{\text{макс}} = M_1 = 20,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$M_{\text{доп}}$ – допустимый по перегрузке момент двигателя.

Для определения $M_{\text{доп}}$ можно воспользоваться приведённой в паспортных данных двигателя допустимой кратностью тока

$$\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{н}}} = \frac{k\Phi I_{\text{доп}}}{k\Phi I_{\text{н}}} = \frac{M_{\text{доп}}}{M_{\text{н}}} = \frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{н}}} = 2$$

Допустимый по перегрузке момент двигателя

$$M_{\text{доп}} = 2 \cdot M_{\text{н}} = 2 \cdot 19,5 = 39 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{т.е. } M_{\text{макс}} < M_{\text{доп}} \quad (20,8 < 39 \text{ Н} \cdot \text{м}).$$

Выбранный двигатель имеет запас по перегрузочной способности, т.е. разгон его можно осуществлять быстрее, чем за заданное время t_{π} , а именно

$$t_{\pi} = J_{\Sigma} \cdot \omega_{\text{раб}} / (M_{\text{доп}} - M_{c1}) = 0,044 \cdot 314,16 / (39 - 10,174) = 0,48 \text{ с.}$$

Минимальное значение ускорения двигателя

$$M_2 = M_{c6} - J \cdot \left| \frac{d\omega}{dt} \right|_T = 10,174 - 0,044 \cdot 285,6 = -2,39 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Значение $M_2 = -0,703 \text{ Н}\cdot\text{м}$ говорит о том, что торможение двигателя произойдёт за заданное время торможения, если он будет развивать такой момент. Если просто отключить питание якорной цепи, то он затормозится под действием момента статической нагрузки M_{c6} за время чуть больше заданной величины t_T , а именно

$$t_T = J_{\Sigma} \cdot \omega_{\text{раб}} / M_{c6} = 0,044 \cdot 314,16 / 10,174 = 1,35 \text{ с.}$$

2.2.3. Проверка двигателя по нагреву

Проверка по нагреву представляющая собой оценку фактической температуры изоляции обмоток двигателя и сравнение её с допустимой, осуществляется косвенным путём по нагрузочной диаграмме двигателя. Поскольку предполагается неизменность магнитного потока двигателя в течение всего времени работы, то целесообразно пользоваться методом эквивалентных величин и, в частности, методом эквивалентного момента.

Эквивалентный момент вычисляется по формуле

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_{c1}^2 \cdot t_1 + M_{c2}^2 \cdot t_2 + M_{c3}^2 \cdot t_3 + M_{c4}^2 \cdot t_4 + M_{c5}^2 \cdot t_5 + M_{c6}^2 \cdot t_6}{t_{\text{ц}}}} \quad (2.5)$$

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{10,174^2 \cdot 2,1 + 14,535^2 \cdot 3,0 + 16,715^2 \cdot 1,5 + 14,535^2 \cdot 3,0 + 16,715^2 \cdot 1,5 + 10,174^2 \cdot 3}{95,1}} = 15,066 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Величину $M_{\text{экв}}$ сопоставляем с номинальным моментом $M_{\text{ном}}$. Поскольку $15,066 < 19,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($M_{\text{экв}} < M_{\text{ном}}$), то двигатель удовлетворяет требованиям допустимого нагрева.

Таким образом, выбранный двигатель типа П41 обеспечивает требуемое действие рабочего механизма, причём с запасом по времени пуска. Также он удовлетворяет условиям по перегрузочной способности и нагреву.

2.3. Выбор и расчет силового тиристорного преобразователя.

2.3.1. Выбор силового тиристорного преобразователя

Преобразовательное устройство, являющееся одним из важнейших звеньев автоматизированного электропривода, служит для преобразования и усиления сигнала управления до величины, достаточной для управления двигателем.

Расчет проводим по трехфазной симметричной мостовой схеме, изображенной на рис. 2.2.

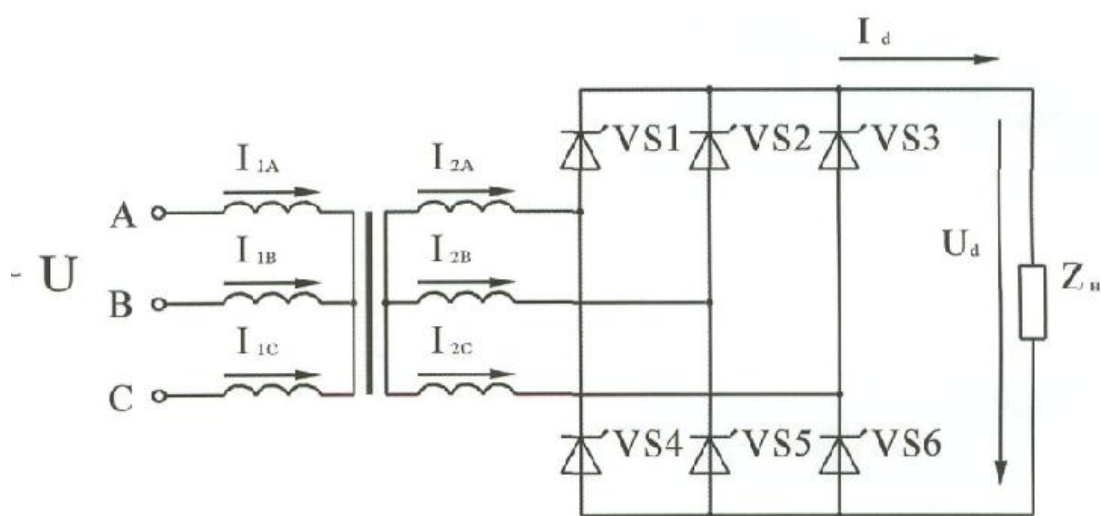


Рисунок 2.2 – Трёхфазная симметричная мостовая схема

U_d – среднее значение выпрямленного напряжения, В;

I_d – выпрямленный ток;

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C} , – средние значения токов трехфазной первичной обмотки трансформатора;

I_{2A}, I_{2B}, I_{2C} , – средние значения токов трехфазной вторичной обмотки трансформатора;

VS1 ... VS6 – Управляемые вентили.

При выборе комплектного тиристорного преобразователя необходимо, чтобы напряжение преобразователя соответствовало номинальному

напряжению двигателя, а отношение номинальных токов преобразователя $I_{д.ном}$ и двигателя $I_{д.ном}$ удовлетворяло условию $I_{д.ном} / I_{д.ном} > 1$.

Согласно этому условию выбираем тиристорный преобразователь БТУ 3601– 4327Д УХЛ4, предназначенное для управления электроприводами главного движения станков. Это устройство со статическими полупроводниковыми преобразователями имеет следующие параметры:

Исполнение по номинальному току	200 А
Исполнение по номинальному выпрямленному напряжению	230 В
Исполнение по переменному напряжению	380 В
Частота сети	50, 60 Гц
Климатическое исполнение	УХЛ
Категория размещения	4

Номинальный ток выбранного тиристорного преобразователя много больше номинального тока выбранного двигателя, т.е. $I_{д.ном} / I_{д.ном} > 1$. Таким образом, преобразователь и двигатель подобраны правильно, что подтверждается выполнением поставленного условия.

2.3.2. Расчёт параметров силового трансформатора.

Определим теоретическое значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора, питающего трехфазный управляемый выпрямитель

$$U'_{2ф} = U_{d0} / K_{СХ} = 220 / 2,34 = 94,017 \text{ В}, \quad (2.6)$$

где $K_{СХ} = 2,34$ – коэффициент усиления схемы.

$U_{d0} = 220 \text{ В}$ – среднее значение выпрямленного напряжения

Требуемое значение фазного напряжения $U_{2ф}$ с учетом необходимого запаса

$$U_{2ф} = K_U \cdot K_R \cdot U'_{2ф} = 1,1 \cdot 1,05 \cdot 94,017 = 108,59 \text{ В}, \quad (2.7)$$

где $K_U = 1,1$ – коэффициент запаса по напряжению

$K_R = 1,05$ – коэффициент запаса за счет перекрытия токов.

Требуемое линейное напряжение обмотки

$$U'_{2л} = \sqrt{3} \cdot U_{2ф} = \sqrt{3} \cdot 108,59 = 188,083 \text{ В}. \quad (2.8)$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_2 = K_{T2} \cdot K_i \cdot I_d = 0,82 \cdot 1,1 \cdot 33 = 29,766 \text{ А} , (2.9)$$

где $K_{T2} = 0,82$ – коэффициент схемы;

$K_i = 1,1$ – коэффициент, учитывающий отношение формы анодного тока вентилей от прямоугольной;

$I_d = 33 \text{ А}$ – среднее значение выпрямленного тока на нагрузке. I_d принимаем равным номинальному току двигателя $I_d = I_n = 33 \text{ А}$.

Действующее значение тока первичной обмотки трансформатора

$$I_1 = K_{T1} / K_{TP} \cdot I_d = 0,82 / 1,727 \cdot 33 = 15,6698 \text{ А} , (2.10)$$

где $K_{T1} = 0,82$ – коэффициент тока первичной обмотки;

$K_{TP} = 1,727$ – коэффициент трансформации.

Мощность выпрямленного тока

$$P_d = I_d \cdot U_{d0} = 33 \cdot 220 = 7260 \text{ Вт} . (2.11)$$

Расчетная типовая мощность силового трансформатора

$$S'_T = K_M \cdot K_U \cdot K_R \cdot K_i \cdot P_d = 1,045 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 1,1 \cdot 7260 = 9638,902 \text{ Вт} , (2.12)$$

где $K_M = 1,045$ – коэффициент повышения расчетной мощности трансформатора, зависящий от схемы выпрямления.

По требуемой мощности и напряжению выбираем трансформатор типа ТТ-11, первичное линейное напряжение $U_{1Л} = 380 \text{ В}$, мощность $S'_T = 11 \text{ кВА}$, номинальная выходная мощность $P_{2Н} = 10,4 \text{ кВА}$, потери короткого замыкания $\Delta P_{КЗ} = 205 \div 300 \text{ Вт}$, напряжение короткого замыкания $U_{КЗ} = 8 \%$, линейное напряжение вторичной обмотки $U_{2Л} = 208 \text{ В}$.

2.3.3. Выбор вентилей.

Вентили выбираем по среднему значению выпрямленного тока с учетом возможной перегрузки двигателя и по максимальному значению обратного напряжения.

Максимальное значение выпрямленного тока

$$I_m = 2 \cdot I_n = 2 \cdot 33 = 66 \text{ А} . (2.13)$$

Среднее значение тока через вентиль

$$I_{в.ср} = I_m / m = 66 / 3 = 22 \text{ А} , (2.14)$$

где $m=3$ – число фаз выпрямителя.

Действительная величина среднего значения выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$ и питании выпрямителя от выбранного трансформатора

$$U_{d0} = U_{2л} / \sqrt{3} \cdot K_{СХ} = 208 / \sqrt{3} \cdot 2,34 = 281 \text{ В}, \quad (2.15)$$

Расчетная максимальная величина обратного напряжения, прикладываемого к вентилю

$$U'_{об.м} = K_{В.Т} \cdot U_{d0} = 1.05 \cdot 281 = 295,05 \text{ В}. \quad (2.16)$$

Максимальная величина обратного напряжения с учетом необходимого запаса

$$U_{об.м} = (1,3 \dots 1,5) \cdot U'_{об.м} = 1,5 \cdot 295,05 = 442,575 \text{ В}. \quad (2.17)$$

По полученным параметрам $I_{в.ср}$ и $U_{об.м}$ выбираем вентили типа Т15-40-9: повторяющееся импульсное обратное напряжение $U_{об.п} = 900 \text{ В}$, максимальная величина среднего тока в открытом состоянии $I_{ос.ср.макс} = 40 \text{ А}$. Напряжение управления $U_y = 3 \text{ В}$; Ток управления $I_y = 250 \text{ мА}$; Время включения $t_{вкл} = 20 \text{ мкс}$; Время выключения $t_{выкл} = 70..150 \text{ мкс}$.

В применении типовых охладителей нет необходимости, так как выбранные тиристоры удовлетворяют нагрузочным способностям при эксплуатации.

2.4. Анализ свойств силовой части системы тиристорный преобразователь-двигатель.

