

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 2021 г.

Модернизация электропривода продольно-строгально-фрезерного станка

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2021.697.00.000ПЗ ВКР

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 2021г.

Руководитель работы,
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 2021г.

Автор работы
Студент группы ДО – 481
_____ Д.Ю. Рожков
_____ 2021г.

Челябинск,
2021

АННОТАЦИЯ

Рожков Д.Ю. Модернизация электропривода продольно-строгально-фрезерного станка – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2021, 50 с., 9 ил., библиографический список – 10 наименования, 9 листов чертежей ф.А2.

Создание высокопроизводительных машин и агрегатов как технической основы повышения эффективности и интенсификации производства во многом зависит от технического уровня развития автоматизированного электропривода. Модернизируем электропривод главного движения продольно-строгально-фрезерного станка 7216Г, повысим надёжность и производительность.

В данном проекте приводится расчет электропривода механизма перемещения стола продольно-строгально-фрезерного станка 7216Г и системы автоматического управления перемещением стола.

В пояснительной записке приводится описание технологического процесса, выбор двигателя и расчет нагрузочной диаграммы, выбор преобразователя, разработка и расчет системы автоматического регулирования, моделирование двукратно интегрирующей САР скорости, разработка схемы автоматического управления механизма движения стола продольно-строгально-фрезерного станка 7216Г.

13.03.02.2021.697.00.000 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Рожков Д.Ю.			Модернизация электропривода продольно-строгально-фрезерного станка	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Виноградов К.М.				Д	2	54
Реценз.						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ТТС» гр.ДО-481		
Н. Контр.		Микерина О.С.						
Утверд.		Виноградов К.М.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Описание технологического процесса.....	5
1.1 Описание механизмов, рабочих органов, кинематическая схема.....	5
1.2 Исходные данные для проектирования.....	14
2 Расчет мощности электродвигателя.....	15
2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа...	15
2.2 Предварительный расчет мощности электродвигателя.....	16
2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора.....	22
2.4 Приведение статических моментов и моментов инерции.....	24
2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности.....	26
3 Выбор основных элементов силовой цепи.....	28
3.1 Выбор преобразователя.....	28
3.2 Выбор коммутационных аппаратов.....	30
3.3 Шкаф управления электроприводом.....	31
4 Расчет статических характеристик электропривода.....	33
5 Расчет переходных процессов электропривода.....	35
6 Интегральные показатели переходных процессов.....	38
6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву.....	38
6.2 Проверка на перегрузочную способность.....	39
7 Автоматизация электропривода.....	40
7.1 Выбор ПЛК.....	40
7.2 Логические уравнения.....	41
7.3 Программирование ПЛК.....	46
8 Разработка электрической принципиальной схемы электропривода.....	47
9 Разработка функциональной схемы автоматизации электропривода.....	48
Заключение.....	49
Библиографический список.....	50

Име. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Име. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

В головках установлены независимые механизмы вращения фрез, которые являются основным движением во время фрезерования.

Произведение управления основным движением стола в большей части производится с помощью пульта и механизма для установки длины хода стола, расположенного на коробке передач. Кроме того на фрезерных головках, имеются специальные рукоятки для произведения перемещения пиноли, переключатели зажима пиноли, рукоятки переключения передач.

Управление основным движением стола, в основном осуществляется с помощью подвесного пульта дистанционного управления и механизмом установки длины хода стола, который находится на коробке передач. Кроме того, фрезерная головка имеет ручку для перемещения пиноля, переключатель зажимов пиноля, ручку рукоятки скоростей.

Данный станок включается в электросеть с помощью переключателя, расположенного на строгальной станции управления.

Также на фрезерной станции управления располагаются переключатели направлений вращения шпинделей фрезерных головок.

Помимо непосредственного электрического привода основного движения строгального режима данный станок обеспечивается другими электроприводами: электродвигателем подачи суппортов, электродвигателем главного движения фрезерного режима (вращение фрез), электродвигателем подачи стола во фрезерном режиме, электродвигателем подачи фрезерных головок, электродвигателем перемещения поперечины, электродвигателем зажима поперечины, электродвигателем маслонасоса, электродвигателем генератора с электромашинным усилителем привода стола строгального режима, электродвигателем возбуждителя, электродвигателем гидронасоса.

Технологический процесс, описание.

Продольно-строгально-фрезерный станок 7216Г предусмотрен для обработки фрезерованием или строганием разных поверхностей корпусов и основных материалов из чугуна в условиях мелкосерийного и единичного производства. Также этот станок является двухстоечным, который предусмотрен, чтобы обрабатывать наиболее крупные изделия.

Основная часть станка – станина, станину располагают на фундаменте, а на ней располагают все элементы станка. Механическое движение передаётся через червячную передачу и редуктор от двигателя. Заготовку для обработки крепят к столу и закрепляют болтами. В процессе рабочего (прямого хода) резец производит снятие стружки. В конце обработки станок останавливается, резец возвращается в исходное положение, траверса опускается на глубину резки. Цикл повторяется.

Главное движение – движение, в котором снимается стружка.

Главный привод – привод, производящий главное движение, описанное выше.

Движение, в котором удаляется стружка, имеет название основное (главное) движение, а привод, производящий это движение - главным приводом.

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Подп. и дата
Име. инв. №	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Лист
6

Червячная передача передаёт механическое движение для рейки, которая установлена на низкой поверхности стола. Червячная передача является самотормозящей и у неё высокая плавность и жёсткость.

Передвижение рейки, приделанной к нижней стороне стола, передается от червяка. Эта передача имеет высокую плавность и жесткость и имеет свойство самоторможения.

Скорость резания продольного строгального фрезерного станка является 4-40м/мин. Она находится в диапазоне. Для черновой отделки и твердых материалов используют низкие передачи. Высокие передачи обработки выбираются при чистовой обработке.

У обратного хода выше скорость, чем у прямого хода, потому что у обратного хода нет технологических ограничений. Увеличение обратной скорости повышает производительность.

Кинематическая схема главного привода показана на рисунке 1.2:

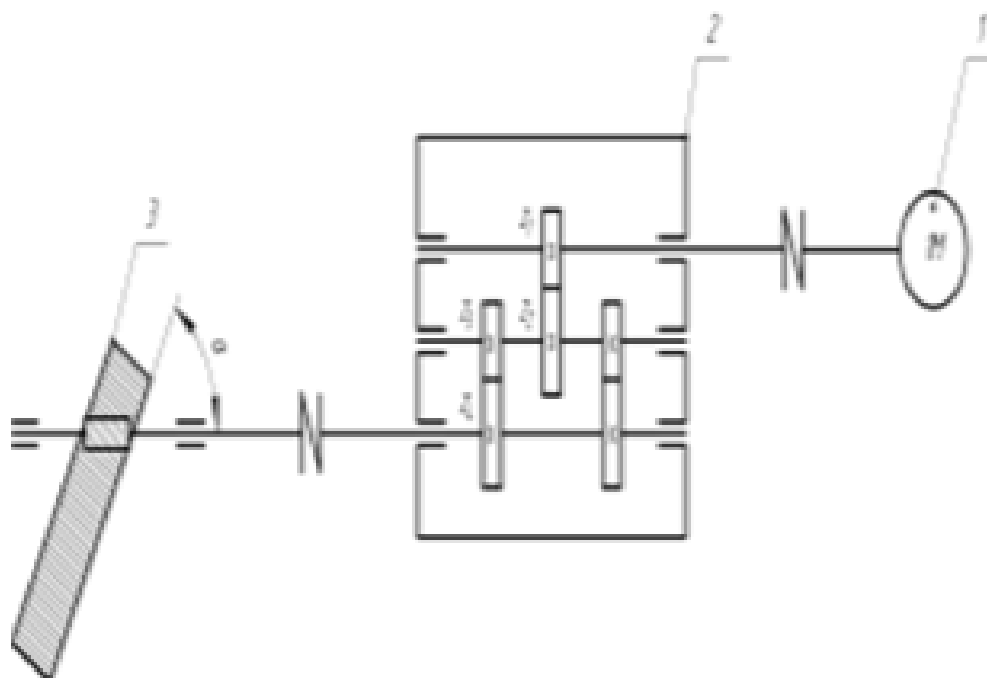


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема главного привода

1 – Двигатель главного движения; 2 – Редуктор; 3 – Червячная передача.

