

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электротехнические комплексы и системы»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В. И. Пантелеев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ  
ДЛЯ СМОТЧИКА ФОЛЬГИ**

Руководитель \_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент А.Н. Пахомов  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ В.А. Мясовский  
подпись, дата инициалы, фамилия

Консультант:

Генеральный директор  
ООО «Вертекс» \_\_\_\_\_ Д.С. Жидков  
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ А.Н. Пахомов  
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Общее описание.....	6
1.1 Обзор актуальности вопроса.....	6
1.2 Общие сведения о цехе.....	6
2 Состав электрооборудования устройства смотки.....	8
2.1 Общепромышленные электродвигатели серии АИР.....	8
2.2 Преобразователь частоты.....	9
2.2.1 Общее описание.....	9
2.2.2 Преимущества и особенности преобразователя.....	11
2.3 Потенциометр RV24YN 20S B103 10K.....	12
3 Описание установки.....	14
3.1 Кинематические схемы.....	14
3.1.1 Кинематическая схема двигательной системы.....	14
3.1.2 Кинематическая схема системы регулирования натяжения.....	16
3.2 Конструирование системы для получения обратной связи.....	18
3.2.1 Общее описание работы установки.....	18
3.2.2 Зубчатая передача.....	19
3.3 Результат конструирования и сборки системы.....	23
4 Принципиальная схема электрическая подключения преобразователя частоты.....	25
5 Векторное управление.....	27
5.1 Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	27
5.1.1 Регулирование частоты вращения изменением первичной частоты (частотное регулирование).....	27
5.1.2 Регулирование частоты вращения изменением числа пар полюсов.....	28
5.2 Частотное управление асинхронным электродвигателем.....	29

5.3 Векторное управление асинхронным двигателем.....	33
5.4 Прямое управление моментом.....	35
5.4.1 Принцип работы системы прямого управления моментом.....	37
6 Подключение и настройка преобразователя частоты.....	42
6.1 Описание интерфейса пульта управления.....	42
6.2 Настройка работы двигателя с преобразователем частоты.....	45
6.2.1 Режим векторного управления “Сенсор 2”.....	45
6.2.2 Авто настройка параметров двигателя.....	45
6.2.3 Настройка режима работы векторного управления “Сенсор 2”.....	47
6.2.4 Функция управления моментом.....	50
6.2.4.1 Настройка преобразователя по моменту и условия работы.....	51
6.2.4.2 Выбор источника задания момента.....	52
6.2.4.3 Ограничение скорости.....	52
6.3 Установка частоты.....	53
6.3.1 Описание клемм управления частотного преобразователя.....	53
6.3.2 Задание частоты аналоговым входом по напряжению.....	56
6.4 Дополнительные функции преобразователя.....	58
6.4.1 ПИД регулирование.....	58
6.4.2 Использование запаса кинетической энергии.....	59
6.4.3 Режим сбережения электроэнергии.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

С древних времен люди использовали способность говорить, а также доносить информацию до других иными способами. Один из этих способов является изобразительное искусство и письменность, которые сейчас используются на типографических производствах.

На сегодняшний день, с развитием рекламы, типография является огромным производственным сектором. Повсеместно печатаются газеты, журналы, издаются книги. Также торговые марки используют различные упаковки, этикетки, изображения для обозначения своей продукции. Как раз о производстве подобных этикеток и пойдет речь.

Типография – автоматизированное производство, как и основная масса современных производств, выпускающих потоковую продукцию. От человека в таком процессе зависит немного. Необходимо только настроить оборудование, затем подать материал на станок и снять его с конвейера. Однако, в каждый технологический процесс иногда приходится вносить дополнения.

При изготовлении наклеек используется заготовленный рулон клеящейся бумаги. Рулон немного разматывается, крепится на вал и ролики, покрытые краской. При раскрутке вала бумага движется по конвейеру и ролики наносят нужные изображения на бумагу. После этого остатки бумаги скручиваются на смотчике с целью дальнейшего использования. Однако, бывают случаи, когда на станке одновременно используются два вида бумаги (например, белого цвета и золотистого), но на оборудовании не предусмотрено дополнительного смотчика. Вследствие этого, невозможно выполнение технологического процесса. Смотанная в рулон бумага подвергается утилизации.

На смотчике оставшаяся бумага будет собираться обратно в рулон, и так как бумага материал не прочный и подвержен надрыву, необходимо регулировать момент силы на валу. Для этого нужно использовать систему автоматического управления. Основным устройством, регулирующим скорость двигателя, будет преобразователь частоты.

Целью данной работы является конструирование системы автоматического управления, сборка этой системы и настройка процесса при помощи преобразователя частоты.