При подключении двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТНВ) к тиристорному преобразователю необходимо учитывать особенности этого индивидуального источника питания, которые проявляются в силовой цепи двигателя увеличением его сопротивления, в результате жесткости механической и электромеханической характеристик системы ДПТНВ снижаются по сравнению с жесткостями естественных характеристик двигателя.

Следовательно, при изменении нагрузки на валу двигателя изменение скорости будет превышать заданную величину еще больше, чем при питании ДПТ НВ от источника бесконечно большой мощности.

2.4.1. Суммарная индуктивность якорной цепи.

Суммарная индуктивность якорной цепи складывается из индуктивности обмотки якоря двигателя $L_{\text{я}}$ и индуктивности фазы трансформатора, приведенной к цепи выпрямленного тока $L_{\text{Т}}$.

$$L_{\Sigma} = L_{\text{я}} + L_{\text{Т}} \quad (2.18)$$

Индуктивность якоря двигателя

$$L_{\text{я}} = 8 \cdot U_{\text{н}} / (p \cdot I_{\text{н}} \cdot n_{\text{ном}}) = 8 \cdot 220 / (2 \cdot 33 \cdot 3000) = 0,0088 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_{\text{Т}} = U_{\text{Л}} \cdot U_{2\text{ф}} / I_2 = 0,095 \cdot 108,59 / 29,766 = 1,178 \text{ Ом,}$$

где $U_{\text{Л}} = 0,095$ – индуктивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора в относительных единицах.

Индуктивность фазы трансформатора, приведенная к цепи выпрямленного тока

$$L_{\text{Т}} = X_{\text{Т}} / \omega_{\text{ном}} = 1,178 / 314,16 = 0,00375 \text{ Гн.}$$

Таким образом, суммарная индуктивность якорной цепи

$$L_{\Sigma} = L_{\text{я}} + L_{\text{Т}} = 0,0088 + 0,00375 = 0,01255 \text{ Гн.}$$

При питании двигателя от тиристорного преобразователя в якорной цепи может иметь место ток, при котором увеличиваются потери в двигателе и механические характеристики привода становятся мягкими. Для уменьшения области прерывистых токов индуктивность якорной цепи необходимо увеличить.

Действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения

$$U_{\text{п}} = K'_{\text{п}} \cdot U_{\text{д0}} = 0,246 \cdot 281 = 69,126 \text{ В,}$$

где $K'_{\text{п}} = 0,246$ – коэффициент схемы (рис. 2.2).

Требуемая суммарная величина индуктивности якорной цепи, обеспечивающая непрерывность тока

$$L_{тр} > U_{п} / (m \cdot I_{мин} \cdot \omega_{ном}) = 69,126 / (3 \cdot 3,3 \cdot 314,16) = 0,0222 \text{ Гн},$$

где $I_{мин} = 0,1 \cdot I_{н} = 0,1 \cdot 33 = 3,3 \text{ А}$. – минимальное значение непрерывного тока двигателя.

$$\text{Принимаем } L_{тр} = 0,025 \text{ Гн.}$$

Сравнивая суммарную индуктивность якорной цепи с величиной требуемой индуктивности (замечаем, что $L_{\Sigma} < L_{тр}$) и приходим к выводу, что целесообразно установить в якорную цепь сглаживающий дроссель с индуктивностью

$$L_{др} = L_{тр} - L_{\Sigma} = 0,025 - 0,01255 = 0,01245 \text{ Гн.}$$

2.4.2. Суммарное активное сопротивление силовой цепи двигатель-тиристорный преобразователь.

Суммарное, активное сопротивление якорной цепи

$$R_{\Sigma} = R_{яц} + R_{др} + R_{п} \quad (2.19)$$

Эквивалентное сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = \alpha \cdot (R_{я} + R_{д} + R_{с}) + R_{щ} = 1,3 \cdot (0,37 + 0,12 + 0,007) + 0,061 = 0,7071 \text{ Ом},$$

где $\alpha = 1,2 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления обмоток при нагревании. Принимаем $\alpha = 1,3$;

$$R_{щ} = 2/I_{н} = 2/33 = 0,061 \text{ Ом} – \text{сопротивление щеток};$$

$R_{др} = 0,05 \text{ Ом}$ – активное сопротивление обмотки сглаживающего дросселя;

При определении активного сопротивления преобразователя $R_{п}$ необходимо учитывать схему управляемого выпрямителя. В выбранной нами мостовой трехфазной схеме одновременно работают два вентиля, поэтому

$$R_{п} = 2 \cdot (R_{т} + R_{к} + R_{в})$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора

$$R_{т} = U_{а} \cdot U_{2ф} / I_2 = 0,025 \cdot 108,59 / 29,766 = 0,0912 \text{ Ом},$$

где $U_{а} = 0,02 \dots 0,03$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора. Принимаем $U_{а} = 0,025 \text{ В}$;

Коммутационное сопротивление

$$R_{к} = X_{т} \cdot m / 2 = 0,346 \cdot 3 / 2 = 0,519 \text{ Ом.}$$

Усредненное сопротивление вентиля

$$R_B = \Delta U_B / I_H = 2,5 / 33 = 0,0758 \text{ Ом},$$

где $\Delta U_B = 2,5 \text{ В}$ – падение напряжения на вентиле.

Активное сопротивление преобразователя

$$R_{\Pi} = 2 \cdot (R_T + R_K + R_B) = 2 \cdot (0,0912 + 0,519 + 0,0758) = 0,686 \text{ Ом}.$$

Итак, суммарное активное сопротивление силовой цепи двигатель-тиристорный преобразователь

$$R_{\Sigma} = R_{\text{яц}} + R_{\text{др}} + R_{\Pi} = 0,7071 + 0,05 + 0,686 = 1,443 \text{ Ом}.$$

В данном разделе был произведен выбор двигателя, который удовлетворяет условиям по нагреву и перегрузочной способности. Выбраны элементы силовой части электропривода, определены индуктивность якорной цепи $L_{\Sigma} = 0,01255 \text{ Гн}$ и активное сопротивление силовой цепи двигатель-преобразователь $R_{\Sigma} = 1,443 \text{ Ом}$.

3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТЫ.

Статический расчет сведем к составлению функциональной блок-схемы электропривода и выбору основных элементов системы, которые должны обеспечить регулирование выходной координаты (скорости) с требуемой точностью и в требуемом диапазоне регулирования. Одновременно выполним расчеты, которые обоснуют применение выбранного двигателя и преобразователя в системе стабилизации скорости электропривода с заданными показателями электропривода.

В электроприводе постоянного тока будем применять статическую систему стабилизации скорости двигателя постоянного тока при изменении нагрузки на его валу, которая обеспечивает регулирование скорости и ее стабилизацию с высокой точностью. Ниже приведены уравнения, позволяющие построить электромеханические характеристики электропривода, и формулы для вычисления требуемого коэффициента усиления усилителя, обеспечивающего заданные точность и диапазон регулирования.

3.1. Функциональная схема.

В общем случае функциональная схема системы стабилизации имеет вид, показанный на рис.3.1. Она содержит двигатель М, тиристорный преобразователь ТП, регулятор скорости P_c , регулятор тока РТ и обратную связь, в которую входят датчик тока UA и датчик скорости BR.

При резком изменении задающего напряжения $U_{зад}$ в замкнутых системах электропривода сигнал управления U_y в первый момент времени значительно превышает свое установившееся значение. Это приводит к увеличению напряжения на выходе преобразователя, что в свою очередь может привести к возрастанию тока якоря двигателя до недопустимых значений. Следовательно, требуется введение ограничения тока двигателя.

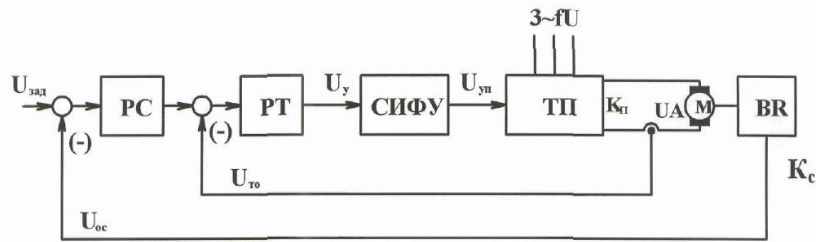


Рисунок 3.1 – Функциональная блок-схема электропривода

Ограничение тока осуществляется с помощью отрицательной обратной связи (ООС) по току, которая включается при достижении тока якоря своего предельного значения. ООС по току снижает напряжение на выходе преобразователя и таким образом ограничивает увеличение тока якоря двигателя.

3.1.1. Выбор тахогенератора.

Тахогенератор выбираем так, чтобы его скорость была не меньше максимальной скорости вращения двигателя, и чтобы тахогенератор не являлся дополнительной нагрузкой на двигатель и не увеличивал его момента инерции. Последнее условие выполняется, если мощность тахогенератора не превышает (1... 5) % мощности двигателя.

Выбираем тахогенератор типа ПТ1 со следующими данными:

номинальное напряжение $U_{тг.н}$, В.....230

номинальная скорость вращения $n_{тг.н}$, об/мин3000

3.1.2. Расчёт коэффициентов передачи тиристорного преобразователя.

Тиристорный преобразователь ТП, как импульсное устройство, характеризуется ограниченной полосой пропускания частот. Другой особенностью тиристорного преобразователя является полууправляемость вентиля, который закрывается не в момент снятия отпирающего импульса, а при снижении тока ниже величины удержания.

Тиристорный преобразователь можно представить в виде двух последовательно включенных блоков (рис. 3.2): СИФУ, входной величиной которой является напряжение управления U_y , а выходной – угол запаздывания открывания тиристоров α , и силового тиристорного блока ТБ,

входной величиной которого является угол α , а выходной – ЭДС преобразователя E_{Π} .

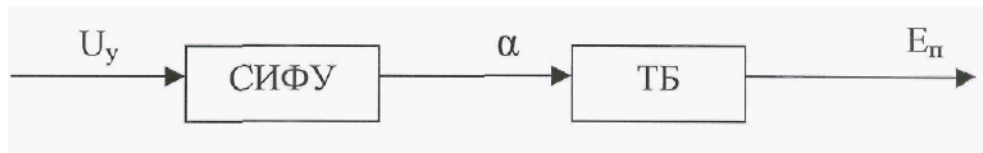


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема ТП

Коэффициент передачи ТП определяется произведением коэффициентов этих блоков

$$K_{\Pi} = K_{\text{СИФУ}} \cdot K_{\text{ТБ}},$$

где $K_{\text{СИФУ}}$ – коэффициент передачи СИФУ, эл. град./ В;

$K_{\text{ТБ}}$ – коэффициент передачи тиристорного блока.

В СИФУ, построенного по вертикальному принципу управления с пилообразным опорным напряжением, зависимость $\alpha = f(U_y)$ в большинстве случаев линейная (рис. 3.3).

Коэффициент передачи СИФУ

$$K_{\text{СИФУ}} = \Delta\alpha / \Delta U_y = 90 / 10 = 9 \text{ эл. град./В.}$$

Для определения $K_{\text{ТБ}}$ необходимо иметь зависимость выходного напряжения от угла α . Эта зависимость называется регулировочной характеристикой преобразователя и определяется выражением

$$E_{\Pi} = E_d = E_{d0} \cdot \cos\alpha = 281 \text{ В,}$$

где $E_{d0} = U_{d0}$ – среднее значение выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$.

Так как характеристика нелинейна, величина $K_{\text{ТБ}}$ будет зависеть от положения рабочей точки на этой характеристике (рис. 3.4).