Диаграмма механизма скорости стола в промежутках времени изображён на рисунке 1.3.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

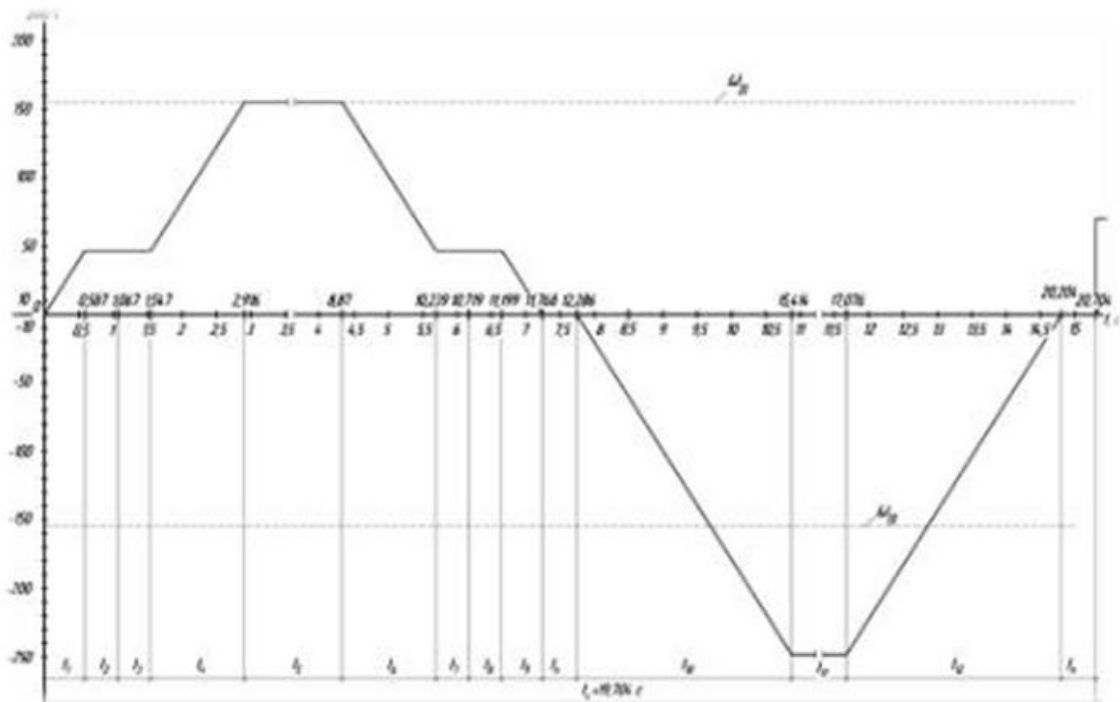


Рисунок 1.3 – Тахограмма электропривода, график изменения скорости стола в функции времени

На данном графике опишем участки t . t_1 – стол разгоняется до скорости врезания $V_{\text{врез}}$. t_2, t_3 – стол производит движение скоростью $V_{\text{врез}}$. t_4 – идёт разгон до заданной скорости резания. t_5 – идёт резание на неизменной скорости. t_6 – идёт падение скорости до $V_{\text{вых}}$, чтобы из заготовки вышел резец. t_7, t_8 – идет работа на скорости $V_{\text{вых}}$. t_9 – идёт торможение до нуля. t_{10} – идёт разгон до скорости обратного хода. t_{11} стол движется с неизменной скоростью $V_{\text{обр}}$ в обратном направлении. t_{12} – идёт торможение до нуля.

Описание характеристик электродвигателей механизмов

Электродвигатель основного (главного) движения строгального режима.

Возвратно-поступательное движение стола с закреплённой деталью производит механизм главного движения с включённым режимом строгания. Непосредственно с помощью реверсивного электропривода по системе «генератор-двигатель». Производится питание обмотки возбуждения генератора непосредственно от электромашинного усилителя.

С помощью непосредственного регулирования тока в обмотках управления электромашинного усилителя можно регулировать скорость привода стола от 125 до 1500 об/мин.

Фрезерной режим электропривода подач стола.

Привод подачи стола производится от электродвигателя постоянного тока, питающего от тиристорного преобразователя ПТЗР.

Скорость вращения электродвигателя во время подачи стола предусматривает регулирование от 37 до 1500 об/мин с помощью изменения подводимого к якорю

Име. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Име. № дубл
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

2. Контроль поступления масла на направляющие станины с помощью реле давления, после срабатывания которого возможна работа привода стола.

2. Когда срабатывает реле давления, которого возможна работа главного привода стола, контролируется давления масла.

Электропривод генератора, а также электромашинного усилителя эл.привода стола в режиме строгания.

Данный привод генератора и также рассматриваемого электромашинного усилителя строгального режима делаются короткозамкнутым АД переменного тока. Генератор, двигатель и электромашинный усилитель находятся на одной плите.

Электропривод передвижения поперечины.

Данный привод передвижения поперечины производится короткозамкнутым АД переменного тока.

Данная схема электропривода предполагает:

1. С помощью пульта управления кнопками: регулирование в обе стороны пуском и остановкой электропривода.

2. Возможность ограничения хода поперечины вверх и вниз с помощью конечных выключателей, которые нужны также для защиты.

Электропривод зажима поперечины

Данный привод зажима поперечины осуществляется короткозамкнутым асинхронным электродвигателем переменного тока.

Данная схема электропривода предполагает:

1. Кнопками управления команд перемещения поперечены включается электродвигатель на отжим.

2. После окончания процесса отжима отключается этот двигатель автоматически.

3. Если кнопки управления перемещением поперечины отпускаются, то включается двигатель на зажим автоматически.

4. По окончании процесса зажима, двигатель также автоматически отключается.

Электропривод возбuditеля

Включается в работу с помощью короткозамкнутого АД перем. тока, чтобы обеспечить питание обмоток возбуждения машин постоянного тока Генератор постоянного тока, а также цепей управления - возбuditель. Образуют двухмашинный агрегат: двигатель с генератором находятся на одной плите.

Электрический привод гидронасоса.

Данный привод гидронасоса осуществляется короткозамкнутым АД тока переменного.

Схема рассматриваемая эл.привода предполагает:

1. При включении преобразовательных агрегатов автоматически включает в работу электродвигатель

2. Контроль за давлением, находящийся в гидравлической системе рассматриваемого станка.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

Характеристика электроприводов механизмов станка

Таблица 1.1 – Основные паспортные данные станка

Паспортные данные станка	Значение	Ед.изм.
Габариты станка:		
длина	14000	мм
ширина	5440	мм
высота	4350	мм
Масса станка:	55000	кг
<u>Изделие.</u>		
Размеры обрабатываемого изделия (наибольшие):		
ширина	1600	мм
высота		
а). для строгального режима	1400	мм
б). для фрезерного режима	1350	мм
Допустимая масса изделия на 1 м длины стола:	2000	кг
Допустимая масса изделия:	12000	кг
<u>Стол.</u>		
Расстояние между поверхностью стола и поперечиной (наибольшее):	1420	мм
Размеры рабочей поверхности стола:		
длина	6000	мм
ширина	1400	мм
Длина хода стола (допускаемая):		
наибольшая	6200	мм
наименьшая	1200	мм
Масса стола:	10000	кг

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Продолжение таблицы 1.1

Паспортные данные станка	Значение	Ед.изм.
<u>Поперечина.</u>		
Наибольшее перемещение:	1200	мм
Время автоматического зажима:	5	с
<u>Суппорты.</u>		
Количество суппортов:		
на поперечине	2	шт.
на боковой стойке	1	шт.
Наибольшая длина горизонтального перемещения суппортов по поперечине:	2320	мм
Наибольшая длина вертикального перемещения бокового суппорта:	1355	мм
Наибольшая допускаяемая длина перемещений ползунов:	300	мм
Перемещение на 1 оборот маховичка (рукоятки):		
горизонтального суппорта	12	мм
бокового суппорта	6	мм
Цена деления лимба на рукоятке:		
горизонтального перемещения суппорта	0,25	мм
вертикального перемещения суппорта	0,125	мм
Наибольший угол поворота:	60	град.
Цена деления шкалы поворота:	1	град.
<u>Фрезерные головки.</u>		
Количество фрезерных головок:		
на поперечине	1	шт.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Име. № дубл	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Продолжение таблицы 1.1

Паспортные данные станка	Значение	Ед.изм.
на стойке	1	шт.
Наибольшая длина горизонтального перемещения фрезерной головки по поперечине:	2320	мм
Наибольшее перемещение гильз шпинделей:	200	мм
Перемещение гильз шпинделей на 1 оборот маховичка (рукоятки):	2	мм
Цена деления лимба перемещений гильз:	0,025	мм
Номер конического отверстия на конце шпинделя по ГОСТ 836–72	50	
Наибольшее расстояние от зеркала стола до торца шпинделя вертикальной фрезерной головки:	1400	мм
Перемещение горизонтальной фрезерной головки при повороте винта перемещений на 1 оборот:	2	мм
Наибольший угол поворота фрезерной головки:	30	град.
Цена деления шкалы поворота фрезерной головки:	1	град.
<u>Механика станка.</u>		
Наибольшая тяговая сила на рейке стола:	100000	Н
Пределы скоростей рабочего и обратного хода стола:	4,0...80	м/мин
Тип регулирования скоростей стола:	бесступенчатое	
Пределы подач суппортов:		
горизонтальных	0,5...25	мм
вертикальных	0,25...12,5	мм
Пределы подач фрезерных головок:		
Регулирование подач суппортов:	ступенчатое	
Регулирование подач фрезерных головок:	бесступенчатое	

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ине. № дубл	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Лист
13

Окончание таблицы 1.1

Паспортные данные станка	Значение	Ед.изм.
Шаг ступени подачи суппортов поперечины:	0,5	мм
Шаг ступени подачи бокового суппорта:	0,25	
Скорость установочных перемещений суппортов:		
горизонтального	1,47	м/мин
вертикального	0,735	м/мин
Скорость быстрого установочного перемещения фрезерных головок	1,5	м/мин
Скорость установочного перемещения поперечины:	0,433	м/мин

1.2 Исходные данные для проектирования

Таблица 1.2 Исходные данные для проектирования

Исходные данные	Условные обозначения	Значение
Наибольшая сила резания (сила сопротивления), Н	F_T	80000
Наибольшая скорость рабочего хода, м/мин	$V_{ПР.МАХ}$	50
Скорость обратного хода, м/мин	$V_{ОБР}$	80
Масса стола, кг	$m_{ст}$	10000
Масса изделия, кг	$m_{изд}$	12000
Наибольшая длина изделия, м	L_d	6
Число зубьев ведущих шестеренок	z_1, z_3	10
Число зубьев ведомой шестеренки	z_2	62
Число зубьев ведомой шестеренки	z_4	57
Число заходов червяка	z	10
Модуль червячной передачи	m	38,2
Угол между осью червяка и направлением движения стола, °	β	30
Угол подъема винтовой линии червяка, °	ν	15
Коэффициент трения стола о направляющие	μ	0,052
КПД редуктора	$\eta_{ред}$	0,9
КПД червячной пары	$\eta_{черв}$	0,8

Ине. № подл.	Подп. и дата	Ине. № дубл	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Лист
14

2. Расчет мощности электродвигателя

Требование для электродвигателя. Проектом предполагается замена устаревшей физически и морально системы генератор-двигатель привода механизма основного движения стола на другую систему преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Из-за этого производство работы следующих перечисленных электроприводов данного станка исключается из-за ненужности:

- электромашинный усилитель привода основного движения;
- электропривод генератора привода основного движения;
- электропривод подачи стола во фрезерном режиме;
- генератор постоянного тока – возбудитель;
- электропривод возбудителя.