## **1 Общее описание**

### **1.1 Обзор актуальности вопроса**

Во всех современных технологически развитых странах, предприятия стараются максимально автоматизировать свое производство. На сегодняшний день подавляющая масса производств работают полностью автоматически, в которых люди вмешиваются только в настройку технологического процесса. Есть примеры предприятий в Китае, на которых работа происходит полностью без людей.

### **1.2 Общие сведения о цехе**

Девятикрасочная флексографическая печатная машина Arsoma Gallus EM-410-9 с возможностью вырубки, холодного тиснения фольгой, конгрева, нанесения изображения со стороны клеевого слоя; печатает УФ-красками; имеется возможность замены любой красочной секции на трафаретную; ламинация; печать с переворотом полотна; возможность изготовления многослойных этикеток.

Данные машины предназначены для печати:

- самоклеящихся этикеток и различных материалов, с многочисленными вариантами отделки “в линию”;
- этикеток из монопленок, термоусадочных и других.

Ширина печати (410 мм) позволяет обрабатывать средние и мелкие тиражи упаковочного сегмента рынка, а также в короткие сроки выпускать большие тиражи самоклеящейся этикетки за счет высокой производительности при оптимальных затратах и ценах.

Минимальное время на настройку и смену тиража отвечает современным требованиям. Обе машины в совокупности обеспечивают практически все виды отделки этикеточной продукции, существующие на флексографическом рынке на сегодняшний день.

**Технические характеристики и возможности печатной машины:**

- ширина печатного материала — от 130 до 470 мм;
- мин. размер этикетки/партии — 10x10 мм / 1000 экз;
- максимальная ширина печатного материала — 407 мм;
- максимальная длина раппорта (печати) — 660 мм;
- максимальная скорость печати — до 150 м/мин.

**Возможный печатный материал:**

- самоклеящаяся бумага (белая, металл; от 60 г/м<sup>2</sup>);
- самоклеящаяся пленка (белая, прозрачная);
- самоклеящаяся термобумага;
- кэшированные материалы;
- фольга с термолаком. [2]

## 2 Состав электрооборудования устройства смотки

Согласно расчетам и проектированию линия включает в себя следующее оборудование:

- асинхронный двигатель АИРМ71А4У3;
- преобразователь частоты ProfiMaster PM-S740-0.75K-RUS;
- потенциометр RV24YN 20S B103 10K.

Ниже будет приведено более подробное техническое описание электрооборудования установки.

### 2.1 Общепромышленные электродвигатели серии АИР

Двигатели унифицированной серии АИР являются самыми распространёнными в промышленности, за счет простоты конструкции и выгодной стоимости при высокой надежности в эксплуатации.

Данный асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором выполнен в закрытом исполнении с категорией электрической защиты IP54, предназначен для продолжительного режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением до 380 В. Изготовлены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51689-2000 и МЭК 60034. Вид климатического исполнения соответствует У3 по ГОСТ 15150-69.

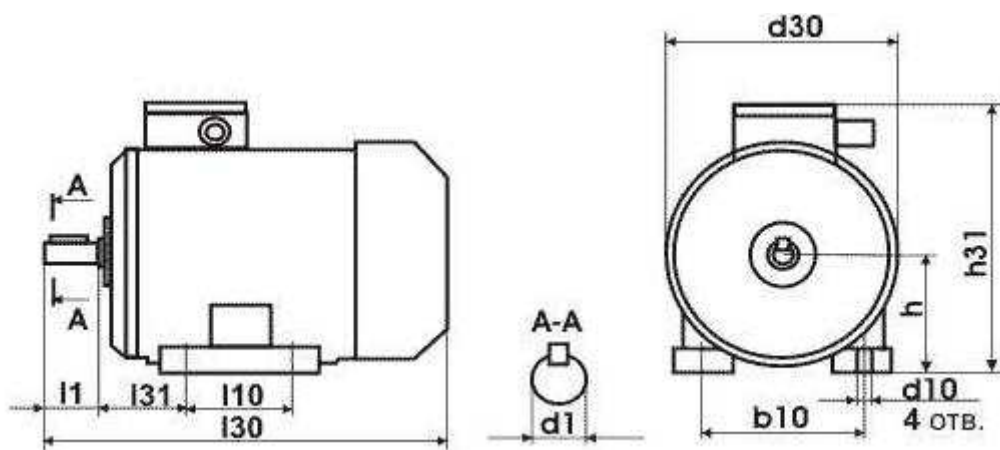


Рисунок 2.1 – Габаритные (присоединительные) размеры электродвигателей серии АИР



Двигатель АИРМ71А4У3 (рисунок 2.1) комплектован шкивом на валу для передачи момента на устройство регулирования натяжения. Электромотор имеет следующие характеристики, приведенные в таблицах 2.1 и 2.2: [5]