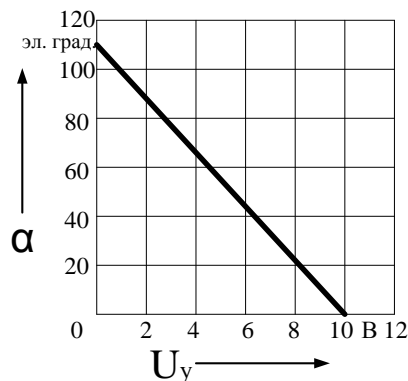


Рисунок 3.3 – Статическая характеристика СИФУ

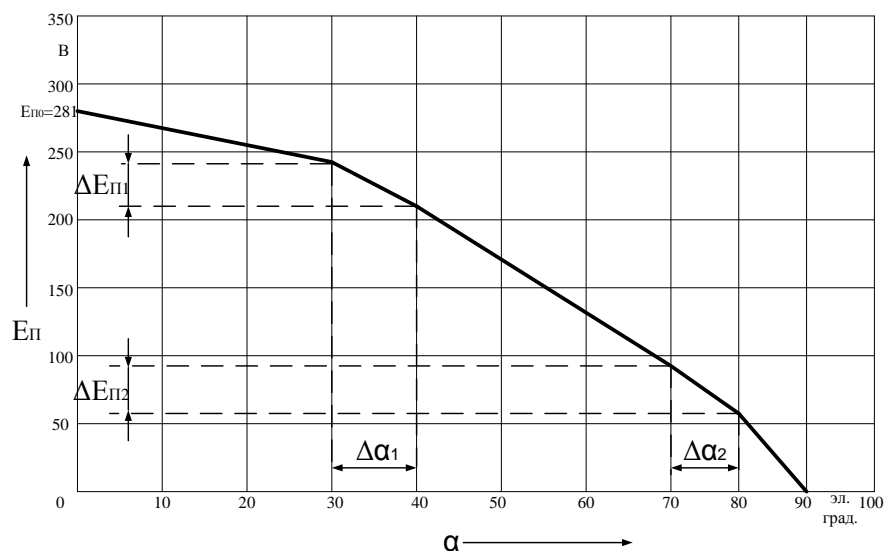


Рисунок 3.4 – Регулировочная характеристика силового блока ТП

Коэффициенты передачи тиристорного блока

$$K_{ТБ1} = \Delta E_{п1} / \Delta \alpha_1 = (240 - 212) / (40 - 30) = 2,8 \text{ В/эл. град.};$$

$$K_{ТБ2} = \Delta E_{п2} / \Delta \alpha_2 = (80 - 45) / (80 - 70) = 3,5 \text{ В/эл. град.}$$

Коэффициенты передачи ТП для этих случаев

$$K_{П1} = K_{СИФУ} \cdot K_{ТБ1} = 9 \cdot 2,8 = 25,2 ;$$

$$K_{П2} = K_{СИФУ} \cdot K_{ТБ2} = 9 \cdot 3,5 = 31,5$$

3.2. Структурная схема.

Проектируемый автоматизированный электропривод должен быть работоспособен. Необходимым и достаточным условием работоспособности является обеспечение требуемого качества процесса управления, в понятие которого входит качество переходного процесса.

Последнее характеризуется временем регулирования перерегулированием и достигается за счет введения

в систему корректирующих устройств (регуляторов) с определенными параметрами.

В настоящее время в электроприводе нашел применение принцип последовательной коррекции или, так называемого, подчиненного регулирования. Этот принцип применим в нашей работе.

Работу электродвигателя можно описать системой уравнений

$$E_{\Pi} = L_{\Sigma} \cdot di/dt + i \cdot R_{\Sigma} + K_{\text{д}}; \quad (3.1)$$

$$M = c \cdot i; \quad (3.2)$$

$$E_{\text{д}} = c \cdot \omega; \quad (3.3)$$

$$M - M_{\text{с}} = J_{\Sigma} \cdot d\omega/dt. \quad (3.4)$$

При условии, что параметры двигателя постоянны, магнитный поток не зависит от нагрузки (отсутствует реакция якоря).

В системе уравнений введены следующие обозначения:

E_{Π} , $E_{\text{д}}$ – ЭДС двигателя и преобразователя, В;

$c = k\Phi$ – коэффициент, определяемый конструкцией двигателя;

Φ – магнитный поток, Вб;

M – электромагнитный момент двигателя, Н·м;

$M_{\text{с}}$ – статический момент, приведенный к валу двигателя;

С помощью преобразований составляем структурную схему двигателя постоянного тока независимого возбуждения (рис. 3.5).

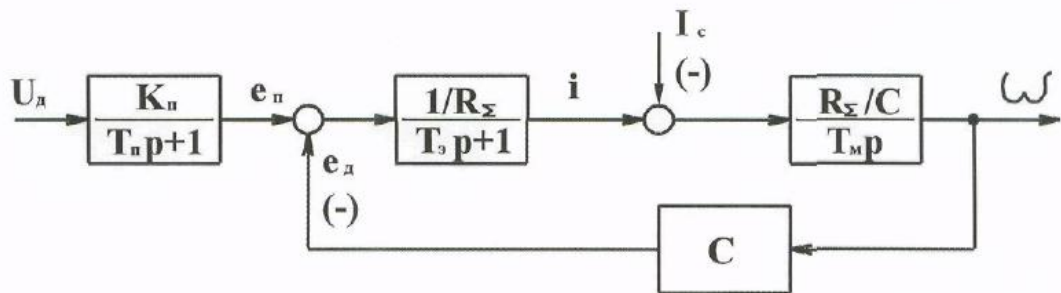


Рисунок 3.5 – Структурная схема двигателя с тиристорным преобразователем, где $I_{\text{с}}$ – статический ток; T_{Π} – постоянная времени преобразователя.

При расчете системы регулирования будем применять принцип подчиненного регулирования. На рис 3.6 приведена схема тиристорного

электропривода с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока якоря.

Контур тока образован регулятором тока АА, тиристорным преобразователем и якорной цепью, и замыкается обратной связью по току с коэффициентом передачи K_T .

Контур скорости образован регулятором скорости АР, контуром тока, механической частью привода и обратной связью по скорости с коэффициентом передачи K_C .

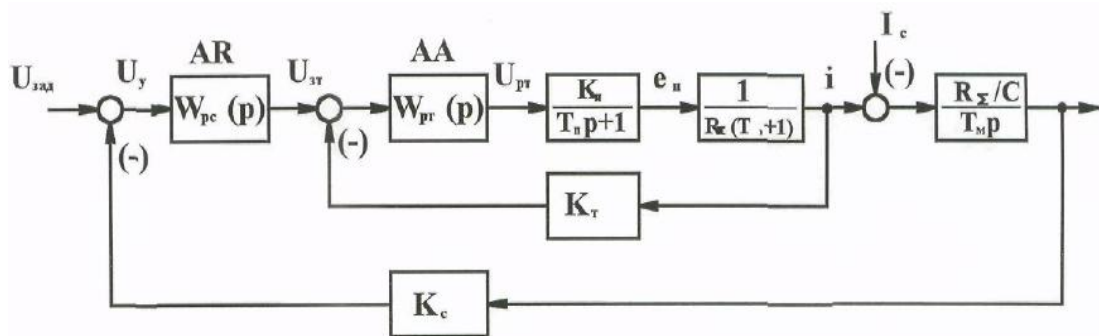


Рисунок 3.6 – Структурная схема тиристорного электропривода с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока якоря

Для представления двигателя в виде последовательно соединенных звеньев влиянием ЭДС двигателя пренебрегаем, так как ток якоря изменяется значительно быстрее, чем ЭДС двигателя. Таким образом, объект управления (тиристорный преобразователь с двигателем) состоит из трех последовательно соединенных звеньев:

- 1) тиристорного преобразователя с передаточной функцией

$$W_n(p) = K_{\Pi} / (T_{\text{M}}p + 1); \quad (3.5)$$

- 2) якорной цепи двигателя с передаточной функцией

$$W_{\text{я}}(p) = 1 / (R_{\Sigma} \cdot (T_{\text{Э}}p + 1)) \quad (3.6)$$

- 3) механической части привода с передаточной функцией

$$W_{\text{м}}(p) = R_{\Sigma} / T_{\text{M}}p. \quad (3.7)$$

Регуляторы в системах подчиненного регулирования выбираем таким образом, чтобы замкнутый контур имел передаточную функцию колебательного звена вида

$$W(p) = 1/(2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1),$$

При выполнении условия технического оптимума коэффициент демпфирования равен $1/\sqrt{2}$, и переходный процесс будет иметь перерегулирование 4,3 %, а время регулирования (6... 8) T_{μ} .

Контур с такой передаточной функцией не является предельным ни по быстродействию, ни по перерегулированию, но в большинстве случаев удовлетворяет практическим требованиям.

Передаточная функция разомкнутого контура

$$W_P(p) = 1/(2T_{\mu} p \cdot (T_{\mu} p + 1))$$

Передаточная функция регулятора выбирается из условия компенсации основной инерционности объекта управления.

Принцип компенсации сформулируем следующим образом:

– каждому звену объекта управления с большой постоянной времени должно соответствовать звено с передаточной функцией, обратной передаточной функции компенсируемого звена.

В контуре тока (рис. 3.7) инерционность якорной цепи, обусловленная постоянной времени T_{Σ} , будет значительно больше инерционности тиристорного преобразователя, определяемой постоянной времени T_{Π} . Поэтому компенсируется влияние постоянной времени T_{Σ} , а постоянная времени T_{Π} приравнивается малой T_{μ} .

Передаточная функция разомкнутого токового контура без учета влияния ЭДС будет иметь вид

$$W_T(p) = W_{PT}(p) \cdot K_{\Pi} / (T_{\Pi} p + 1) \cdot K_M / (R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma} p + 1))$$

и должна быть равна передаточной функции вида $W(p)$.

Тогда получим

$$W_{PT}(p) = R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma} p + 1) / (2T_{\Pi} \cdot K_{\Pi} \cdot K_M \cdot p)$$

Таким образом, контур тока оптимизируется пропорционально интегральным регулятором (ПИ–регулятором).

Колебательное звено $W(p)$ не обеспечивает астатизма системы. Поэтому, чтобы сделать статизм системы равным нулю применим дополнительный интегральный регулятор, позволяющий получить симметричный оптимум системы.

При настройке на симметричный оптимум передаточная функция разомкнутого контура регулирования имеет вид

$$W_p(p) = \frac{4 T_{\downarrow} \cdot p + 1}{8 T_{\downarrow}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\downarrow} \cdot p + 1)} \quad (3.8)$$

Настроенная на симметричный оптимум система не имеет статической ошибки, но перерегулирование переходного процесса в ней достигает 55 %.

Передаточная функция разомкнутого контура скорости

$$W_k(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{K_c \frac{R_{\downarrow}}{c}}{T_{\downarrow} \cdot p K_m (2 T_n p + 1)}$$

Здесь внутренний контур тока аппроксимируется интегральным звеном с постоянной времени $2T_{\Pi}$. При этом ошибка аппроксимации несущественна.

При $T_{\mu} = 2T_{\Pi}$ система, настроенная на симметричный оптимум, имеет передаточную следующую функцию

$$W_{pc}(p) \cdot \frac{K_c \frac{R_{\downarrow}}{c}}{T_{\downarrow} \cdot p K_T (2 T_{\Pi} p + 1)} = \frac{8 T_{\Pi} p + 1}{32 T_{\Pi}^2 \cdot p^2 \cdot (2 T_{\Pi} p + 1)}$$

откуда

$$W_{pc}(p) = \frac{T_{\downarrow} \cdot K_m c (8 T_n p + 1)}{32 T_n K_c R_{\downarrow} \cdot p},$$

что соответствует передаточной функции ПИ-регулятора.

Приведенные соотношения справедливы для режима непрерывных токов тиристорного преобразователя, при котором параметры системы постоянны.

Таким образом, разработана структура проектируемого электропривода, определены коэффициенты передачи его элементов.

3.3. Построение математической модели, переходных процессов.

Для построения математической модели в программе Matlab 6.0 необходимо определить коэффициенты передачи и постоянные времени двигателя и звеньев структурной схемы электропривода (рис. 3.7).

Статический коэффициент передачи двигателя

$$K_D = 1/k\Phi_H = 1/0,6225 = 1,606$$

Параметры двигателя

$$K_M = k\Phi_H = 0,6225;$$

$$K_E = (U_H - 1,27 \cdot R_{я.ц} \cdot I_H) / \omega_H = (220 - 1,27 \cdot 0,74 \cdot 33) / 314,16 = 0,601$$

Коэффициент передачи тиристорного преобразователя

$$K_{П} = (K_{П1} + K_{П2}) / 2 = (25,2 + 31,5) / 2 = 28,35$$

Выбираем операционный усилитель К140УД14. Напряжение выхода операционного усилителя

$$U_{\text{вых}} = \pm 13 \text{ В.}$$

Коэффициент передачи обратной связи по скорости вращения двигателя

$$K_C = U_{\text{вых}} / \omega_{\text{раб}} = 13 / 314,16 = 0,0413$$

Коэффициент передачи обратной связи по току

$$K_T = U_{\text{вых}} / (K_{\text{им}} \cdot I_H) = 13 / (2 \cdot 33) = 0,197 ,$$

где $K_{\text{им}} = 2$ – кратность перегрузки по току.