Перечисление требования к электроприводу основного движения станка 7216Г:

1. Режим работы: передвигающийся с частыми реверсами.
2. Установка предела скоростей рабочего хода 50 м/мин и обратного хода стола 80 м/мин.
3. Должен быть реверсивным электропривод.
4. Сделать максимальное время производство выполнения цикла.

2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа

Суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + (m_{\text{ст}} + m_{\text{изд}}) \times p^2, \quad (2.1)$$

где $m_{\text{изд}}$ – масса изделия, кг;

$m_{\text{ст}}$ – масса стола, кг;

$J_{\text{д}}$ – момент инерции двигателя, $\text{кг} \times \text{м}^2$;

p – радиус приведения, м.

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + (m_{\text{ст}} + m_{\text{изд}}) \times p^2 = 2,3 + (10000 + 12000) \times 5,376 \times 10^{-3} = 3,281 \text{ кг} \times \text{м}^2$$

Усилие, необходимое для передвижения стола в режиме холостого хода:

$$F_{\text{хх}} = \mu \times (m_{\text{изд}} + m_{\text{ст}}) \times g, \quad (2.2)$$

где μ – коэффициент трения стола о направляющие;

$m_{\text{изд}}$ – масса изделия, кг;

$m_{\text{ст}}$ – масса стола, кг;

g – ускорение свободного падения.

$$F_{\text{хх}} = \mu \times (m_{\text{изд}} + m_{\text{ст}}) \times g = 0,052 \times (12000 + 10000) \times 9,8 = 1,294 \times 10^4 \text{ Н}$$

Момент сопротивления при строгании заготовки:

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ине. № дубл	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ	Лист
											15

Участок 3. Движение на установившейся скорости после врезания резца до разгона.

Время движения:

$$t_3 = t_2 \quad (2.13)$$

$$t_3 = t_2 = 0,48 \text{ с}$$

Момент, развиваемый двигателем:

$$M_2 = M_c \quad (2.14)$$

$$M_2 = M_c = 597,372 \text{ Нм}$$

Участок 4. Разгон при резе металла до скорости резания ($V_{рез}$).

Угловая скорость:

$$\omega_{рез} = \frac{V_{рез}}{\rho} \quad (2.15)$$

$$\omega_{рез} = \frac{V_{рез}}{\rho} = \frac{0,833}{5,376 \times 10^{-3}} = 155 \text{ рад/с}$$

Время разгона:

$$t_4 = \frac{\omega_{рез} - \omega_{врез}}{\varepsilon_{доп}} \quad (2.16)$$

$$t_4 = \frac{\omega_{рез} - \omega_{врез}}{\varepsilon_{доп}} = \frac{155 - 46,5}{79,282} = 1,369 \text{ с}$$

Момент, развиваемый двигателем:

$$M_4 = M_{пуск} \quad (2.17)$$

$$M_4 = M_{пуск} = 857,488 \text{ Нм}$$

Путь, пройденный столом:

$$S_4 = \frac{\varepsilon_{доп} \times \rho \times t_4^2}{2} \quad (2.18)$$

$$S_4 = \frac{\varepsilon_{доп} \times \rho \times t_4^2}{2} = \frac{79,282 \times 5,376 \times 10^{-3} \times 1,369^2}{2} = 0,399 \text{ м}$$

Участок 5. Рабочее движение на скорости $V_{рез}$.

Путь, пройденный столом:

$$S_5 = l - S_3 - S_4 - S_6 - S_7 \quad (2.19)$$

Име. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Име. № дубл	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ	Лист
											18

$$t_8 = t_7 \quad (2.27)$$

$$t_8 = t_7 = 0,48 \text{ с}$$

Момент, развиваемый двигателем:

$$M_8 = M_{xx} \quad (2.28)$$

$$M_8 = M_{xx} = 96,595 \text{ Нм}$$

Участок 9. Торможение на холостом ходу до нулевой скорости.

Время торможения:

$$t_9 = t_1 \quad (2.29)$$

$$t_9 = t_1 = 0,587 \text{ с}$$

Момент, развиваемый двигателем:

$$M_9 = -J_{\Sigma} \varepsilon_{\text{доп}} + M_{xx} \quad (2.30)$$

$$M_9 = -J_{\Sigma} \varepsilon_{\text{доп}} + M_{xx} = -3,281 \times 79,282 + 96,595 = -163,521 \text{ Нм}$$

Путь, пройденный столом:

$$S_9 = S_1 \quad (2.31)$$

$$S_9 = S_1 = 0,073 \text{ м}$$

Рассчитаем участки обратного хода:

Участок 10. Разгон на холостом ходу до скорости обратного хода ($V_{\text{обр}}$)

Угловая скорость:

$$\omega_{\text{обр}} = \frac{V_{\text{обр}}}{\rho} \quad (2.32)$$

$$\omega_{\text{обр}} = \frac{V_{\text{обр}}}{\rho} = \frac{1,33}{5,376 \times 10^{-3}} = 248 \text{ рад/с}$$

Время разгона:

$$t_{10} = \frac{\omega_{\text{обр}}}{\varepsilon_{\text{доп}}} \quad (2.33)$$

$$t_{10} = \frac{\omega_{\text{обр}}}{\varepsilon_{\text{доп}}} = \frac{248}{79,282} = 3,128 \text{ с}$$

Момент, развиваемый двигателем:

Име. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Име. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

$$6+0,073+0,12+0,12+0,073-2,085-2,085 = 2,216 \text{ м}$$

Время движения:

$$t_{11} = \frac{S_{11}}{V_{обп}} \quad (2.42)$$

$$t_{11} = \frac{S_{11}}{V_{обп}} = \frac{2,216}{1,33} = 1,662 \text{ с}$$

Момент, развиваемый двигателем:

$$M_{11} = -M_{xx} \quad (2.43)$$

$$M_{11} = -M_{xx} = -96,595 \text{ Нм}$$

Фиктивный момент для этого участка:

$$M_{11\phi} = M_{11} \times \frac{\omega}{\omega_N} \quad (2.44)$$

$$M_{11\phi} = M_{11} \times \frac{\omega}{\omega_N} = -96,595 \times \frac{248}{153,938} = -155,618 \text{ Нм}$$

2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора

Найдем передаточное число редуктора.

$$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_4}{z_3}, \quad (2.45)$$

где z_2, z_4 – число зубьев ведомых шестеренок;

z_1, z_3 – число зубьев ведущих шестеренок.

$$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_4}{z_3} = \frac{62}{10} \times \frac{57}{10} = 35,34$$

Радиус приведения равен:

$$\rho = \frac{z \times m \times 10^{-3} \times \cos(\beta)}{2 \times i \times \cos(\alpha - \beta)}, \quad (2.46)$$

где z – число заходов червяка;

m – модуль червячной передачи, мм;

β – угол между осью червяка и направлением движения стола;

α – угол подъема винтовой линии червяка.

$$\rho = \frac{z \times m \times 10^{-3} \times \cos(\beta)}{2 \times i \times \cos(\alpha - \beta)} = \frac{10 \times 38,2 \times 10^{-3} \times \cos(15)}{2 \times 35,34 \times \cos(30 - 15)} = 5,376 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Сила трения стола с изделием о направляющие:

Име. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Име. № дубл	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ	Лист
											22

$$F_{\text{ТР}} = \mu \times (m_{\text{изд}} + m_{\text{ст}}) \times g, \quad (2.47)$$

где μ – коэффициент трения стола о направляющие;

$m_{\text{изд}}$ – масса изделия, кг;

$m_{\text{ст}}$ – масса стола, кг.

$$0,052 \times (12000 + 10000) \times 9,8 = 1,294 \times 10^4 \text{ Н}$$

Сделаем предварительный расчет мощности двигателя, имея из наибольшей силы резания и максимальной рабочей скорости:

$$P_{\text{Д}} = \frac{(F_{\text{T}} + F_{\text{ТР}}) \times V_{\text{ПР.МАХ}}}{60 \times 10^3 \times \eta_{\Sigma}}, \quad (2.48)$$

где $V_{\text{ПР.МАХ}}$ – максимальная скорость прямого хода;

$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{черв}} \times \eta_{\text{ред}} = 0,75 \times 0,96 = 0,72$ – суммарный КПД механической передачи;