Таблица 2.1- Технические характеристики двигателя

Мощность	0,55 кВт
Частота вращения	1380 (1500) об/мин
Напряжение	380 В
Ток статора	1,5 А
КПД	71%
cos φ	0,73
Масса	75 кг

Таблица 2.2 – Присоединительные размеры электродвигателя 5АИ132S4, мм

l1	l10	l31	d1	d10	b1	b10	h5	h31	h
40	90	45	19	7	6	112	21.5	188	71

## 2.2 Преобразователь частоты

### 2.2.1 Общее описание

Лучшим способом регулирования скорости АД с короткозамкнутым ротором является использование преобразователя частоты (ПЧ). В нашем случае это устройство, изображенное на рисунках ниже, Profimaster PM-S740-0.75K-RUS от Южно-корейского производителя LS Industrial Systems.

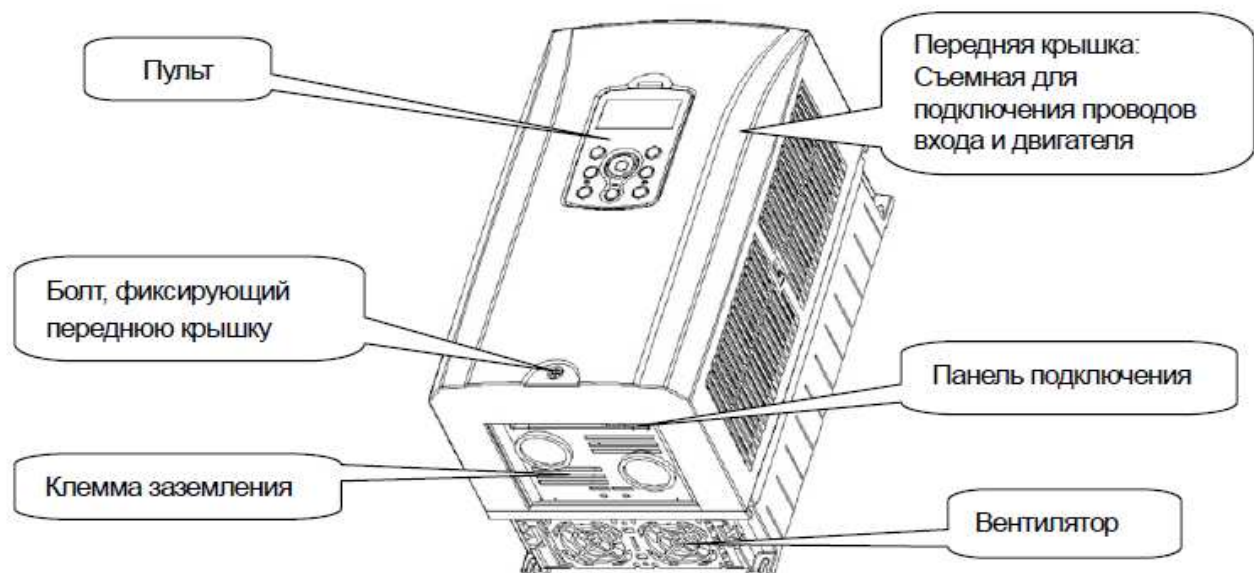
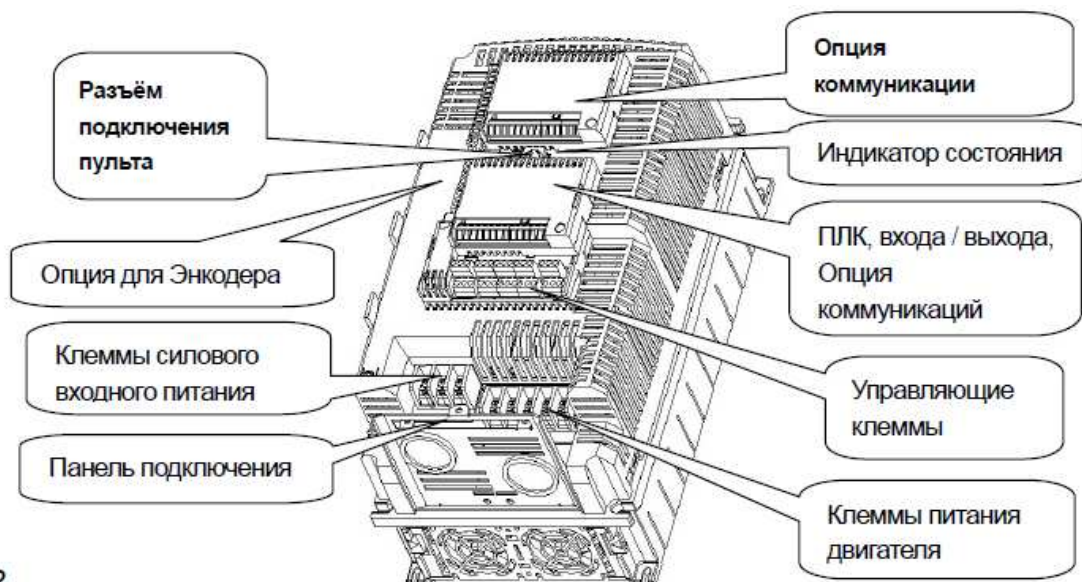