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи преобразователь - двигатель

$$T_{\Theta} = L_{\Sigma} / R_{я.ц} = 0,01255 / 0,74 = 0,017 \text{ с.}$$

Электромеханическая постоянная времени двигателя

$$T_M = J_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} / (K_M \cdot K_E) = 0,044 \cdot 0,74 / (0,601 \cdot 0,6225) = 0,087 \text{ с.}$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя ($T_{\Pi} = 5 \dots 8$ мс.) принимаем $T_{\Pi} = 0,005$ с.

Постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_T = 2 \cdot T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ с.},$$

где $T_{\mu} = T_{\Pi} = 0,005$ с. – малая постоянная времени эквивалентная постоянной времени тиристорного преобразователя.

Постоянная времени оптимизированного контура регулирования скорости $T_C = 2 \cdot T_T = 2 \cdot 0,01 = 0,02$ с.,

Постоянная времени дифференцирования $\tau_T = T_{\Theta} = 0,017$ с.

$$\tau_T = T_{\Theta} = 0,017 \text{ с.}$$

$$T_{ИТ} = T_T \cdot K_{\Pi} \cdot K_T / R_{я.ц} = 0,01 \cdot 28,35 \cdot 0,197 / 0,74 = 0,075 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

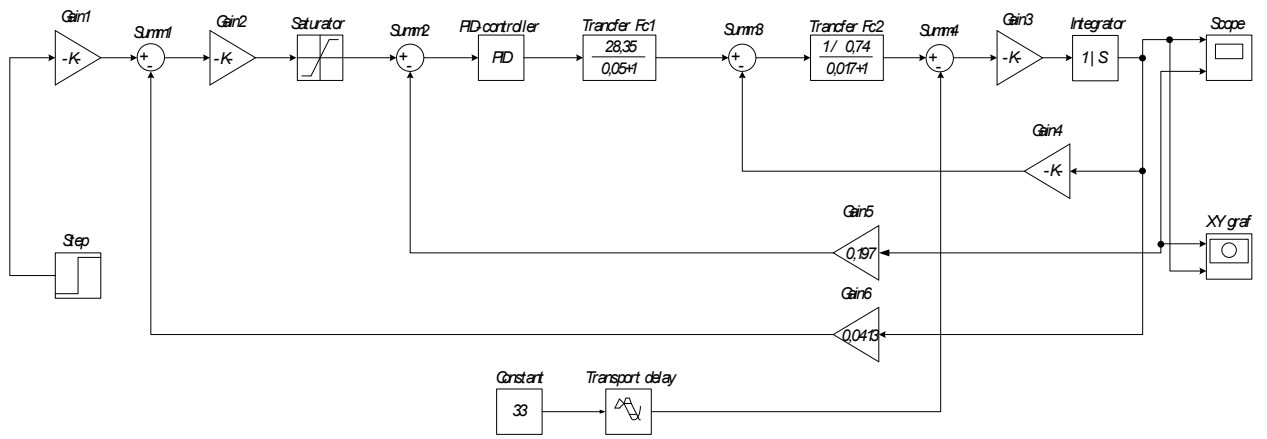
$$K_{РТ} = \tau_T / T_{ИТ} = 0,017 / 0,075 = 0,23$$

Коэффициент усиления регулятора скорости вращения

$$K_{РС} = (T_M \cdot K_T \cdot K_E) / (T_C \cdot K_C \cdot R_{я.ц}) = (0,087 \cdot 0,197 \cdot 0,601) / (0,02 \cdot 0,0413 \cdot 0,74) = 16,85$$

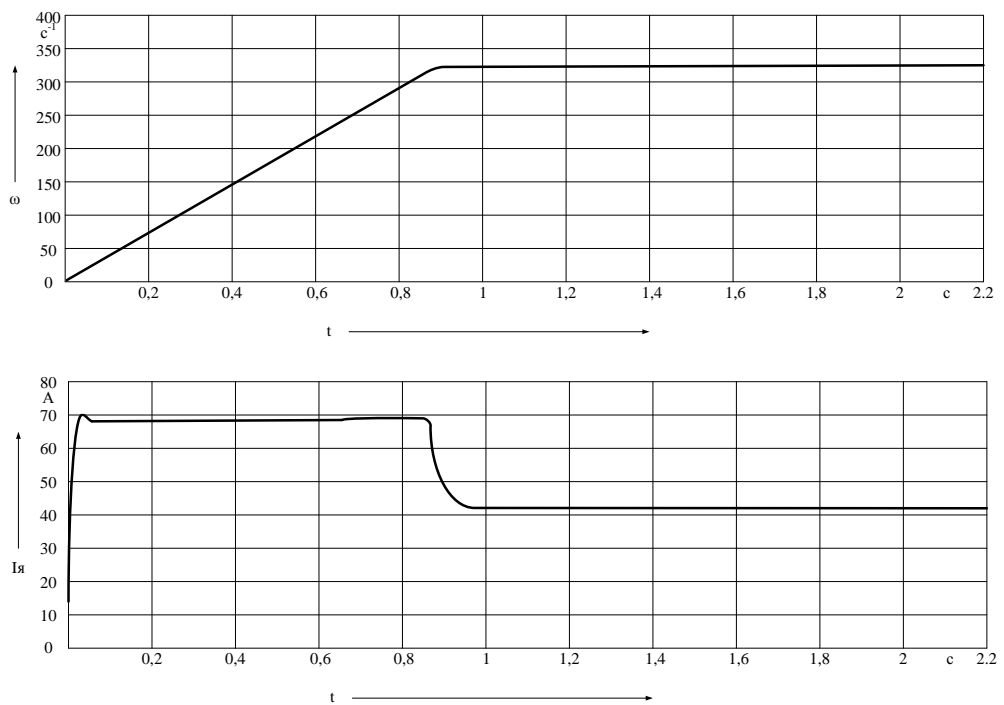
На основании проведённых расчётов составляем математическую модель с двумя контурами регулирования по скорости и по току (рис. 3.8). В свойства узлов и блоков забиваем рассчитанные выше коэффициенты передачи и постоянные времени.

Кривые переходных процессов при пуске электропривода под нагрузкой приведены на рис. 3.7 (а). На рис. 3.7 (б) показаны кривые переходных процессов при холостом пуске и внезапной подаче номинальной нагрузки $I_H = 33$ А. Механическая динамическая характеристика показана на рис. 3.9.



- Summ – Блок суммирования
- Transfer Fc – передаточное звено
- Step – блок выходного сигнала
- Constant – постоянный параметр
- Transport delay – блок задержки сигнала
- Scope – осциллограф
- XY graf – блок построения графика
- Gain – усилитель
- Gain – усилитель
- Saturator – блок выбора уровня насыщения
- FD controller – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор

Рисунок 3.7 – Математическая модель электропривода



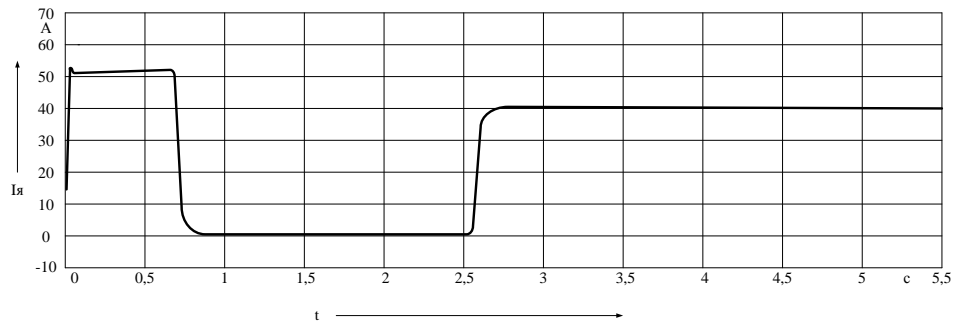
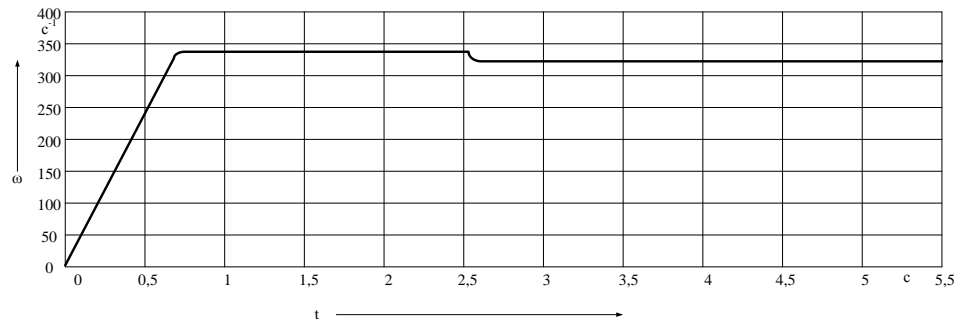


Рисунок 3.8 – Кривые переходных процессов а) при пуске под нагрузкой, б) при холостом пуске и подачи номинальной нагрузки

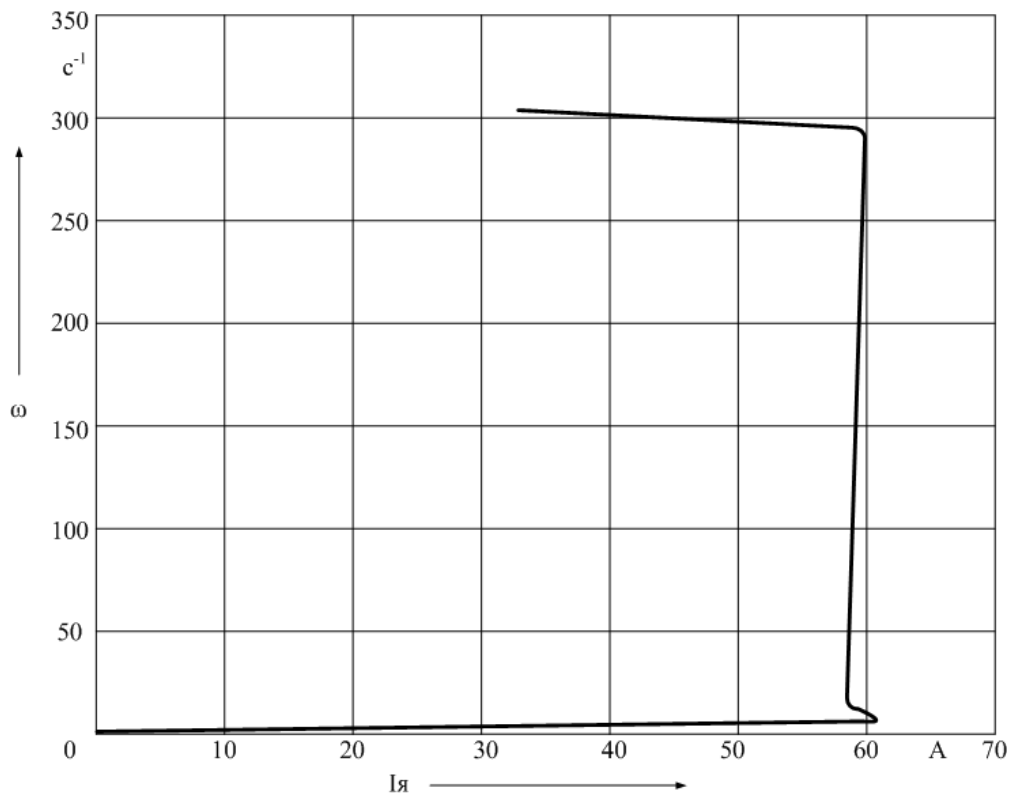


Рисунок 3.9 – Динамическая электромеханическая характеристика

резистора делителя, подключенного к выходу усилителя, может плавно регулироваться, задавая установку тока ограничения.

4.2 Силовая часть

Принципиальная схема силовой части электропривода приведена на рис. 4.2. Основа схемы силовой части – два трехфазных мостовых комплекта тиристоров, которые соединены встречно-параллельно. За счет такого соединения достигается реверс выпрямленного напряжения. При работе одного комплекта запрещена подача импульсов управления на другой.