$\eta_{\text{черв}}$ – КПД червячной передачи;

$\eta_{\text{ред}}$ – КПД редуктора.

$$P_{\text{Д}} = \frac{(F_{\text{T}} + F_{\text{ТР}}) \times V_{\text{ПР.МАХ}}}{60 \times 10^3 \times \eta_{\Sigma}} = \frac{(80 \times 10^3 + 1,294 \times 10^4) \times 50}{60 \times 10^3 \times 0,72} = 107,56 \text{ кВт}$$

Основываясь на предварительных расчётах, выберем асинхронный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором 4А280S4У3, серия 4А, высота оси вращения 280 мм, 4 полюса, IP55, класс изоляции F со следующими номинальными данными:

$P_{\text{N}} = 110 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{\text{N}} = 380 \text{ В}$ – номинальное напряжение двигателя;

$I_{\text{N}} = 198 \text{ А}$ – номинальный ток двигателя;

$\eta_{\text{N}} = 0,941$ – номинальный КПД двигателя;

$n_{\text{N}} = 1470 \text{ об/мин}$ – номинальная скорость;

$J_{\text{Д}} = 2,3 \text{ кг} \times \text{м}^2$ – момент инерции двигателя;

$S_{\text{N}} = 0,023$ – номинальное скольжение;

$S_{\text{К}} = 0,085$ – критическое скольжение;

$m = 655 \text{ кг}$ – масса двигателя;

$\cos \varphi = 0,9$ – косинус угла между векторами тока и напряжения;

$\frac{I_{\text{n}}}{I_{\text{N}}} = 6$ – отношение пускового тока к номинальному;

$\frac{M_{\text{n}}}{M_{\text{N}}} = 1,2$ – отношение пускового момента к номинальному;

$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{N}}} = 2,0$ – перегрузочная способность двигателя.

Номинальная угловая скорость двигателя:

$$\omega_{\text{N}} = \frac{\pi \times n_{\text{N}}}{30} \quad (2.49)$$

Име. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Име. № дубл	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ	Лист
											23

Таким способом, приведенные статические моменты системы электропривод – рабочая машина производят расчёт на каждый участок, учитывая режим работы электропривода по формуле:

$$M_C = M_{BC} \pm \Delta M_X \quad (2.55)$$

Так же в статическом моменте следует учесть не только сопротивления движению в рабочей машине, а также и потери в редукторе, и механические потери в двигателе.

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции системы рассчитывается по соотношению:

$$J = \delta J_D + J_{пр}, \quad (2.56)$$

где J_D – момент инерции ротора двигателя;

δ – коэффициент, который учитывает момент инерции остальных элементов электропривода: муфт, тормозного шкива, редуктора и др.;

$J_{пр} = J_{ро}/J_P^2$ – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции передвигающихся исполнительных органов рабочей машины и загрпленнных с ними движущихся масс (грузов, заготовок и т.п.).

Коэффициент $\delta = 1,3 \dots 1,5$.

Приведенную к валу двигателя жесткость упругой механической связи СПР рассчитывают через значение крутильной жесткости рабочего вала (упругой муфты) по формуле:

$$C_{пр} = \frac{C_K}{j_p^2} \quad (2.57)$$

через значение линейной жесткости – по формуле:

$$C_{пр} = C_L \frac{D^2}{4j_p^2} \quad (2.58)$$

Далее завершается подготовка данных к следующим расчетам электропривода. Соответственно для каждого участка работы электропривода запишем значения установившейся скорости двигателя:

$$\omega_C = \frac{2v_O}{D} j_P \quad (2.59)$$

приведенного статического момента M_C , суммарного приведенного момента инерции системы J :

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	

$$M_{дин} = J \times \frac{2a_{дон} \times j_p}{D} \quad (2.60)$$

$$M_n = M_C + M_{дин} \quad (2.61)$$

$$|M_m| = |M_{дин}| - M_C \quad (2.62)$$

2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

В данном двигателе учитывать уменьшение теплоотода не нужно, так как работает принудительное охлаждение от внешнего вентилятора, как рассчитывают у двигателей с самовентиляцией.

Выполняем методом эквивалентного момента:

$$M_э = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i^2 \times t_i)}{\sum_{i=1}^n (\beta_i^2 \times t_i)}} \leq M_H \quad (2.62)$$

$$M_э = \sqrt{\frac{M_1^2 \times t_1 + M_2^2 \times t_2 + M_3^2 \times t_3 + M_4^2 \times t_4 + M_5^2 \times t_5 + M_6^2 \times t_6 + M_7^2 \times t_7 + M_8^2 \times t_8 + M_9^2 \times t_9 + M_{10}^2 \times t_{10} + M_{11}^2 \times t_{11} + M_{12}^2 \times t_{12} + \beta_1^2 \times t_1 + \beta_2^2 \times t_2 + \beta_3^2 \times t_3 + \beta_4^2 \times t_4 + \beta_5^2 \times t_5 + \beta_6^2 \times t_6 + \beta_7^2 \times t_7 + \beta_8^2 \times t_8 + \beta_9^2 \times t_9 + \beta_{10}^2 \times t_{10} + \beta_{11}^2 \times t_{11} + \beta_{12}^2 \times t_{12}}{1 \times 0,587 + 1 \times 0,48 + 1 \times 0,48 + 1 \times 1,369 + 1 \times 5,945 + 597,372^2 \times 5,945 + 337,3^2 \times 1,369 + 597,372^2 \times 0,48 + 96,595^2 \times 0,48 + 1 \times 1,369 + 1 \times 0,48 + 1 \times 0,48 + 1 \times 0,587 + 1 \times 3,128 + 1 \times 1,662 + (-163,5)^2 \times 0,587 + (-574,7)^2 \times 3,128 + (-156,6)^2 \times 1,662 + 263,4^2 \times 3,128 + 1 \times 3,128}}$$

$$M_э = 498,43 \text{ А}$$

Для расчёта этим методом достаточно знать $M = f(t)$.

Но нагрузочную диаграмму $M = f(t)$ без предварительно выбранного двигателя рассчитать не будет возможности, так как $M = M_C + M_{дин}$.

Нагрузочную диаграмму $M(t)$ можно получить, если:

- постоянна скорость $\omega = \text{const}$, то $d\omega / dt = 0$, $M_{дин} = 0$, тогда $M(t) = M_C(t)$;
- $J_{РО} > J_{ДВ}$ – момент инерции двигателя значительно меньше чем приведенный к валу момент инерции рабочего органа.

Тахограмма и нагрузочная диаграмма изображены на рисунке 2.2.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Ине. инв. №

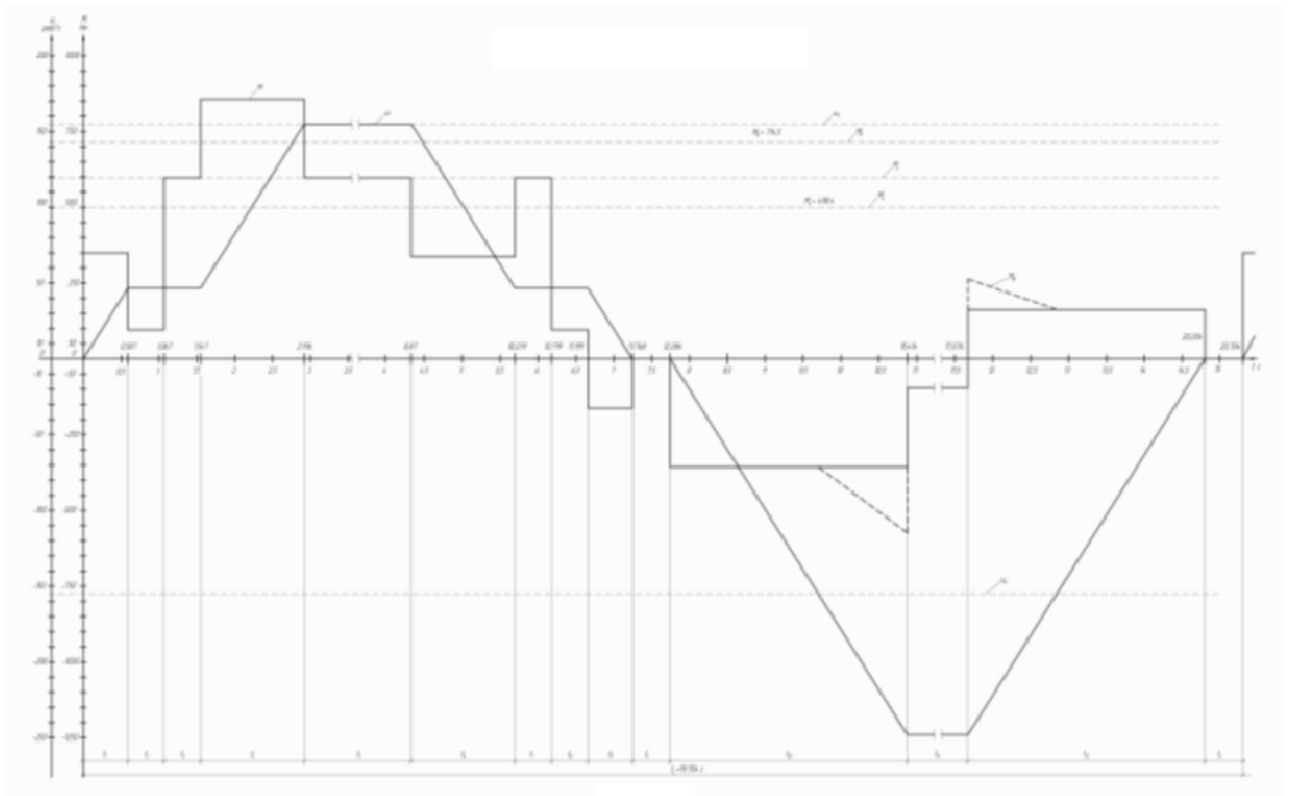


Рисунок 2.2 – Тахограмма и нагрузочная диаграмма

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ине. № дубл	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Лист

27

– потери фазы для трехфазного питания.

$$\frac{I_{max}}{I_N} = \frac{M_4}{M_N} \quad (3.1)$$

$$\frac{I_{max}}{I_N} = \frac{M_4}{M_N} = \frac{857,48}{714,573} = 1,2$$

$$I_{max} = 1,2 \times I_N = 1,2 \times 198 = 237,6 \text{ A}$$

$$I_{max \text{ пр}} = 1,7 \times I_{N \text{ пр}} = 1,7 \times 215 = 365,5 \text{ A}$$

$$237,6 < 365,5$$

$$I_{max} < I_{max \text{ пр}}$$

Применяем оптические датчики скорости с установленной интерфейсной картой для производства обратной связи по скорости.