Рисунок 2.2 – Внешний вид преобразователя частоты PM-S740-0.75K-RUS



1-2

Рисунок 2.3 – Вид изнутри (передняя крышка снята) преобразователя частоты PM-S740-0.75K-RUS

Данный преобразователь используется для регулирования частоты вращения двигателя, описанного в пункте 2.1. Преобразователь имеет следующие технические характеристики:

Таблица 2.3 – Технические характеристики преобразователя

Номинальная мощность двигателя	0,75 кВт
Напряжение питания	3фазы/380-480 В
Выходная частота	0-400 Гц
Выходное напряжение	3ф/380-480 В

Также приведем технические характеристики управления преобразователем:

<b>Метод управления</b>	V/F - управление, V/F с обратной связью (энкодер), компенсация скольжения, векторное управление без датчика, векторное управление с датчиком
<b>Дискретность настройки частоты</b>	Цифровая: 0.01Гц Аналоговая: 0.05Гц (максимальная частота: 50Гц)
<b>Точность настройки частоты</b>	Цифровая: 0.01% от максимальной частоты Аналоговая: 0.1% от максимальной частоты
<b>V/F характеристика</b>	Линейная, квадратичная, заданная пользователем V/F
<b>Допустимая перегрузка</b>	СТ номинальный ток: 150% время работы 1 минута, VT номинальный ток: 110% время работы 1 минута
<b>Форсирование момента</b>	Автоматическое, Ручное

Рисунок 2.4 – Характеристики управления преобразователем

### 2.2.2 Преимущества и особенности преобразователя.

В данной работе, ПЧ выполняет важнейшую роль и является самым многофункциональным и современным из представленных устройств, поэтому хотелось бы рассказать о преимуществах конкретной модели:

- возможность регулирования векторным управлением. На рисунке 2.4 таблице описаны все возможные способы регулирования;

- наличие встроенного пульта с удобным интерфейсом. Функций и возможностей у преобразователя по настройке очень много, поэтому пульт с простым управлением сильно облегчает и делает работу более приятной;

- высокое качество деталей и сборки преобразователя. Южная Корея давно зарекомендовала себя, как одна из передовых стран в изготовлении электроники. Продукты компаний этого государства используются во всем мире, и при этом имеют всегда самую лучшую оценку от пользователей. Так и компания LS industrial systems давно зарекомендовала себя на рынке;

- предотвращение вращения в обратную сторону. В нашем случае-это очень важная функция, так как при вращении в обратном направлении, система

разматывает рулон, а это грозит в лучшем случае остановке работ с дальнейшим исправлением ситуации, и в худшем – порчей материала;

- возможность подсоединения дополнительного оборудования, например опциональной карты энкодера;

- минимальная мощность из всех подходящих предложений на рынке. Была выбрана минимальная мощность преобразователя из линейки 0.75 кВт, так как Двигатель, который уже был в наличии у производства при начале работ, обладает мощностью 0.55 кВт;

- возможность управления моментом вместо частоты вращения. Скорость с которой будет вращаться двигатель, также очень важный аспект при настройке работы смотчика. Однако, на маленькой скорости вращения при большом моменте материал будет разрываться, поэтому регулировка по моменту необходима.

### Потенциометр RV24YN 20S B103 10K

Для осуществления точного регулирования частоты вращения нам необходимо наличие обратной связи. Эту задачу нам поможет выполнить потенциометр RV24YN 20S B103 10K, подключенный к клеммам управления преобразователем частоты, продемонстрированный на рисунке 2.8.