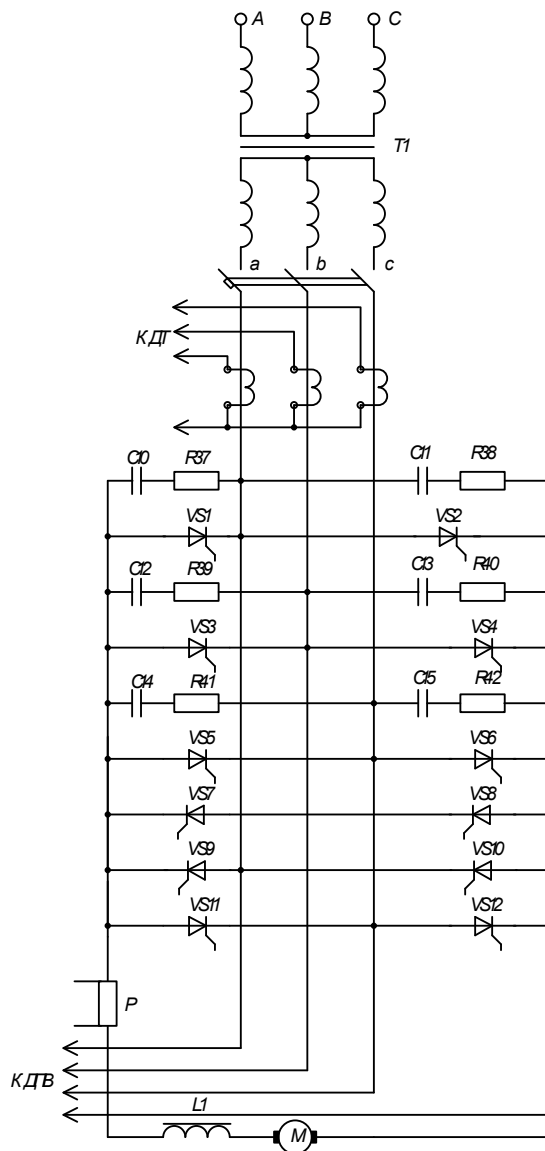


Рисунок 4.2 - Принципиальная схема силовой части электропривода

Особенностью работы трехфазной мостовой управляемой схемы выпрямления является необходимость формирования парных импульсов для управления тиристорами. Первый из пары определяет угол открытия тиристора в положительной полуволне, другой – в отрицательной. Сдвиг между парами импульсов на противофазных тиристорах моста – 180 эл. градусов, на тиристорах одной группы (анодной или катодной) – 120 эл. градусов.

Временная диаграмма работы мостовой управляемой схемы выпрямления в области прерывистого тока при угле регулирования $\lambda = 90$ эл. градусов приведена на рис. 4.3.

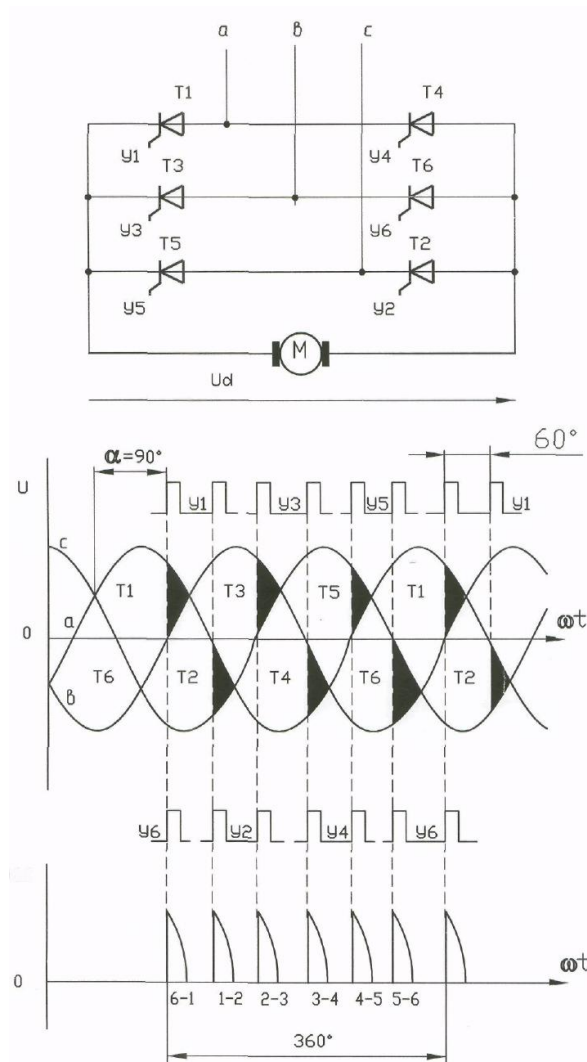


Рисунок 4.3 – Временная диаграмма работы мостовой схемы выпрямления в режиме прерывистого тока

В мостовой схеме одновременно включены два тиристора. Напряжения на анодах у них сдвинуты относительно друг друга на 60 эл. градуса. Чтобы включить мост, необходимо хотя бы на один тиристор подать два сдвинутых на 60 эл. градуса импульса. Для режима непрерывного тока этого будет достаточно. В режиме непрерывного тока включенный ранее тиристор находится в проводящем состоянии до прихода импульса на следующий тиристор.

В области прерывистых токов преобразователь срабатывает и выключается шесть раз за период, каждый тиристор два раза. Поэтому вдвоенные импульсы подаются на все тиристоры.

Выпрямленное напряжение в режиме прерывистого тока имеет нулевое значение при угле регулирования $\lambda = 120$ эл. градусов.

Система импульсно-фазового управления формирует для управления тиристорами вдвоенные прямоугольные импульсы, фаза которых относительно силового напряжения на тиристорах изменяется пропорционально напряжению, поступающему на управляющий орган СИФУ. Функциональная схема СИФУ приведена на рис. 4.4, и состоит из:

- источник синхронизирующего напряжения (ИСН);
- три идентичных формирователя импульсов (ФИ);
- управляющий орган (УО);
- шесть усилителей импульсов (УИ);
- шесть вводных устройств (ВУ);
- двенадцать импульсных трансформаторов (ИТ).

В качестве ИСН используется вторичная обмотка трансформатора питания. При соединении силового трансформатора по схеме Y/Y (звезда-звезда) напряжения синхронизации совпадают по фазе с силовыми напряжениями одноименных фаз на тиристорах.

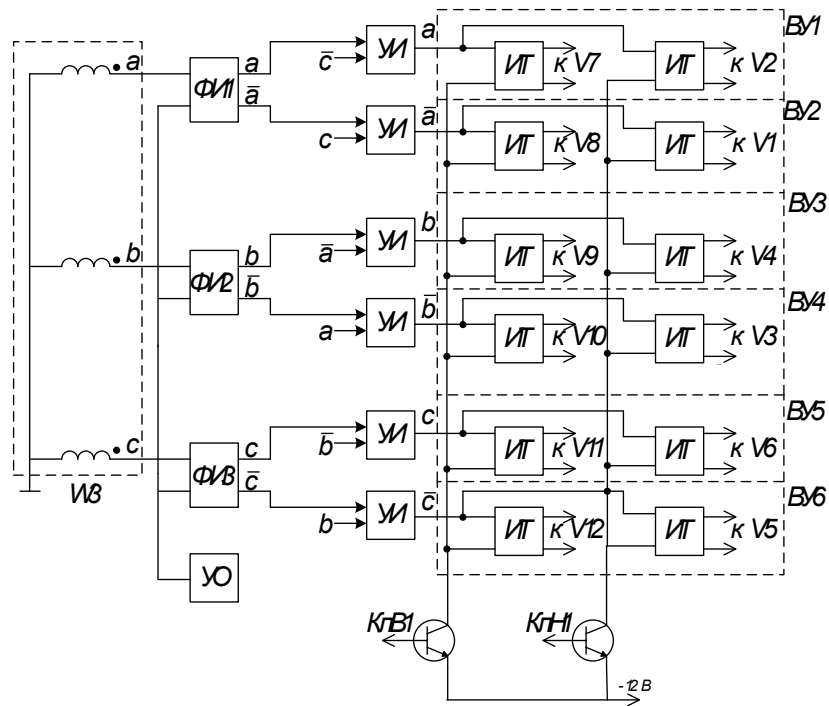


Рисунок 4.4 – Функциональная схема СИФУ

Показанная ситуация соответствует переключению одного комплекта тиристоров, находящегося в выпрямительном режиме с углом регулирования α_1 на другой комплект, который начинает работать в инверторном режиме с углом регулирования α_2 , т.е. соответствует началу торможения электродвигателя с какой-то скоростью. Командой на переключение комплектов является изменение полярности напряжения $U_{НЗ}$, что приводит одновременно к скачкообразному изменению напряжения управления $\Delta U_{y1} = U_{y1} - U_{y2}$. Команда на переключение комплектов пришла после выдачи каналом очередного импульса управления с углом регулирования α_1 в тот же полупериод синхронизирующего напряжения. Если в этот момент отсутствовал запрет на переключение от блокировочных сигналов $U_{БВ}$, $U_{БИ}$ сигнал U_p мгновенно принимает нулевой уровень и происходит отсчет выдержки времени. В течение выдержки времени оба ключа В и Н в ПХ замкнуты, поэтому $U_y = 0$ ($U_{СМ}$ соответствует $\alpha_{нач.}$). После переключения ключей напряжение на выходе ПХ сменит полярность на противоположную. Поэтому в этот момент произойдет скачкообразное изменение U_y ,

симметричное относительно U_{CM} . Таким образом, в течение выдержки времени на одном входе триггера DD2.2, DD2.3 присутствует сигнал нулевого уровня, а на другом за счет $U_y = 0$ и перехода выходного напряжения НО в положительную полярность – сигнал единичного уровня. Это приводит триггер в исходное состояние и через некоторый промежуток времени он формирует второй импульс управления с углом регулирования α_2 .

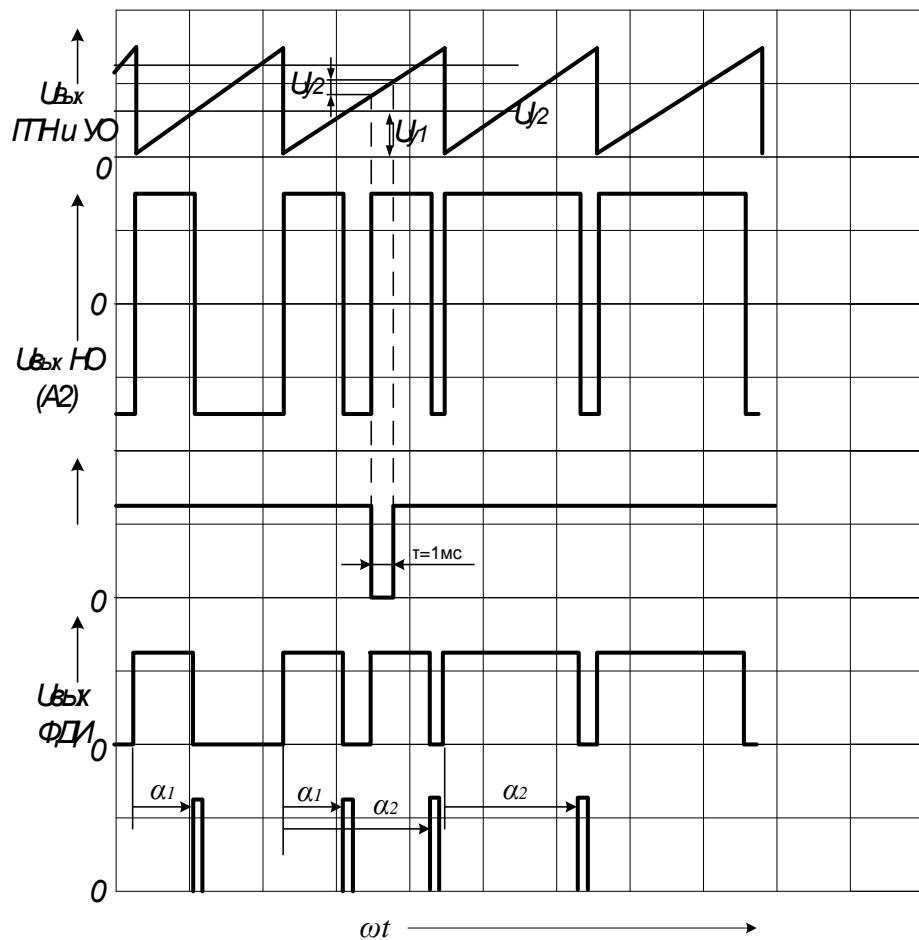


Рисунок 4.5 – Временные диаграммы напряжений ФИ при повторной выдаче управляющего импульса

5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.