Производить работу режим FVC, привода с алгоритмом векторного управления потоком с датчиком обратной связи будет данная интерфейсная карта фотоимпульсного датчика, позволяющая получать оптимальные характеристики вне зависимости от момента нагрузки на валу двигателя:

- момент при неподвижном двигателе;
- стабилизация скорости;
- точное поддержание момента;
- уменьшение времени реакции при набросе момента;
- улучшение динамических характеристик в переходных режимах.

С помощью интерфейсная карта импульсного датчика улучшается статическая точность системы регулирования скорости при использовании других законов управления (векторное управление по напряжению, скалярное управление U/f).

А также для обеспечения безопасности механизмов путем контроля служит данная интерфейсная карта импульсного датчика

- превышения заданной скорости;
- вращения в обратном направлении.

Чтобы синхронизировать скорости нескольких приводов применяется заданием управляющего сигнала на ПЧ с выхода датчика – интерфейсная карта импульсного датчика

Карта устанавливается в специальное для неё место в преобразователе частоты Altivar 71.

3.2 Выбор коммутационных аппаратов

Коммутационные аппараты имеют широкий выбор спектра электрооборудования, этими аппаратами происходит включение-отключение основных токовых цепей, а также и цепей управления.

Применений различных реле, как с выдержкой времени, так и реле мгновенного действия на размыкание и замыкание контактов, кнопки и ключи (переключатели) управления и прочее, применяется для коммутации цепей управления.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Име. № дубл	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ	Лист
											30

Чтобы коммутировать основные токовые цепи вместе с автоматическими выключателями применяют: переключатели, рубильники, магнитные пускатели, контакторы, и т.п.

Применяются разные реле, как реле с выдержкой времени, так и реле с мгновенного действия на замыкание и размыкание контактов, кнопки и ключи управления и прочее для коммутации цепей управления.

Аппаратура предназначена для коммутации цепи управления, она может содержать аппарат: например световые индикаторы для цепи управления и связанные с ним устройства.

Коммутационный элемент бывает контактным или полупроводниковым.

Предназначенный для цепей управления аппарат может содержать механизм передачи усилия переключения и один или несколько коммутационных аппаратов.

Чтобы выбрать аппараты для проектирования, вычисляем по критериям следующими параметрами:

- коммутационной способностью контактов или выходных полупроводниковых цепей (номинальное напряжение, номинальный ток коммутируемой цепи);
- потребляемым током катушек и номинальным напряжением;
- для реле с выдержкой времени - диапазоном выдержки времени.

Правильная установка аппарата и присоединение проводов – является важным фактором

3.3 Шкаф управления электроприводом

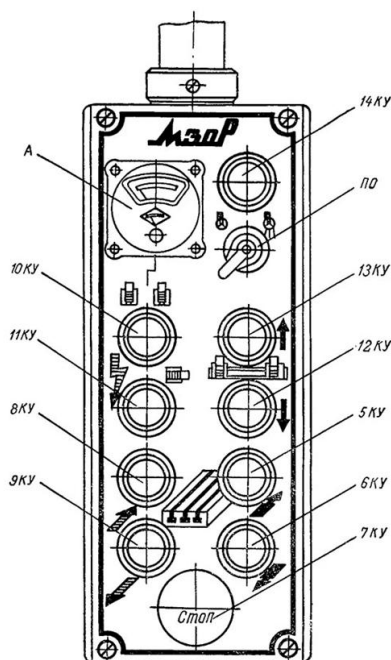


Рисунок 3.1 – Пульта управления подвесной станции продольно-строгальным станком 7216Г

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ине. № дубл	Подп. и дата	Лист
					13.03.02.2021.697.00.000ПЗ
					31

Управление электроприводами станка дистанционное с помощью кнопок, выключателей и потенциометров, расположенных на подвесной кнопочной станции и главном пульте управления. Последний установлен на крышке коробки скоростей привода стола.

Перечень кнопок управления на подвесной станции продольно-строгального станка

а) кнопки для:

5КУ – включения привода стола на автоматическую работу с первоначальным направлением в сторону рабочего хода;

6КУ – включения привода стола на автоматическую работу с первоначальным направлением в сторону обратного хода;

7КУ – выключения автоматической работы стола («Стоп» стола);

8КУ – установочного перемещения стола в сторону рабочего хода (подвода стола вперед);

9КУ – установочного перемещения стола в сторону обратного хода (подвода стола назад)

10КУ – установочного перемещения суппортов поперечины.

11КУ – установочного перемещения бокового суппорта

12КУ – установочного перемещения поперечины вниз

13КУ – установочного перемещения поперечины вверх

14КУ – включения амперметра А;

б) выключатель ПО – для включения местного освещения;

в) амперметр А – для измерения тока нагрузки главного привода (электродвигателя Д).

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ине. № дубл	Подп. и дата						Лист
										32
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ					

4 Расчет статических характеристик электропривода

Рассчитаем естественные механическую и электромеханическую характеристики двигателя:

$P_H = 110$ кВт, $I_H = 198$ А, $U_H = 380$ В, $n_H = 1470$ об/мин. Для расчета характеристики используются каталожные данные P_H , n_H , I_H , U_H и выражение механической характеристики (4.1):

$$\omega = \frac{U_H}{k\Phi_H} - \frac{r_{\text{я}} \times I}{k\Phi_H} \quad (4.1)$$

Отсутствующие в каталожных данных $k\Phi_H$ и $r_{\text{я}}$ рассчитываются по приближенным формулам.

Величину активного сопротивления якорной цепи $r_{\text{я}}$ можно рассчитать приближенно из условия равенства постоянных и переменных потерь мощности в номинальном режиме по формуле:

$$r_{\text{я}} = \frac{\Delta P_H}{2 \times I_H^2} = \frac{U_H \times I_H - P_H \times 10^3}{2 \times I_H^2} = \frac{380 \times 198 - 110000}{2 \times 198^2} = 0,44 \text{ Ом}, \quad (4.2)$$

где ΔP_H – потери мощности в номинальном режиме работы; $r_{\text{я}} = r_{\text{оя}} + r_{\text{ко}}$ – невыключаемое сопротивление якоря, $r_{\text{оя}}$ – сопротивление обмотки якоря, $r_{\text{дп}}$ – сопротивление обмоток дополнительных полюсов, $r_{\text{ко}}$ – сопротивление компенсационной обмотки.

Величину $k\Phi_H$ можно определить по формуле (4.3), подставляя в нее номинальные ток и скорость, а также активное сопротивление якоря машины:

$$k\Phi_H = \frac{U_H - I_H \times r_{\text{я}}}{\omega_H} = \frac{380 - 198 \times 0,44}{153,94} = 1,902 \text{ В} \times \text{с} \quad (4.3)$$

Скорость двигателя в системе СИ измеряется в рад/с. Поскольку в каталогах скорость двигателя приводится в об/мин, то необходимо её пересчитать в рад/с по формуле:

$$\omega_H = \frac{2 \times \pi \times n_H}{60} = \frac{n_H}{9,55} = \frac{1470}{9,55} = 153,9 \frac{1}{\text{с}} \quad (4.4)$$

Скорость идеального холостого хода:

$$\omega_{0H} = \frac{U_H}{k\Phi_H} = \frac{380}{1,902} = 199,79 \frac{1}{\text{с}} \quad (4.5)$$

Номинальный электромагнитный момент

Подп. и дата
Инв. № дубл
Взаим. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

$$M_H = k\Phi_H \times I_H = 1,902 \times 198 = 376,6 \text{ Н} \times \text{м} \quad (4.6)$$

Номинальный момент на валу двигателя:

$$M_{BH} = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{110000}{153,9} = 714,7 \text{ Н} \times \text{м} \quad (4.7)$$

Момент холостого хода в номинальном режиме:

$$\Delta M_{XH} = M_H - M_{BH} = 376,6 - 714,7 = 338,1 \text{ Н} \times \text{м} \quad (4.8)$$

Проведенные расчеты позволяют получить выражение естественной механической характеристики двигателя:

$$\omega = \omega_{0H} - \frac{r_{\text{я}} \times M}{(k\Phi_H)^2} = 199,79 - \frac{M \times 0,44}{(1,902)^2} = 199,79 - M \times 0,121 \quad (4.9)$$

Определим две точки, через которые проходят естественные характеристики: ($M = 0$, $\omega_{0H} = 199,76 \text{ 1/с}$) и ($M_H = 376,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $\omega_H = 153,9 \text{ 1/с}$) и построим естественную характеристику (Рисунок 4.1).