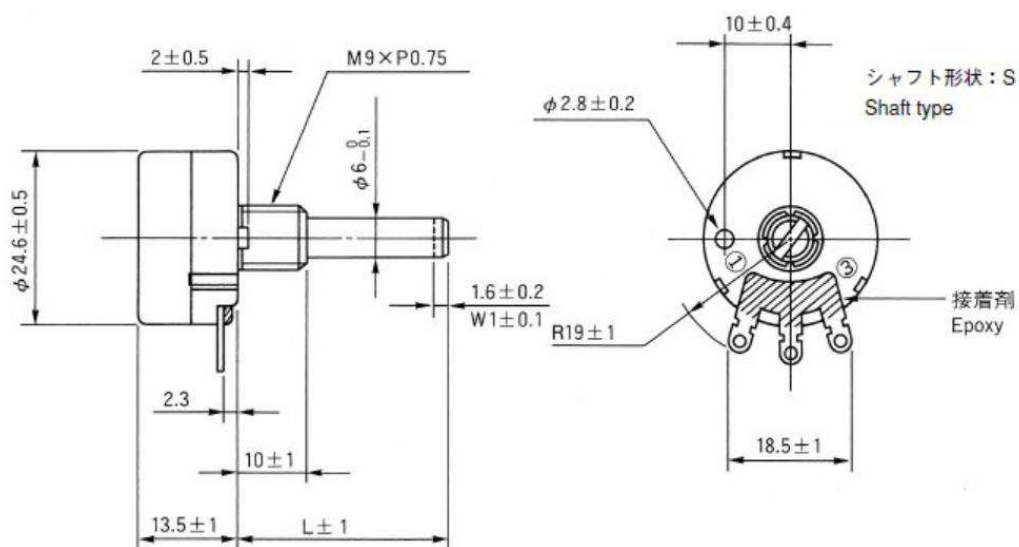


Рисунок 2.5 – Общий вид потенциометра

В таблице 2.4 записаны технические характеристики данного потенциометра.

Таблица 2.4 – Технические характеристики потенциометра

Сопротивление	0-10 кОм
Мощность	2 Вт
Количество оборотов	100000

### 3 Описание установки

#### 3.1 Кинематические схемы

##### 3.1.1 Кинематическая схема двигательной системы

Принципиальная кинематическая схема — это такая схема, на которой показана последовательность передачи движения от двигателя через передаточный механизм к рабочим органам машины (например, шпинделю станка, режущему инструменту, ведущим колёсам автомобиля и др.) и их взаимосвязь.

На кинематических схемах изображают только те элементы машины или механизма, которые принимают участие в передаче движения (зубчатые колёса, ходовые винты, валы, шкивы, муфты и др.) без соблюдения размеров и пропорций.

На листе №1 графической части изображена кинематическая схема двигательной системы. Двигатель, изображенный на схеме, приводит в движение вал I, который приводит в движение через ременную передачу вал II, в итоге отработанная бумага сматывается на Вал II. Вся эта система была изготовлена до начала нашего проекта, однако на ней отсутствовал ремень.

Исходя из измеренных значений:

-Диаметры большого шкива (внутренний и наружный соответственно) – 199 и 217 (мм);

- Диаметры малого шкива (внутренний и наружный соответственно)- 48.5 и 60.5 (мм);

- Ширина большого и малого шкива – 10 (мм);

На рисунке 3.1 описаны величины сечений ремня, согласно ГОСТ 1284.1-89.

-  $W_p$  – расчетная ширина ремня, мм;

-  $W$  - ширина большего основания ремня, мм;

-  $T$  – высота ремня, мм;

-  $\alpha$  – угол клина ремня равный ( $40^\circ$ ). [4]

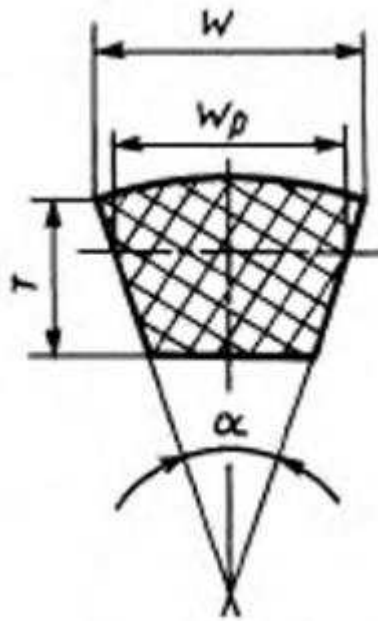


Рисунок 3.1 – Сечение ремня

Также, в таблице 3.1 описаны возможные сечения ремня по размерам, исходя из полученных данных выбираем ремень Z (0) 850. Z (0) – это обозначение сечения ремня, а 850 – его длина.

Таблица 3.1 – Перечень стандартных размеров сечений ремней

Обозначение сечения ремня	Размеры, мм				
	$W_p$		$W$ (справочный)	$T$	
	Номи.	Пред. откл.		Номи.	Пред. откл.
Z(O)	8,5	+0,4 -0,3	10	6,0	±0,3
A	11,0	+0,6 -0,4	13	8,0	±0,4
B(B)	14,0	+0,7 -0,5	17	11(10,5)	±0,5
C(B)	19,0	+0,8 -0,5	22	14(13,5)	±0,5
D(I)	27,0	+0,9 -0,6	32	19,0(20)	±0,6
E(D)	32,0	+1,0 -0,7	38(40)	23,5(25)	±0,7
EO (E)	42,0	+1,0 -0,8	50	30,0	±0,8
40×20	35,0	+1,0 -0,7	40	20,0	±0,7

### 3.1.2 Кинематическая схема системы регулирования натяжения

Помимо приводной части, в данной системе регулирования есть объект при помощи которого определяется величина натяжения материала, так называемый “танцор”.