Плата содержит узел формирователя импульсов.

Плата является основанием для монтажа радиоэлементов. Материал платы должен обладать достаточной механической прочностью, малыми радиоэлектрическими потерями, высокой нагревостойкостью и хорошим сцеплением материала платы с печатными проводниками. В качестве печатных плат используется слоистый спрессованный пластик (стеклотекстолит), облицованный с двух сторон медной электролитической фольгой.

По изготовленному фотошаблону в плате просверливаются отверстия диаметром 1 мм. для установки радиоэлементов.

После очистки и полировки на плату наносят изображения проводников способом сеткографии, т.е. продавливанием через сетчатый трафарет кислотно - щёлочноупорной краски. Форма, протяжённость и расположение печатных проводников зависит от конструктивных особенностей схемы, но не допускаются резкие перегибы и острые углы. Ширина печатных проводников составляет 1 – 2 мм. Расстояние между проводниками должно быть не более 1,5 мм.

Затем проявляют рисунок проводников в растворе хлорного железа с последующим контролем и устранением дефектов с помощью паяльника.

После просверливания установочных отверстий диаметром 4 мм. печатная плата передаётся на монтажные операции.

Маршрутная технологическая карта изготовления печатной платы представлена в таблице 5.1

Затем проявляют рисунок проводников в растворе хлорного железа с последующим контролем и устранением дефектов с помощью паяльника.

После просверливания установочных отверстий диаметром 4 мм. печатная плата передаётся на монтажные операции.

Маршрутная технологическая карта изготовления печатной платы представлена в таблице 5.1

О	СУШИТЬ ПЛАТУ ПЕЧАТНУЮ. РЕЖИМ СУШКИ 1,5 – 2 ЧАСА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 100 – 110 °С.
А	Нанесение пасты
Б	Устройство для трафаретной печати 903Y002 ф. Fuitsch, Германия.
М	Паяльная паста Sn 62R V92FFS90 Multicore ф. Solders, Великобритания.
М	Спирт этиловый ректификованный технический ГОСТ 18300 – 87.
М	Салфетки хлопчатобумажные ТУ 17/1 РСФСР 38 – 70.
М	Кисть КХ – 25 ГОСТ 10597 – 87.
М	Перчатки хлопчатобумажные тип I ГОСТ 5007 – 87.
М	Перчатки резиновые анатомические ТУ 38 – 106.140 – 81.
М	Пакет 12 350×250×0,15 мм. ТУ 6-19-1324-88.
	Внимание! Паяльную пасту хранить в холодильнике при температуре 5 – 10 °С. Перед использованием пасту выдержать при комнатной температуре в течение часа, затем тщательно перемешать до однородной массы.
	Внимание! Работать в резиновых перчатках.
	Внимание! При использовании новой упаковки с паяльной пастой вначале необходимо провести её технологическое опробование: нанести паяльную пасту через трафарет на бракованную печатную плату, оплавить, визуально оценить качество оплавления и принять решение о её дальнейшем использовании. Бракованную печатную плату можно использовать повторно.
О	1. Нанести паяльную пасту на контактные площадки печатной платы с помощью ракеля.
	2. По окончании работы протереть ракель и трафарет спиртом или водой в зависимости от марки паяльной пасты, убрать рабочее место, паяльную пасту положить в пакет и отнести в холодильник.
	Внимание! Время жизни паяльной пасты на открытом воздухе 25 часов. Отработанную паяльную пасту сложить в пустую упаковку, закрыть крышкой, отнести на место сбора отходов припоя и пасты.
Т	Шпатель ГОСТ 10778 – 76.
Т	Ракель 857-7880-4019

А	Сборочно-монтажная
Б	Монтажный автомат Universal 4681 (GSMI) ф. Unibersal Instruments Corporation, США
О	1. Включить электроэнергию и пневмопитание для автомата и двух конвейеров.
	2. Проверить наличие всех питателей с радиоэлементами согласно таблице питателей, наличие в них элементов и правильность расположения ключа микросхем. При необходимости заменить катушки и пеналы с радиоэлементами.
	3. Запустить автомат в работу согласно инструкции.
	4. Запустить программу установки радиоэлементов.
	5. Установить плату на конвейер.
	6. Запустить программу установки 173 радиоэлементов в работу.
	7. После завершения работы и выхода платы проверить правильность установки радиоэлементов.
	8. При необходимости подправить радиоэлементы на контактных площадках с помощью пинцета и шила.
	9. После окончания работы отключить автомат согласно инструкции.
	10. Отключить электроэнергию, пневмопитание.
	Внимание! Плату необходимо брать за края, не касаясь радиоэлементов.
Т	Пинцет медицинский ГОСТ 21241 – 75
Т	Скальпель 07.2899 – 4005
Т	Шило монтажное ОСТ 4.ГО.060.019
А	Сборочно-монтажная
Б	Манипулятор для ручной установки ПМИ LM901/110 ф. Fritsch GmbH, Германия.
	Внимание! При выполнении работ с микросхемами предусмотреть защиту от статического электричества.
О	1. Включить установку в сеть 220 В.
	2. Разложить радиоэлементы в промаркированные ячейки.
	3. Выполнить установку элементов с помощью вакуумного пинцета.
	4. Проверить.

	5. Передать плату на оплавление.
	Внимание! касаться элементов руками недопустимо.
Т	Браслет антистатический тип 4200А.
Т	Штатив для плат ОАМ 015850000
А	Оплавление
Б	Печь оплавления DIMA SMRO – 4000 Scirocco ф. DIMA SMRO Systems, Голландия
М	Перчатки хлопчатобумажные шитые ТУ 17 РСФСР 06-77.
О	1. Подключить воду для охлаждения. Проверить поступает ли вода в шланги.
	2. Включить электропитание.
	3. Включить печь.
	4. Установить на пульте управления номер программы режима оплавления паяльной пасты.
	5. Проверить значение температур зон профиля, скорости движения конвейера по таблице в карте режимов наладки.
	6. Установить плату с радиоэлементами на конвейер и выполнить операцию оплавления.
	продолжение таблицы 5.1
	7. Снять плату после выхода из печи и установить в штатив.
	8. Передать плату на следующую операцию.
	Внимание! Плату брать за края, касаться элементов руками не допустимо.
Т	Штатив для плат ОАМ 015850000
А	Промывка
Б	Модуль отмывки Poly-Clean ф. Hollis, США.
	Операция выполняется при использовании паяльной пасты с водорастворимым флюсом марки SnHX21AAS88, Sn62WS12AAS88/
О	1. Установить плату на конвейер.
	2. Выполнить промывку на модуле отмывки Poly-Clean ф. Hollis.
	3. Снять охлаждённую плату и установить в штатив.
	4. Досушить плату после отмывки при комнатной температуре в течение 24 часов.
	5. ПЕРЕДАТЬ ПЛАТУ НА СЛЕДУЮЩУЮ ОПЕРАЦИЮ.
Т	Штатив для плат ОАМ 015850000.
А	Монтажная
Б	Установка визуального контроля Mantis ф. Vision Engineering LTD, Великобритания.
Б	Паяльная станция MBT250E ф. Pace Incorporated, США.

Б	Стол монтажный СМ4.
М	Трубчатый припой с флюсом Sn62 Ersin 362D2 диаметром 0,46 мм. ф. Multicore Solders, Великобритания.
О	1. Проверить качество пайки.
	2. Устранить дефекты пайки.
	3. При необходимости произвести перепайку элементов: выпаять дефектный элемент, подготовить контактную площадку к монтажу, припаять новый элемент.
	4. Передать плату на следующую операцию.
Т	Лупа СП – 1-2х диаметром 80 мм. ГОСТ 25706 – 83.
Т	Браслет антистатический тип 4200А.
А	Промывка
Б	Шкаф вытяжной Ш2ВНЖ.
М	Спирт этиловый ректифицированный технический ГОСТ 18300 – 87.
М	Бензин-растворитель нефпас С2-80/120 ТУ 38-401-67-108-92.
М	Кисть КФК 8 ГОСТ 10597 – 87.
М	Кисть КФК 25 ГОСТ 10597 – 87.
М	Кисть КР 30 ГОСТ 10597 – 87.
М	Перчатки кислотно-стойкие тип 2 ГОСТ 20010 – 93.
М	Ветошь хлопчатобумажная ГОСТ 5354 – 79.
О	Произвести отмывку последовательно в двух ваннах от остатков флюса в спиртобензиновой смеси.
Т	Ванна Под Спиртобензиновую Смесь – 2 Шт.
А	Контроль ОТК
Б	Стол контролёра
	Внимание! Внешний вид качества паек должен соответствовать эталоны.
О	1. Проверить установку радиоэлементов на плате.
	2. Проверить качество паек, неприпаи недопустимы.
	3. Не допускается полное смещение радиоэлементов с контактной площадки.
	4. Количество паяльной пасты в паяном соединении должно обеспечить качественную пайку.
	5. Поставить штамп ОТК на годные платы.
Т	Лупа СП – 1-2х диаметром 80 мм. ГОСТ 25706 – 83.
	Браслет антистатический тип 4200А.
А	Траспортная
Б	
М	Пакет антистатический из плёнки ТГА 350×260×0,15 мм. ТУ 6-19-051-566-86.

О	1. Уложить плату в антистатический пакет.
	2. Передать на склад ПДБ.
Т	Тара пластмассовая 1М321.25 – 4.06.
А	Испытания
Б	Автоматическая тестовая система ф. Wayne Kerr, Великобритания
Б	Стенд технологического контроля СТКМ – 2 НПП ЭЛКАР, Москва.
М	Лента чековая ГОСТ 8942 – 91, ширина 69 мм, внутренний диаметр 12 мм, внешний диаметр 63 мм.
М	Лента клейкая Бумажная шириной 25 мм. Словения – 0,3 м.
М	Красящая Лента На Катушках 2-Цветная Типа Ir505.
М	Салфетки хлопчатобумажные ТУ 17/1 РСФСР 38 – 70.
О	1. Установить плату на адаптер, запустить программу тестирования.
	2. Провести проверку радиоэлементов, входные – выходные параметры.
	Внимание! Предусмотреть защиту от статического электричества. В процессе испытаний ограничить касание платы руками.
Т	Подставка для модулей.
Т	Браслет антистатический тип 4200А.
А	Монтажная
Б	Стол монтажный СМ4
М	Припой Прв. 1,5 ПОС61М ГОСТ 21931 – 76.
М	Спирт этиловый Ректифицированный технический ГОСТ 18300 – 87.
М	Бензин – растворитель нефпас С2 – 80/120 ТУ 38-401-67-108-92.
М	Салфетки хлопчатобумажные ТУ 17/1 РСФСР 38 – 70.
М	Канифоль сосновая марки А ГОСТ 19113 – 73.
О	1. При необходимости произвести ремонт.
	2. Убрать остатки флюса спиртобензиновой смесью 1:1
	3. Передать плату на следующую операцию.
	Внимание! Предусмотреть защиту от статического электричества. В процессе устранения дефектов ограничить касание платы руками.
Т	Подставка для модулей.
Т	Браслет антистатический тип 4200А.
А	Транспортная
М	Пакет Антистатический Из Плёнки Тга 350×260×0,15 Мм. Ту 6-19-051-566-86.
О	1. Уложить плату в антистатический пакет.
	2. Передать на склад ПДБ.
Т	Тара пластмассовая 1М321.25 – 4.06.
А	Лакирование
Б	Шкаф вытяжной
М	Лак УР – 231 ТУ 6-21-14-90.