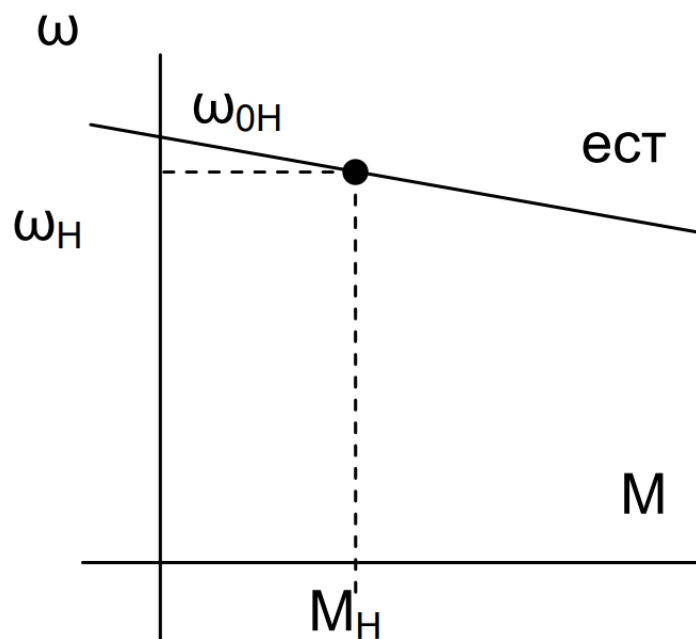


Рисунок 4.1 – Естественная механическая характеристика в абсолютных единицах

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	

5 Расчет переходных процессов электропривода

Для получения $\omega(t)$ решаем основное уравнение движения электропривода скорости:

$$M - M_C = J \times \frac{d\omega}{dt} \quad (5.1)$$

Момент двигателя чаще зависит от скорости $M(\omega)$, момент статический $M_C(\omega, t, \alpha)$, момент инерции – от $J(\omega, t, \alpha)$, решение уравнения в общем виде невозможно из-за с отсутствием указанных аналитических зависимостей.

Основное уравнение движения в о.е.

$$\bar{M} - \bar{M}_C = J \times \frac{d\bar{\omega}}{dt} \quad (5.2)$$

Механическая постоянная времени двигателя:

$$T_D = \frac{J \times \omega_{OH}}{M_H} \quad (5.3)$$

Значение M_H рассчитаем при $k\Phi_H = 1 \text{ В} \times \text{с}$

Номинальный электромагнитный момент:

$$M_H = k\Phi_H \times U_H = 1 \times 380 = 380 \text{ Н} \times \text{м} \quad (5.4)$$

Механическая постоянная времени:

$$T_D = \frac{J \times \omega_{OH}}{M_H} = \frac{2,33 \times 380}{380} = 2,33 \text{ с} \quad (5.5)$$

Динамический момент:

$$\bar{M}_D = \bar{M} - \bar{M}_C = 1,4 - 0,4 = 1 \text{ с} \quad (5.6)$$

Приращение скорости за промежуток времени $\Delta \bar{t}_i = t_i / T_D = 0,2$:

$$\Delta \bar{\omega} = (\bar{M} - \bar{M}_C) \times \Delta \bar{t}_i = (1,4 - 0,4) \times 0,2 = 0,2 \quad (5.7)$$

Конечное значение скорости на участке:

$$\bar{\omega}_{\text{кон}} = \bar{\omega}_{\text{нач}} + \Delta \bar{\omega} = 0,1 + 0,2 = 0,3 \quad (5.8)$$

Подп. и дата
Ине. № дубл
Взаим. инв. №
Подп. и дата
Ине. № подл.

Приращение угла поворота

$$\overline{\Delta\alpha}_{\text{кон}} = (\overline{\omega}_{\text{кон}} + \overline{\omega}_{\text{нач}}) \times \frac{\overline{\Delta t}}{2} = (0,3 + 0,1) \times \frac{0,2}{2} = 0,04 \quad (5.9)$$

Определим полученные значения в абсолютных единицах:

$$M_{\text{дин}} = \overline{M}_{\text{дин}} \times M_{\text{н}} = 1 \times 380 = 380 \text{ Н} \times \text{м} \quad (5.10)$$

$$\varepsilon = \frac{\overline{\varepsilon} \times \omega_{\text{он}}}{t_{\text{б}}} = \frac{1 \times 380}{1} = 380 \text{ рад/с}^2 \quad (5.11)$$

$$\Delta\omega = \Delta\overline{\omega} \times \omega_{\text{он}} = 0,2 \times 380 = 76 \text{ рад/с} \quad (5.12)$$

$$\omega_{\text{кон}} = \overline{\omega}_{\text{нач}} \times \omega_{\text{он}} = 0,1 \times 380 = 38 \text{ рад/с} \quad (5.13)$$

$$\Delta\alpha = \Delta\overline{\alpha} \times \omega_{\text{он}} \times t_{\text{б}} = 0,04 \times 380 \times 1 = 15,2 \text{ рад} \quad (5.14)$$

Процесс торможения двигателя.

Путем рассеивания энергии во время снижения скорости или при торможении до полной остановки, тормозное сопротивление делает работу преобразователя Altivar 71. Максимальный переходный тормозной момент производится тормозным сопротивлением.

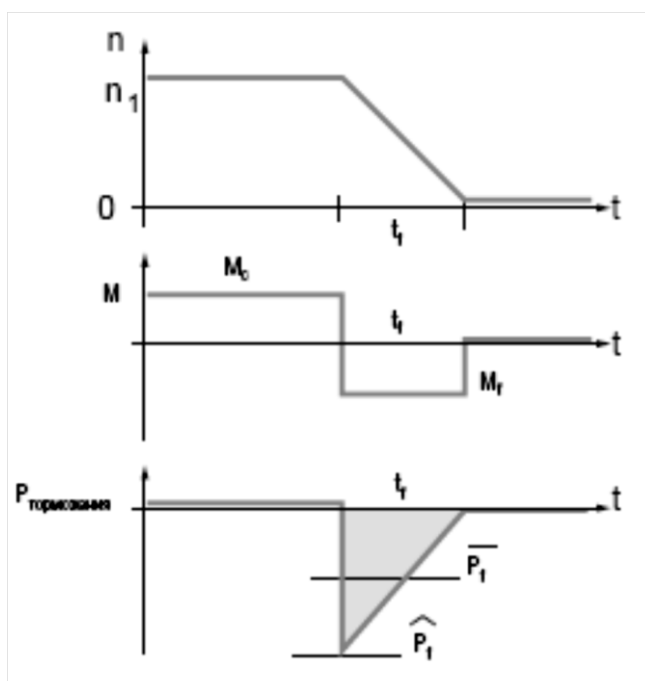


Рисунок 5.1 – Динамическая характеристика: процесс торможения двигателя

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Рассчитаем время торможения при полной нагрузке с максимальной скорости (участок 12, с обратного хода):

$$t_{12} = 3,128 \text{ с} \quad (5.15)$$

Частота вращения двигателя, с которой происходит торможение:

$$n_{\text{обр}} = 2368 \text{ об/мин} \quad (5.16)$$

Тормозной момент двигателя (участок 12):

$$M_{12} = 163 \text{ Нм} \quad (5.17)$$

Максимальная мощность торможения:

$$P_{\text{торм.макс}} = \frac{M_{12} \times n_{\text{обр}}}{9,55} = 40,5 \text{ кВт} \quad (5.18)$$

Средняя (постоянная) мощность торможения:

$$P_{\text{торм.сред.}} = \frac{P_{\text{торм.макс}}}{2} = 20,25 \text{ кВт} \quad (5.19)$$

Задатчик интенсивности предназначен для формирования сигнала и устанавливается на входе САР скорости. Данный задатчик интенсивности предназначен чтобы ускорение и динамический момент электропривода не превышали допустимых значений, путём ограничивая темпа нарастания задания на скорость.