На листе №2 графической части изображена кинематическая схема системы регулирования натяжения. Вал II, находясь под натянутой лентой бумаги и непосредственно перед валом смотчика, является устройством, которое перемещается в пространстве от натяжения материала, тем самым помогает определять степень этого натяжения. Затем через жесткую сцепку перемещение вала II преобразуется во вращательное движение вала I, который приводит в движение зубчатую передачу.

Для более подробного и ясного объяснения сути работы системы регулирования натяжения обратимся к фотографиям установки, продемонстрированным на рисунках 3.2 и 3.3. На рисунке 3.2 вал 1 – это вал, приводимый в движение двигателем, на который сматывается отработанный материал. Материал заводится на Вал 3, затем проводится под Валом 2 и крепится на сматывающий Вал1. Вал 2 - вал “танцора”. Этот вал, как видно на рисунке 3.2, расположен в отверстии, что позволяет ему двигаться вверх или вниз в зависимости от степени натяжения материала.





Рисунок 3.2- Фотография системы валов

На рисунке 3.3 вал 2 соответствует валу 2 на рисунке 3.2. В итоге видим, что вал 4 жестко сцеплен с валом 2, поэтому поступательное движение вала 2 преобразуется во вращательное движение вала 4.



Рисунок 3.3- Фотография системы валов

## **3.2 Конструирование системы для получения обратной связи**

### **3.2.1 Общее описание работы установки**

В предыдущем подразделе (3.1.2) уже было затронута система, про которую сейчас пойдет речь. Как было сказано, “танцор” помогает определять степень натяжения материала, что в последствии используется для создания системы автоматического регулирования.

Для наглядности воспользуемся листом графической части №3, на котором изображен сборочный чертеж разработанной системы. Позиция 1 на чертеже совпадает с валом 4 на предыдущей фотографии, то есть при изменении степени натяжения бумажного полотна, вал (позиция 1) поворачивается, также поворачивается закрепленное на нем колесо (позиция 3). Сцепленная с колесом шестерня (позиция 9), также меняет свое положение вследствие чего поворачивается и потенциометр.

### 3.2.2 Зубчатая передача

Зубчатая передача в данной системе помогает адаптировать движения “танцора” для возможности использования потенциометра. Без шестерен система не будет функционировать, так как диапазон движения “танцора” около 45 градусов, что очень мало для потенциометра. Вследствие этого необходима зубчатая передача, с помощью которой возможно будет увеличить диапазон поворота потенциометра до 225-270 градусов, что будет удовлетворять условиям выполнения поставленной задачи.

Передаточное число около пяти, необходимое нам, является довольно большим. Также мы ограничены в пространстве, как видно на сборочном чертеже, расстояние от центра оси вала (позиция 1) 50 мм, поэтому колесо (позиция 4) должно быть менее 100 миллиметров. Учитывая, все эти факты ситуация сводится к тому, что подобрать зубчатую передачу из стандартного ряда оказалось невозможным. Поэтому зубчатая передача была сконструирована и разработана - ее 3D модель при помощи программы Компас 3D.

Геометрический расчёт

Страница 1 | Страница 2 | Предмет расчёта

Наименование и обозначение параметра		Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Число зубьев	$z_1, z_2$	18	97
2. Модуль, мм	$m_n$	1	
3. Угол наклона зубьев на делительном цилиндре	$\beta$	0 ° 0 ' 0 "	
4. Направление линии зуба ведущего колеса	—	прямое	
5. Угол профиля зуба исходного контура	$\alpha$	20 ° 0 ' 0 "	
6. Коэффициент высоты головки зуба исходного контура	$h_a^*$	1	
7. Коэффициент радиального зазора исходного контура	$c^*$	0.25	
8. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба исходного контура	$\rho_f^*$	0.38	
9. Ширина зубчатого венца, мм	$b_1, b_2$	40	20
10. Межосевое расстояние, мм	$a_w$	57.5	
11. Диаметр измерительного ролика, мм	$D_1, D_2$	1.732	1.732
12. Инструмент для обработки	—	рейка	рейка
13. Параметры инструмента	—		

Геометрический расчёт

Страница 1 | Страница 2 | Предмет расчёта

Наименование и обозначение параметра		Ведущее колесо	Ведомое колесо
Степень точности	—	7-C	7-C
Суммарный коэффициент смещения	$x_E$	0	
Коэффициент смещения исходного контура	$x_1, x_2$	0	0
Расчётный диаметр вершин зубьев, мм	$d_{a1}, d_{a2}$	20	99
Диаметр вершин зубьев со срезом, мм	$d'_{a1}, d'_{a2}$	20	99

Ход расчёта

Контролируемые, измерительные параметры и параметры качества зацепления в норме

Рисунок 3.4- Параметры расчета зубчатой передачи



Подобранное отношение количества зубьев колеса и шестерни  $97/18=5.389$  удовлетворяет условию поставленной задачи.