М	Крепитель ДГУ ТУ 6-03-388-75
М	Ксилол ГОСТ 9410 – 78.
М	Бутилацетат ГОСТ 8981 – 78.
М	Лента клейкая бумажная шириной 25 мм, Словения – 0,3 м.
М	Кисть художественная Белка КХЖК №3 ТУ 17 РСФСР 06 – 77.
М	Перчатки хлопчатобумажные шитые ТУ 17 РСФСР 06 – 77.
М	Перчатки резиновые анатомические №9 ТУ 38-106140-81.
М	Кисть КФК 25 ГОСТ 10597 – 87.
М	Салфетки хлопчатобумажные ТУ 17/1 РСФСР 38 – 70.
М	Ветошь хлопчатобумажная ГОСТ 5354 – 79.
М	Марля ГОСТ 9412 – 77.
О	1. Приготовить лак УР – 231.
	2. Резать ленту клейкую на отрезки и защитить ею поверхности Б – 2 шт. с обратной стороны платы и 2 шт. в местах крепёжных отверстий и установки радиоэлементов.
	3. Лакировать окунанием обе стороны платы, включая выводы разъёма. От покрытия предохранить корпус разъёма и контакты разъёма со стороны соединения с ответной частью.
	4. Выдержать в вертикальном положении 3 – 5 с. плату для полного растекания лака по выводам разъёма и поверхности платы.
	5. Убрать Ленту Клейкую С Защитных Мест Платы – 4 Места.
	6. Убрать салфеткой лак, затекший на поверхности Б, контактные площадки отверстий, контур корпуса разъёма.
	7. Устранить дефекты лакировки с помощью кисти.
	8. Сушить плату 9 часов при температуре 18 – 23 °С в вытяжном шкафу.
	9. Повторить переходы 1 – 8 ещё один раз для нанесения второго слоя лака.
	10. Уложить плату в тару.
Т	Ножницы L = 150 мм. ТУ РСТ РСФСР 145 – 71.
Т	Линейка металлическая мерительная L = 500 мм. ГОСТ 427 -75
Т	Подставка для модулей – цеховая.
Т	Ванна для лакирования – 857.7887.4070.
Т	Поддон для стекания лака – 857.7887.4070.
Т	Тара пластмассовая 1М321.25 – 4.06.
Т	Браслет антистатический тип 4200А.
А	Контроль ОТК
Б	Стол контролёра

продолжение таблицы 5.1

О	1. Проверить качество лакирования по КТК “Узлы и блоки РЭА. Монтаж и сборка” № Д7000 – 4/146 – 76. Наличие лака на корпусе и его контактах со стороны соединения с ответной частью недопустимо.
	2. Поставить штамп ОТК на годные платы.
А	Транспортная
Б	
М	Пакет антистатический из плёнки ТГА 350×260×0,15 мм. ТУ 6-19-051-566-86.
О	1. Уложить плату в антистатический пакет.
	2. Передать на склад ПДБ.
Т	Тара пластмассовая 1М321.25 – 4.06.

6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.

6.1 Описание рабочего места, оборудования, выполняемых операций.

При изготовлении печатной платы рабочее место представляет собой цех (цеха) с размещенным в нём конвейерами, станками и электрооборудованием.

По изготовленному фотошаблону в плате просверливаются отверстия под радиоэлементы на спец. расточном станке. После очистки и полировки на шлифовальном станке на плату наносят изображения проводников способом сектографии. Затем проявляют рисунок проводников в ванне с раствором хлорного железа с последующим контролем и устранением дефектом с помощью паяльника. После просверливания установочных отверстий на расточном станке печатная плата передаётся на конвейер сборочно-монтажных операций. Устройства, приборы и оборудование, используемые при изготовлении печатных плат в полном объёме приведены в разделе 5. Эскиз производственного участка приведен на рис. 6. 1.

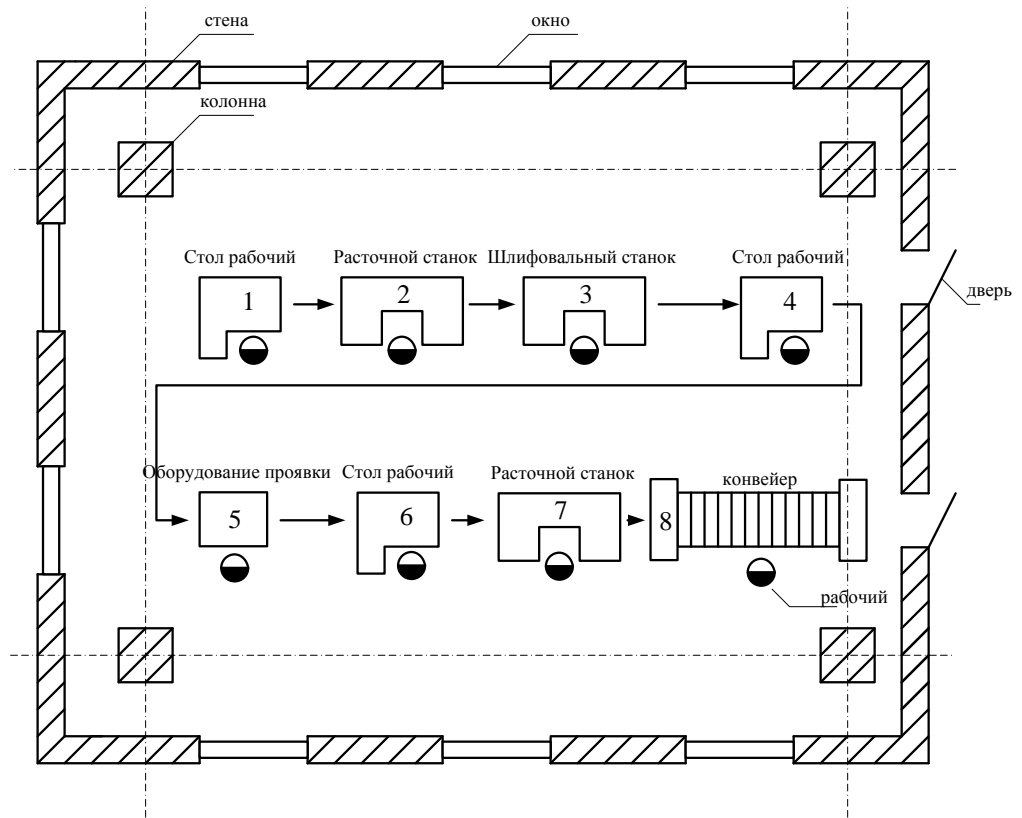


Рисунок 6.1 - Эскиз производственного участка

Таблица 6.1 - Спецификация оборудования, инструментов для производственного участка, рабочего места

№ позиции на эскизе участка, рабочего места	Наименование оборудования, инструмента	Работы, операции, выполняемые на этом оборудовании или этим инструментом
1	Рабочий стол	Изготовление фотошаблона для печатной платы
2	Расточной станок	В печатной плате просверливаются отверстия под радиоэлементы
3	Шлифовальный станок	Очистка и полировка печатной платы
4	Рабочий стол	Нанесение изображения проводников
5	Оборудование проявки	Проявка рисунков проводников
6	Рабочий стол	Контроль и устранение дефектов
7	Расточной станок	Просверливание установочных отверстий
8	Конвейер	Сборочно-монтажные операции

6.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов.

Таблица 6. 2 - Идентификации опасных и вредных производственных факторов

№ операции	Наименование опасного и вредного производственного фактора	Виды работ, технологические операции при которых встречается данный производственный фактор
1	Механические травмы, токсичность	Ламинирование, экспонирование
2	Механические травмы, шум	сверление

3	Механические травмы, шум	Очистка, полировка, шлифовка
4	токсичность	Сектография (нанесение изображения на печатную плату)
5	токсичность	Проявка рисунков проводников
6	токсичность	Контроль и устранение дефектов (используется паяльник)
7	Механические травмы, шум	Сверление установочных отверстий под проводники
8	шум	Сборочно-монтажные операции

6.3 Анализ опасных факторов при изготовлении печатной платы, и мероприятия по созданию безопасных условий труда.

1. Изготовлении печатных плат производится механической обработкой слоистых пластиков (резка, пробивка отверстий). Основными опасными производственными факторами при холодной обработке слоистых пластиков являются механические травмы. К вредным факторам в основном относится выделение пыли при обработке диэлектриков на станках. Во избежание запылённости следует применять у пылящих станков местные отсосы, а помещения оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией.

2. Ухудшение условий труда в механических цехах (участках), обеспечивает шум работающего оборудования. Он является раздражителем, действующим на слуховой аппарат, но так же может вызвать расстройства сердечно-сосудистой и нервной систем. Кроме того, шум это одна из причин быстрого утомления работающих. От постоянного воздействия шума возникает профессиональная болезнь – тугоухость.

Основными методами борьбы с производственным шумом являются:

- а) уменьшение уровня шума производимого оборудованием;
- б) звукопоглощение (минеральный войлок, стекловата, поролон и др.),

- в) звукоизоляция (дерево, пластмасса, металл);
- г) установка глушителей шума;
- г) рациональное размещение оборудования;
- д) применение средств индивидуальной защиты (наушники типа ВЦНИИОТ, «беруши»).

3. Большое значение имеет правильное и достаточное освещение участков и рабочих мест.

Недостаточность освещения приводит к преждевременной усталости, чрезмерное яркое освещение слепит, появляется раздражение и резь в глазах. Направление света на рабочее место не должно создавать резких теней, бликов. Освещение на рабочем месте должно быть таким, чтобы работающий мог без напряжения зрения выполнять свою работу.

4. Применение химических активных веществ. Промывка плат производится в изопропиловом спирте и бензине, смывка цветных меток производится ацетоном. При использовании этих веществ следует быть осторожным, так как эти вещества пожароопасны и вредны для здоровья работающих.

Хранение растворителей в цехах (лабораториях) должно проводиться в специально изготовленных вытяжных шкафах под замком. Не допускается совместное хранение растворителей с хромовым ангидридом, азотной кислотой и другими окислителями, их случайное совмещение приводит к самовозгоранию и взрыву.

Работу с растворителями следует проводить в спецодежде (халат и фартук полиэтиленовый, хлопчатобумажные и резиновые перчатки, резиновые сапоги, очки).

Химическая очистка плат производится смесями из фосфатов (тринатрий-фосфат), натриевой соды, натриевой щелочи и др. При попаданию растворов на кожу возникают хронические заболевания кожи. Опасно попадание любых химикатов в глаза.

При изготовлении печатных плат используются различные виды кислот (серная, соляная, азотная), растворители (хлорное железо, хлорная медь и др.). Могут возникнуть опасные факторы:

- 1) Отравления парами и газами, поражения верхних дыхательных путей и слизистых оболочек глаз.
- 2) Разрушение зубов (особенно при работе с плавиковой кислотой).
- 3) Химические ожоги при попадании кислот на кожу и в глаза.
- 4) Едкие щелочи поражают слизистые оболочки и кожу, вызывая ожоги.

При попадании в воздушную среду производственных помещений вследствие плохой или неисправной вентиляции кислоты и щелочи способны вызвать острые отравления. Для предотвращения этого все работы с агрессивными веществами должны проводиться в вытяжных шкафах с эффективной вытяжной вентиляцией.

Скорость обмена воздуха в рабочих помещениях должны быть достаточными для удаления вредных веществ.

В сложных случаях для предотвращения ожогов при работе с кислотами и щелочами необходимо пользоваться спецодеждой. Для защиты глаз (от брызг, пыли и т.п.) применяются защитные очки.

Для полной защиты и глаз и лица от брызг жидкостей рекомендуется применять наголовный щиток из тонкой листовой фибры, а прозрачный экран – из оргстекла.

Транспортировку кислот лучше всего производить в небьющейся посуде из полиэтилена (бутыли, бидоны).

При ожогах кислотами и щелочами следует как можно быстрее промыть пораженное место струей проточной воды.

Ядовитые вещества могут проникать в организм различными путями:

- 1) с вдыхаемым воздухом через легкие в виде паров, пыли, а также через глаза (хлор, фтор, аммиак и др.);

2) через рот (при еде и курении) в желудочно-кишечный тракт (свинец, ртуть, цианистые соли и др.);

3) через кожу проникают яды, растворяющиеся в жирах или растворяющие жиры (бензол, трихлорэтилен, четыреххлористый углерод).

Проникновение ядов в организм вызывает острые или хронические отравления.

6.4 Обеспечение электробезопасности на производственном участке.

Источниками электрической опасности при изготовлении печатной платы являются:

- 1) токоведущие части электроустановок, устройств и приборов;
- 2) напряжение, появившееся на корпусе электроустановки;
- 3) статическое электричество.

Токпроводящие части установок должны быть закрыты экранами, металлическими сетками или помещены в защитный корпус.

Защитой от напряжений на корпусах электроустановок и электроинструмента является защитное заземление, зануление и защитное отключение.

Электроинструмент при эксплуатации должен быстро включаться и отключаться от электросети, быть безопасным в работе и иметь недоступные для случайного прикосновения токоведущие части.