Темп задатчика интенсивности представляет собой величину ускорения электропривода в относительных единицах

$$A = \frac{e}{\Psi_{\text{б}}} = \frac{79,282}{314} = 0,252 \text{ с}^{-1}. \quad (5.20)$$

Величина ограничения нелинейного элемента

$$Q = A \cdot T_{\text{и}}, \quad (5.21)$$

где $T_{\text{и}}$ – постоянная времени интегратора, примем $T_{\text{и}} = 0,01 \text{ с}$.

$$Q = 0,252 \cdot 0,01 = 0,00252 \text{ с}.$$

При моделировании системы управления мы добиваемся желаемой интенсивности нарастания задающего сигнала путём изменения Q и $T_{\text{и}}$.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

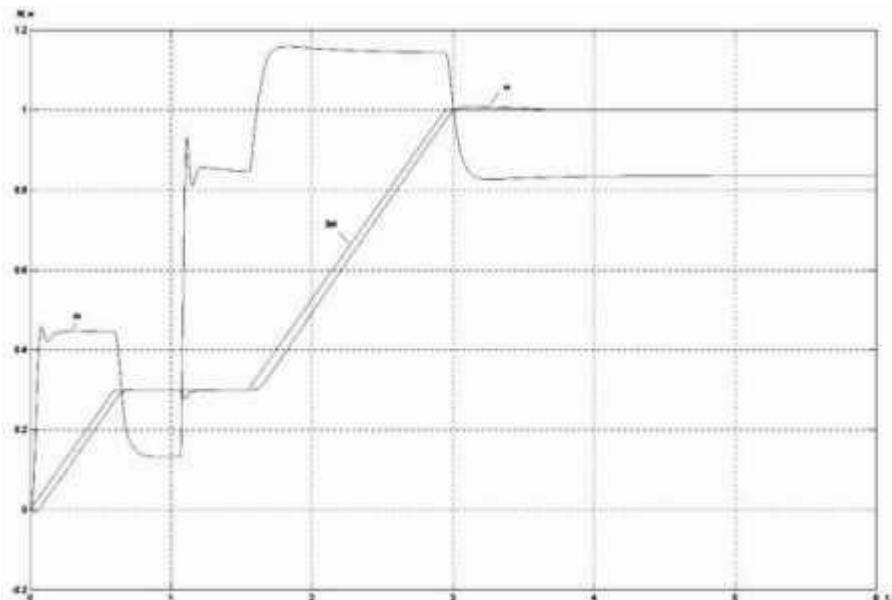


Рисунок 5.2 – Динамическая характеристика: Момент скорость и задатчик интенсивности при пуске и выходе на номинальную скорость

6 Интегральные показатели переходных процессов

6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву

Выполняется проверка двигателя по нагреву приемлемым методом эквивалентного тока:

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i^2 \times t_i)}{\sum_{i=1}^n (\beta_i^2 \times t_i)}} \leq M_H \quad (6.1)$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{I_1^2 \times t_1 + I_2^2 \times t_2 + I_3^2 \times t_3 + I_4^2 \times t_4 + I_5^2 \times t_5 + I_6^2 \times t_6 + I_7^2 \times t_7 + I_8^2 \times t_8 + I_9^2 \times t_9 + I_{10}^2 \times t_{10} + I_{11}^2 \times t_{11} + I_{12}^2 \times t_{12}}{\beta_1^2 \times t_1 + \beta_2^2 \times t_2 + \beta_3^2 \times t_3 + \beta_4^2 \times t_4 + \beta_5^2 \times t_5 + \beta_6^2 \times t_6 + \beta_7^2 \times t_7 + \beta_8^2 \times t_8 + \beta_9^2 \times t_9 + \beta_{10}^2 \times t_{10} + \beta_{11}^2 \times t_{11} + \beta_{12}^2 \times t_{12}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{356,7^2 \times 0,587 + 96,6^2 \times 0,48 + 597,372^2 \times 0,48 + 857,5^2 \times 1,369 + 597,372^2 \times 5,945 + 337,3^2 \times 1,369 + 597,372^2 \times 0,48 + 96,595^2 \times 0,48 + 1 \times 1,369 + 1 \times 0,48 + 1 \times 0,48 + 1 \times 0,587 + 1 \times 3,128 + 1 \times 1,662 + (-163,5)^2 \times 0,587 + (-574,7)^2 \times 3,128 + (-156,6)^2 \times 1,662 + 263,4^2 \times 3,128}{1 \times 0,587 + 1 \times 0,48 + 1 \times 0,48 + 1 \times 1,369 + 1 \times 5,945 + 1 \times 3,128}} = 498,43 \text{ A}$$

Значение каталожного тока $I_{\text{КАТ}}$ находят в каталоге при соответствующем $P_{\text{КАТ}}$. Допустимое соотношение между эквивалентным и допустимым токами $I_3 = (0,85 \dots 0,9) \times I_{\text{ДОП}}$.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

7 Автоматизация электропривода

7.1 Выбор ПЛК

Для разработки автоматического управления недорогих и простых схем выберем программируемый логический контроллер Twido.

Данные программируемые логические контроллеры выполняют логические операции, математические операции с фиксированной и плавающей точкой, поддерживать алгоритмы ПИД регулирования и позиционирования, а также поддерживают мощную систему команд.

Они составляют: модули ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, модули центральных процессоров, коммуникационные модули и модуль позиционирования.

Рассматриваемая серия состоит из 5 контроллеров,

Серия ПЛК Twido состоит из пяти контроллеров, у каждого имеется процессор с различием по производительности, типом и количеством входов или выходов (с подключением через винтовую клеммную колодку 20 или 40 точек или разъем HE 10, с транзисторными или релейными (источник / приемник) выходами). К ним можно подключать какой угодно модуль расширения ввода / вывода (из 18-и дискретных и аналоговых модулей). Питание ПЛК – 24В – постоянный.

Преимущества данных ПЛК:

– Возможность подключения от 4 до 7 модулей расширения аналогового ввода / вывода или дискретного к базовому контроллеру с специальной модульной конструкцией Twido.

– TwidoSoft – программа, это простое программирование языками инструкций Instruction List (STL) или Ladder (LAD)



Рисунок 7.1 – Внешний вид ПЛК Twido

Для задания ВКР применим контроллер TWDLMDA40DTK:

- напряжение питания – 24 В постоянного тока;
- 24 входа (24 В постоянного тока) с оптронной развязкой, входной ток 7 мА;
- 16 транзисторных выходов, выходной ток 0,3 А;
- память программы на 3000 инструкций;
- возможность подключения до 7 дополнительных модулей расширения.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Име. № дубл	Подп. и дата
--------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

I1.0 – переключатель режимов работы «Ручной – Автоматический» – SA1;
 I1.1 – переключатель выбора рабочих суппортов, положение «Боковой суппорт» – SA2, положение 1;
 I1.2 – переключатель выбора рабочих суппортов, положение «Вертикальные суппорты» – SA3, положение 2;
 I1.3 – реле давления масла (наличие смазки на направляющих станины – RDM);
 I1.4 – конечный выключатель рабочего хода стола «Вперед» – SQ1;
 I1.5 – конечный выключатель обратного хода стола «Назад» – SQ2;
 I1.6 – индикатор разгона до номинальной скорости при рабочем ходе – SQ3;
 I1.7 – индикатор торможения до пониженной скорости при рабочем ходе – SQ4;
 I2.0 – индикатор торможения до нуля при рабочем ходе – SQ5;
 I2.1 – индикатор торможения до нуля при обратном ходе – SQ6;
 I2.2 – аварийный выключатель рабочего хода стола – SQ7;
 I2.3 – аварийный выключатель обратного хода стола – SQ8;
 I2.4 – конечный выключатель перемещения вертикальных суппортов вправо – SQ9;
 I2.5 – конечный выключатель перемещения вертикальных суппортов влево – SQ10;
 I2.6 – конечный выключатель перемещения бокового суппорта вверх – SQ11;
 I2.7 – конечный выключатель перемещения бокового суппорта вверх – SQ12;
 Дискретные выходы контроллера:
 Q0.1 – электромагнит подъема резцедержателя левого вертикального суппорта – 1Э;
 Q0.2 – электромагнит подъема резцедержателя правого вертикального суппорта – 2Э;
 Q0.3 – электромагнит подъема резцедержателя бокового суппорта – 3Э;
 Q0.4 – контактор электропривода подачи вертикальных суппортов «Подача» (вправо) – KM1.1;
 Q0.5 – контактор электропривода подачи вертикальных суппортов «Зарядка» (влево) – KM1.2;
 Q0.6 – контактор электропривода подачи бокового суппорта «Подача» (вверх) – KM2.1;
 Q0.7 – контактор электропривода подачи бокового суппорта «Зарядка» (вниз) – KM2.2;
 Q1.0 – контактор электропривода вентилятора двигателя перемещения стола 1M – KM3;
 Q1.1 – пуск двигателя – вход преобразователя;
 Q1.2 – фиксированная (пониженная) скорость – вход преобразователя;
 Q1.3 – реверс двигателя – вход преобразователя;
 Q1.4 – толчковая подача – вход преобразователя;
 Q1.2 – резервный выход – вход преобразователя;
 Перечень внутренних переменных контроллера:

Име. № подл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.697.00.000ПЗ	Лист	42
	Име. № дубл								
	Взаим. име. №								
	Подп. и дата								

7.3 Программирование ПЛК

Составим программу работы для ПЛК на рисунке 7.2:

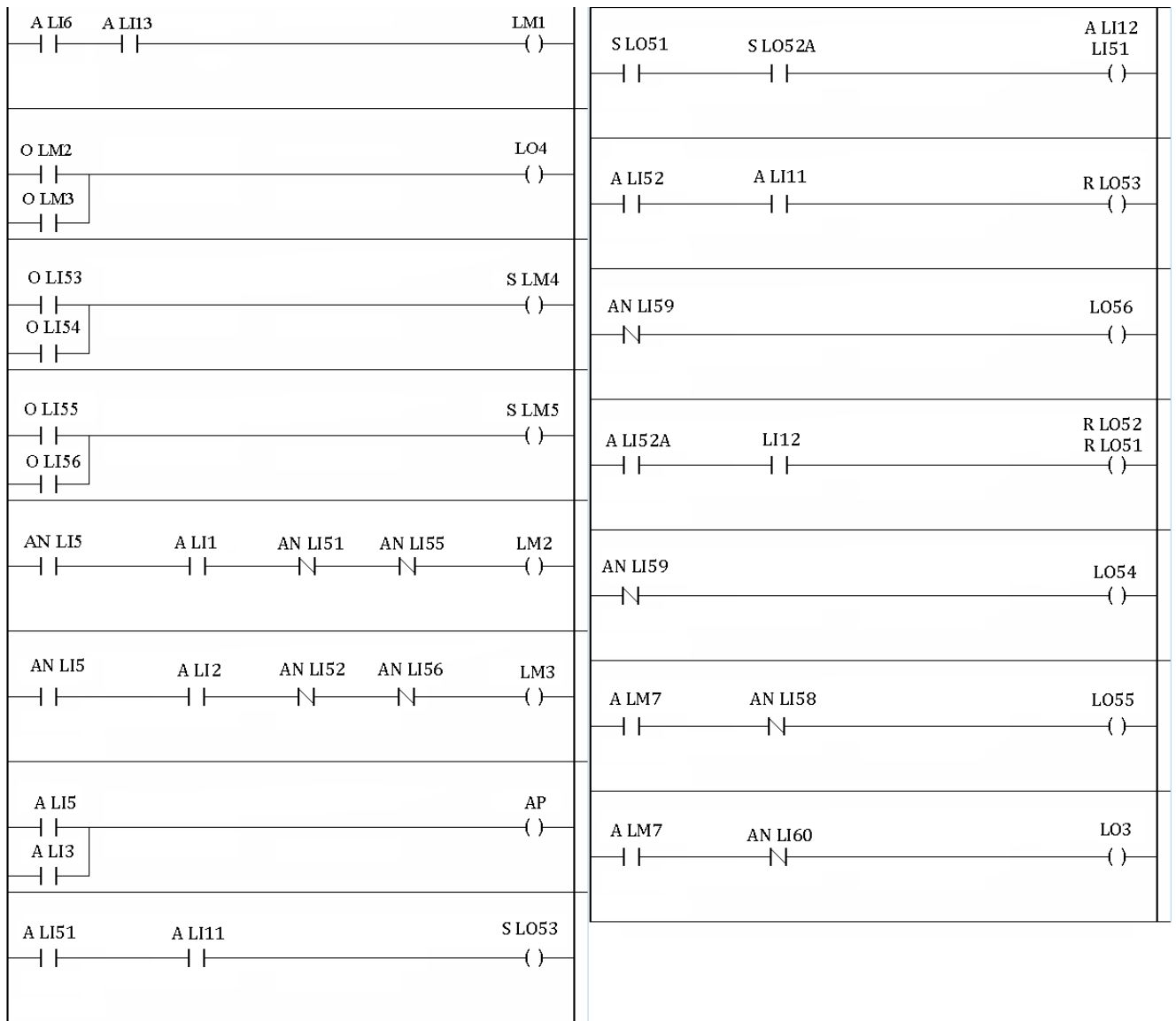


Рисунок 7.2 – Лестничные диаграммы ПЛК

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

8 Разработка электрической принципиальной схемы электропривода

Электрическая принципиальная схема силовой части электропривода приведена на Рисунке 8.1:

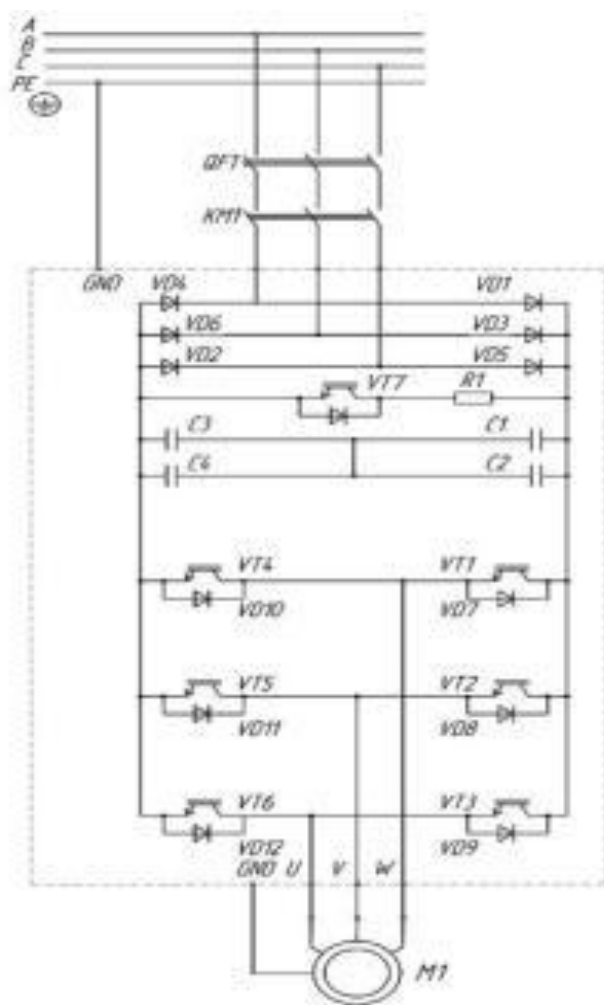


Рисунок 8.1 – Электрическая принципиальная схема силовой части электропривода

QF1 – Выключатель автоматический;
 KM1 – Контактор;
 VD1...VD13 – Диоды;
 R1 – Резистор;
 VT1...VT7 – Транзисторы;
 C1, C2, C3, C4 – Конденсаторы;
 PE – Заземление;
 M1 – Двигатель;
 GND – Земля;
 U, V, W – Фазы обмотки статора.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ине. № дубл
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

9. Разработка функциональной схемы автоматизации электропривода

Принципиальная схема технологической автоматики изображена на рисунке 9.1:

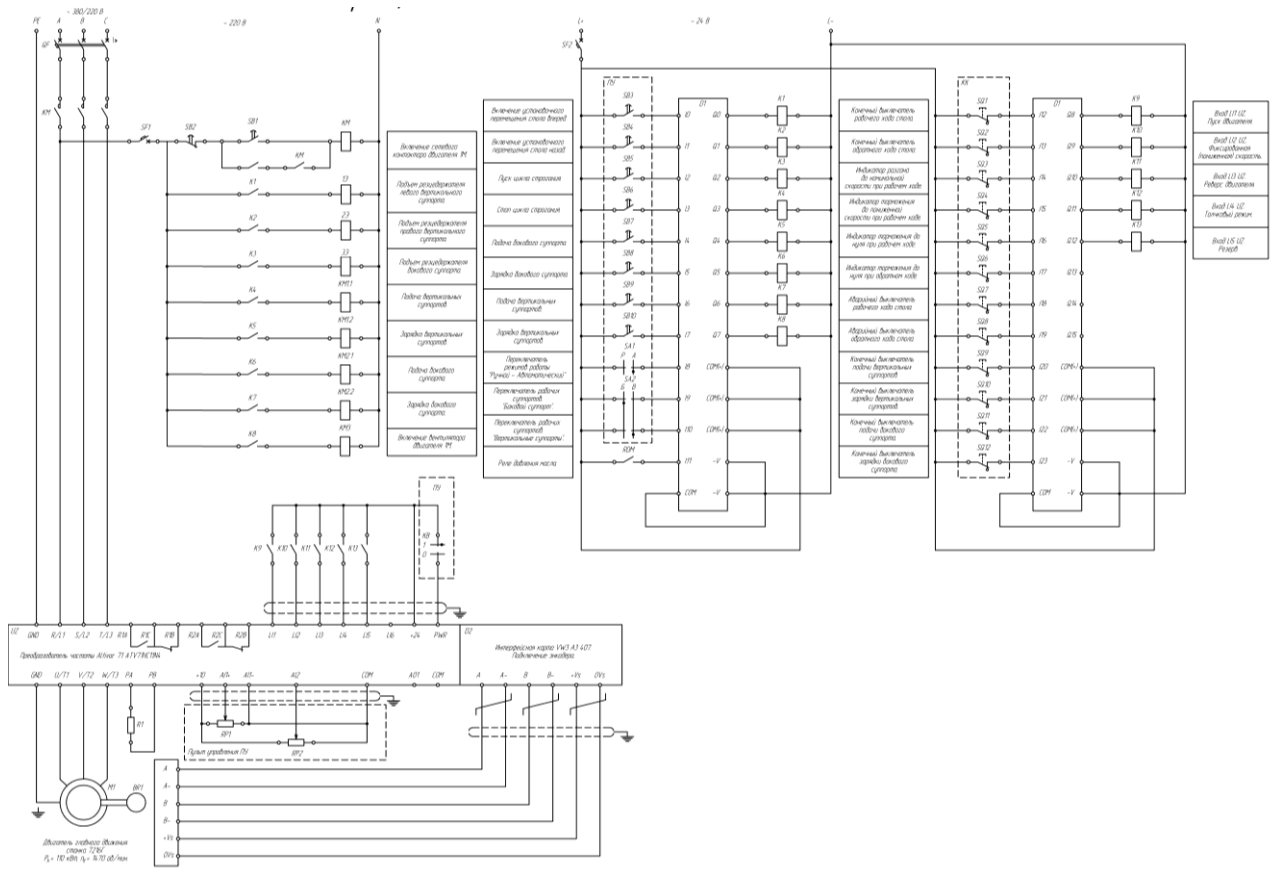


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема технологической автоматики

Подп. и дата

Взаим. инв. №

Подп. и дата

Ине. № подл.

Изм Лист № докум. Подп. Дата

13.03.02.2021.697.00.000ПЗ

Лист

48