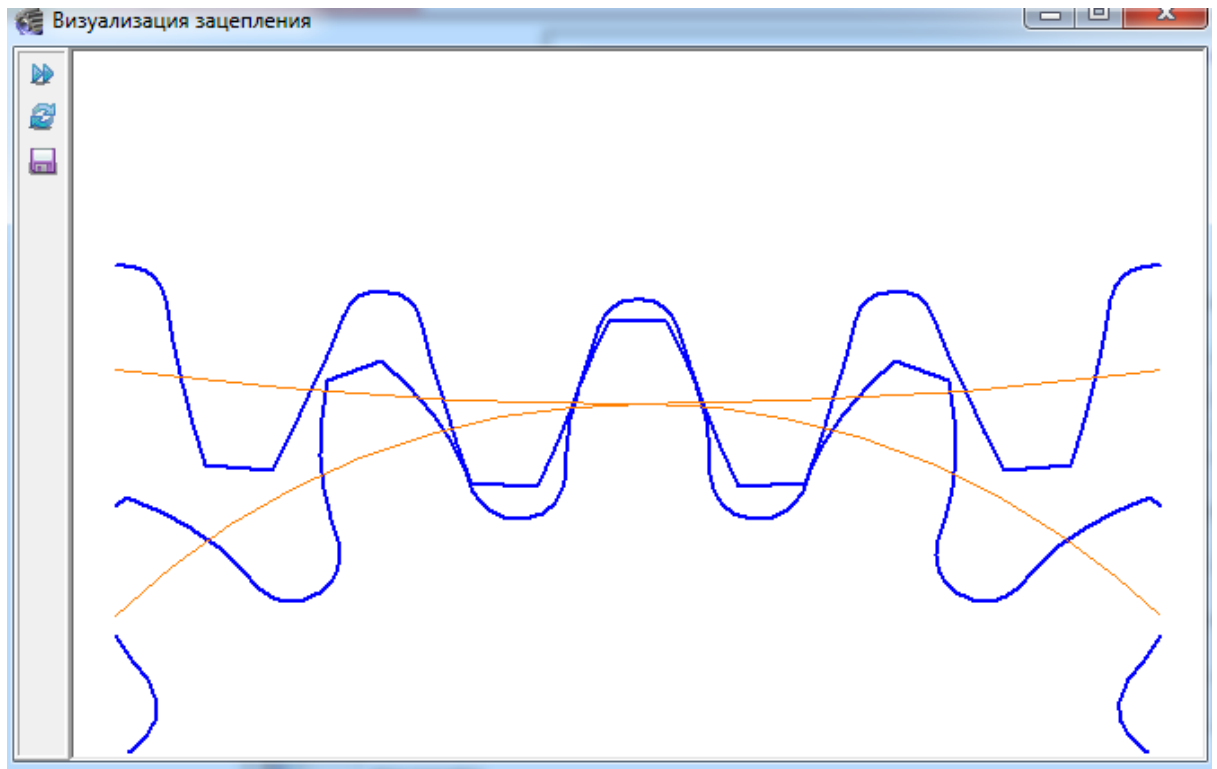


Рисунок 3.5 – Визуализация зацепления

Расчеты передачи (рисунок 3.4) и визуализация зацепления (рисунок 3.5) показывают нам, что данная передача из рассчитанных зубчатых колес будет исправно работать. В итоге мы получаем значения (рисунок 3.6), по которым строим 3D модель разработанной передачи.

Модуль	$m_n$	1	Модуль	$m_n$	1
Число зубьев	$z$	97	Число зубьев	$z$	18
Исходный контур	ГОСТ 13755-81		Исходный контур	ГОСТ 13755-81	
Угол наклона зубьев	$\beta$	0°00'00"	Угол наклона зубьев	$\beta$	0°00'00"
Диаметр вершин зубьев	$d_a$	99	Диаметр вершин зубьев	$d_a$	20
Делительный диаметр	$d$	97	Делительный диаметр	$d$	18
Диаметр впадин зубьев	$d_f$	94.5	Диаметр впадин зубьев	$d_f$	15.5
Ширина венца	$b$	20	Ширина венца	$b$	40