Статическое электричество опасно потому что величина напряжения высока, однако токи разряда имеют небольшую величину ($10^{-6} - 10^{-8}$ А). Кроме того, появляется опасность возникновения пожара при появлении искр, возникающих при разряде вблизи горючих и взрывчатоопасных смесей.

Надёжный метод снижения опасности при разряде статического электричества является заземление всех металлических частей оборудования.

Защиту от прямых ударов молнии зданий и сооружений выполняют установкой отдельно стоящих молниеотводов. При невозможности установки таковых можно устанавливают изолированные молниеотводы на защищаемом сооружении.

Для защиты опор воздушных линий связи от разрушающих действий молний устраивают стержневые молниеотводы. Для молниезащиты отдельных участков линий связи, зданий радиоузлов и усилительных пунктов устраивают тросовые молниеотводы.

Радиоэлектронная аппаратура защищается от перенапряжений, возникающих при грозовых разрядах, искровыми, газозаполненными или вентильными разрядниками.

6.5 Обеспечение пожаробезопасности на производственном участке.

Для избежания пожароопасных ситуаций необходимо заранее принять соответствующие меры.

При ведении радиомонтажных работ производится пайка, обслуживание горячим припоем, обжигание концов монтажных проводов, применение ЛВЖ (этиловый спирт, скипидар). Следовательно, радиомонтажные участки пожароопасны.

Во избежание пожара электрические паяльники и электрические обжигалки должны эксплуатироваться на специальных термостойких подставках.

Для тушения локальных пожаров применяют ручные огнетушители, а так же переносные противопожарные установки.

Ручные огнетушители это:

пенные,

углекислотные,

углекислотно-бромэтиловые,

порошковые.

Ручные огнетушители обладают следующими достоинствами:

- а) всегда готовы к действию;
- б) просты в использовании;
- в) выбрасывают огнегасительную жидкость или порошок струей.

Применяются так же стационарные передвижные пеногенераторы, которые позволяют непрерывно получать химическую пену.

Для тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также твердых горючих материалов применяются воздушно-пенные огнетушители

Пенные и воздушно-пенные огнетушители и установки нельзя применять для тушения электроустановок, находящихся под напряжением.

Порошковые огнетушители могут быть применены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением.

Углекислотно-бромэтиловые огнетушители применяются для тушения любых загораний.

Возможность быстрой ликвидации возникшего пожара определяется быстротой оповещения о возникновении пожара.

Самым надежным и распространенным видом пожарного извещения система, в состав которой обычно входят:

- пожарные – извещатели, устанавливаемые на объектах и помещениях. Они бывают ручные и автоматические ручные извещатели выполняются в виде кнопок и устанавливаются в коридорах и на лестничных площадках;
- приемной станции, принимающей сигналы от извещателей, и передающей их исполнительным органам;
- проводников или радиоканалов, соединяющих приборы – извещатели с приемной станцией;
- системы электропитания.

Автоматические пожарные извещатели в зависимости от принципа действия подразделяют на дымовые, тепловые и световые.

Во избежание несчастных случаев, травм, пожаров рабочий персонал и руководящий состав, должны быть проинструктированы соответствующими органами о технике безопасности, порядке эвакуации.

6.6 Экологичность технологического процесса, вентиляция.

Основными отходами при изготовлении печатных плат являются отработанные растворители и кислоты, которые после нейтрализации поступают в канализацию.

Во время технологического процесса (промывки плат, пайки радиоэлементов) выделяются ядовитые составы паров и пыли (свинец, пары канифоли, кислот и растворителей).

Защита от вредных газов, паро- и пылевыведений требует установки вытяжной вентиляции для удаления ядовитых веществ. Удаляемые ядовитые газы, пары и пыли атмосферу.

Вентиляцию способом осуществления воздухообмена вентиляцию разделяют на естественную и искусственную (механическую). Выбор типа вентиляции определяется расчётами по специальным методикам.

Естественная вентиляция осуществляется за счёт разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха (тепловой напор) или действия ветра (ветровой напор). Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Недостаток ее в том, что приточный воздух вводится в помещение без очистки и подогрева, а удаляемый также не очищается.

В системах механической вентиляции поток воздуха создается вентиляторами и иногда эжекторами. При механической вентиляции воздух подвергается соответствующей обработке – подогревается или охлаждается и фильтруется. Механическая вентиляция может быть приточной, вытяжной, а также приточно-вытяжной. Используемая в производстве печатных плат приточно-вытяжная система вентиляции подает в помещение очищенный воздух, а загрязнённый перед выбросом наружу очищается. Локальную

вытяжную вентиляцию делают непосредственно в местах образования вредных выделений.

Для очистки от пыли и других аэрозолей применяются: пылесадочные камеры; циклоны (инерционные пылеотделители); масляные, матерчатые и слоистые фильтры; электрические фильтры.

В настоящее время нашли широкое применение в радио- и электронной промышленности фильтры из пенополиуретана и из ткани ФПП. Они устанавливаются в приточных системах вентиляции и при совместном действии высокоэффективны в работе. Для очистки от пыли выбрасываемого воздуха в атмосферу находят практическое применение электроциклоны.

6.7 Безопасность объекта при аварийных и чрезвычайных ситуациях.

Цех располагается на территории завода и подразумевает, что в нем работает и большое количество людей. В связи с этим наиболее вероятными чрезвычайными ситуациями (ЧС) являются: производственные аварии (пожары), стихийные бедствия (землетрясения) с последующим выбросом и разлитием ядовитых и токсичных (легковоспламеняющихся) веществ, угроза террористического акта (взрыва) и угроза захвата заложников.

Основные причины возникновения ЧС: 1) нарушение трудовой и технологической дисциплины на производстве; 2) грубые нарушения требований безопасности; 3) Износ основного технологического оборудования; 4) землетрясение; 5) нанесение ракетнобомбового удара со стороны другого государства, террористов и др.

Прогнозируемые последствия при производственных авариях:

- утечка ядовитых и токсичных (легковоспламеняющихся) веществ (газов);
- рассеивание продуктов горения;
- пожары и взрывы цистерн (ёмкостей) с горючими веществами;
- нагрев и испарение жидкости в бассейнах и ёмкостях;

воздействие на человека продуктов сгорания и иных химических веществ, мгновенное воспламенение жидкости, образование волны пламени на объекте.

Рассмотрим более подробно виды проводимых работ при ЧС.

Спасательные работы включают в себя:

- 1) эвакуация людей;
- 2) поиск пострадавших
- 3) Извлечение людей из-под завалов;
- 4) оказание медпомощи.

При пожарах необходимо:

- 1) ликвидировать очаги пожара и массовые пожары;
- 2) не допустить продвижения пожаров.

Далее необходимо провести восстановительные работы энергосетей и водоснабжения, расчистить пути и дороги от завалов и т.д.

В случае заражения территории при объекте необходимо:

- 1) ликвидировать утечки вредных и ядовитых веществ;
- 2) нейтрализовать ядовитые вещества;
- 3) обеззаразить территорию и технику (лом);
- 4) провести санитарную обработку людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе спроектирован автоматизированный электропривод постоянного тока с подчинённым регулированием координат для подачи стола фрезерного станка.

Для электропривода выбран двигатель постоянного тока с независимым возбуждением П41 мощностью 6 кВт. При его расчете было выяснено, что он обеспечивает требуемые моменты статической нагрузки и удовлетворяет условиям по перегрузочной способности и нагреву.

По расчетным данным электродвигателя выбран и рассчитан комплектный тиристорный преобразователь БТУ 3601–4327Д и соответствующие ему вентили типа Т15-40-9 с максимальной величиной среднего тока в открытом состоянии $I_{oc.c.p.max} = 40$ А. На основании расчётов параметров силового трансформатора, к которому подключается тиристорный преобразователь, выбран трансформатор типа ТТ-11 мощностью 11 кВА.

Разработана структура системы электропривода, в которой основными узлами управления приводом являются регуляторы тока и скорости, СИФУ, преобразователь, тахогенератор. На основании расчета параметров структурной схемы построены математическая модель электропривода и переходные процессы. Выбраны и описаны принципиальные схемы узлов электропривода для диапазона регулирования скорости вращения двигателя 1 : 1000.

В данной работе разработана печатная плата формирователя импульсов. Проверка безопасности и экологичности при изготовлении печатной платы показала, что необходимо учитывать опасные факторы, возникающие при ее изготовлении. Рассмотрены меры по устранению этих факторов, а также рассмотрены противопожарные мероприятия и действия при ЧС. Приведён расчет вентиляции производственного помещения.

Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что показатели работы разработанного электропривода соответствуют показателям современных приводов.

Список используемой литературы

1. Marek, G. Integrated Multimotor Electrical DC Drive for Metallurgical Rolling Table [Text] / J. Kazimierz, J. Andrzej, R. Janusz // Acta Mechanica et Automatica. Vol. 9(2). – 2015. – PP. 93-98. ISSN: 2300-5319
2. Abdelelah, K. M. Real Time Speed Control of DC Motor by Programming the Fuzzy Controller in C Language [Text] / K.M. Abdelelah // Tikrit Journal of Engineering Sciences. Vol. 23(3). – 2016. – PP. 91-95. ISSN: 1813-162X
3. Kovalova, Y.V. Computer Simulation Of Intermittent Current Mode Of DC Electric Drive With Three-Phase Controlled Rectifier [Text] / Y.V. Kovalova // Electrical Engineering & Electromechanics. Vol. 4. – 2018. – PP. 20-23. ISSN: 2309-3404
4. Aktas, M. Comparison of DC link current and stator phase current in inverter switching faults detection of PMSM drives in HEVs [Text] / M. Aktas, H. Aygun // Engineering Science and Technology, an International Journal. Vol. 21(4). – 2018. – PP. 664-671. ISSN: 2215-0986
5. Halvaei Niasar, A. Implementation of a Novel Brushless DC Motor Drive based on One-Cycle Control Strategy [Text] / A. Halvaei Niasar, E. Boloor Kashani // Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. Vol. 10(3). – 2014. – PP. 244-249. ISSN: 2383-3890
6. Wang, S. Design of double DC motor control system based on DSP [Text] / S. Wang, P. Shi, Z. Xu // Journal of Hebei University of Science and Technology. Vol. 38(5). – 2017. – PP. 424-431. ISSN: 1008-1542
7. Tariq, M. Fast response Antiwindup PI speed controller of Brushless DC motor drive: Modeling, simulation and implementation on DSP [Text] / M. Tariq, T.K. Bhattacharya, N. Varshney, D. Rajapan // Journal of Electrical Systems and Information Technology. Vol. 3(1). – 2016. – PP. 1-13. ISSN: 2314-7172
8. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов. / Ю.С. Забродин. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с., ил.
9. Башарин А. В. И др. Управление электроприводами: Учеб. пособие для вузов. – Л.: 1982. – 392 с.

10. Денисов В. А. Управление электроприводами: учебное пособие. – Тольятти: ТолПИ, 1998. – 262 с.
11. Гусев, В.Г. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высш. шк., 1991. – 622 с.: ил.
12. Кучинский, В.Г. Управляемые преобразователи частоты для регулируемых приводов / В.Г. Кучинский, Е.Н. Попков, В.М. Чайка // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - 2013. - № 5. - С. 67-72.
Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе: Учебник для вузов. – М.: 1977. – 431 с
13. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк : пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008.
14. Семенов, Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. // Семенов, Б.Ю. – Москва.: СОЛОН-Р, 2001. – 417 с.
15. Мелешин, В.И. Транзисторная преобразовательная техника. // Мелешин, В.И. – Москва : Техносфера, 2005. – 632 с.
16. Водовозов А. М. Основы электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. М. Водовозов. - Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 130 с. : ил. - ISBN 978-5-9729-0137-1.
17. Александров А.А. Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г.- М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.
18. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
19. Миленина С. А. Электротехника, электроника и схемотехника : учеб. и практикум для акад. бакалавриата / С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. - Гриф УМО. - Москва : Юрайт, 2016. - 398, [1] с. : ил. - (Бакалавр. Академический курс). - Библиогр.: с. 3398-399. - ISBN 978-5-9916-7353-2 (ч. 1). - ISBN 978-5-9916-7354-9 : 952-15.5.

20. Воробьев, Н.И. Проектирование электронных устройств : учеб. Пособие / Н.И. Воробьев. - М. : Высш. шк., 1989. - 223 с.
21. Ключев В. И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 560 с., ил.
22. Интернет магазин электронных компонентов «Импульс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.impulsi.ru>
23. Компания ЭТМ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.etm.ru>