Рисунок 3.6 - Параметры зубчатых колес

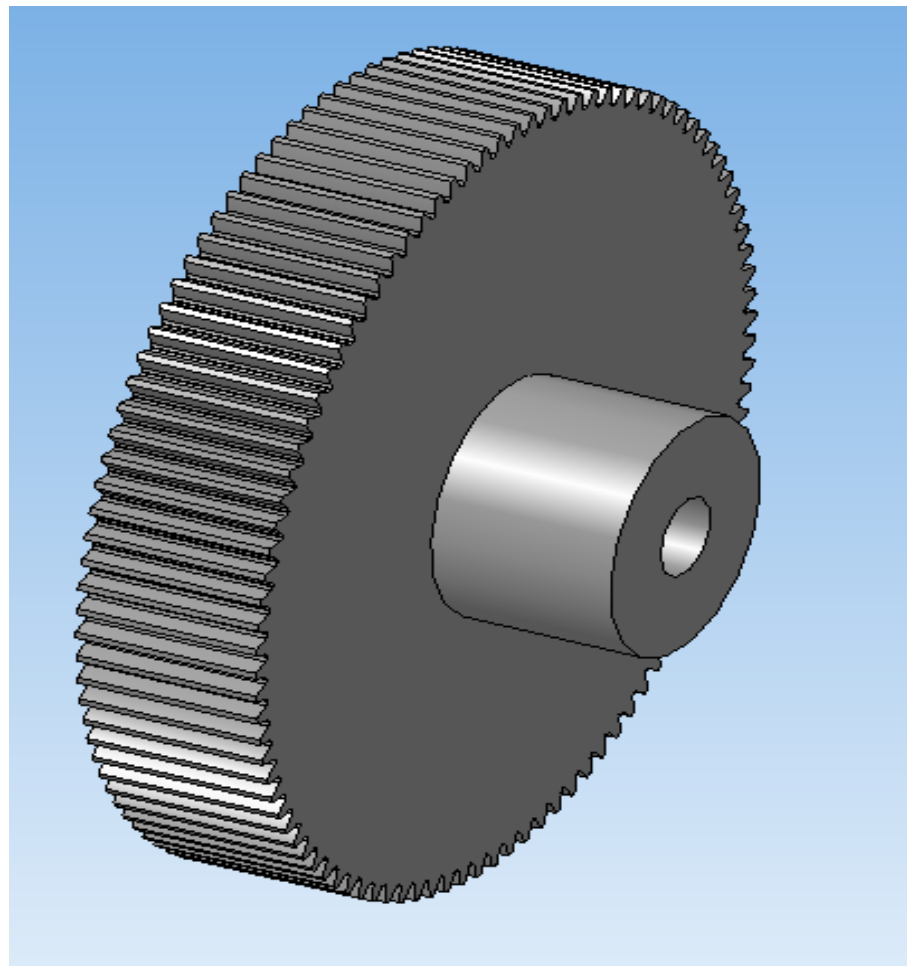


Рисунок 3.7 - 3D модель колеса

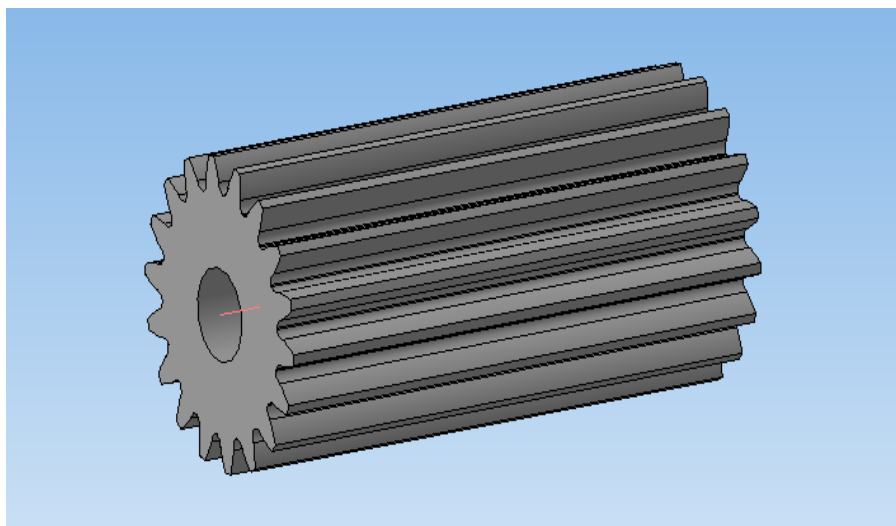


Рисунок 3.8 - 3D модель шестерни

Изготовить из металла данные детали оказалось сложной задачей и не столь необходимой, поэтому зубчатая передача была изготовлена из пластмассы на 3D принтере.

### **3.3 Результат конструирования и сборки системы**

После изготовления и приобретения всех деталей, необходимых для монтажа системы, была осуществлена ее сборка. На рисунках 3.9 и 3.10 изображены фотографии собранной системы. Спроектированная система функционирует, вращение потенциометра осуществляется плавно, прочности пластмассовой зубчатой передачи достаточно для выдерживания нагрузки, оказываемой на нее.

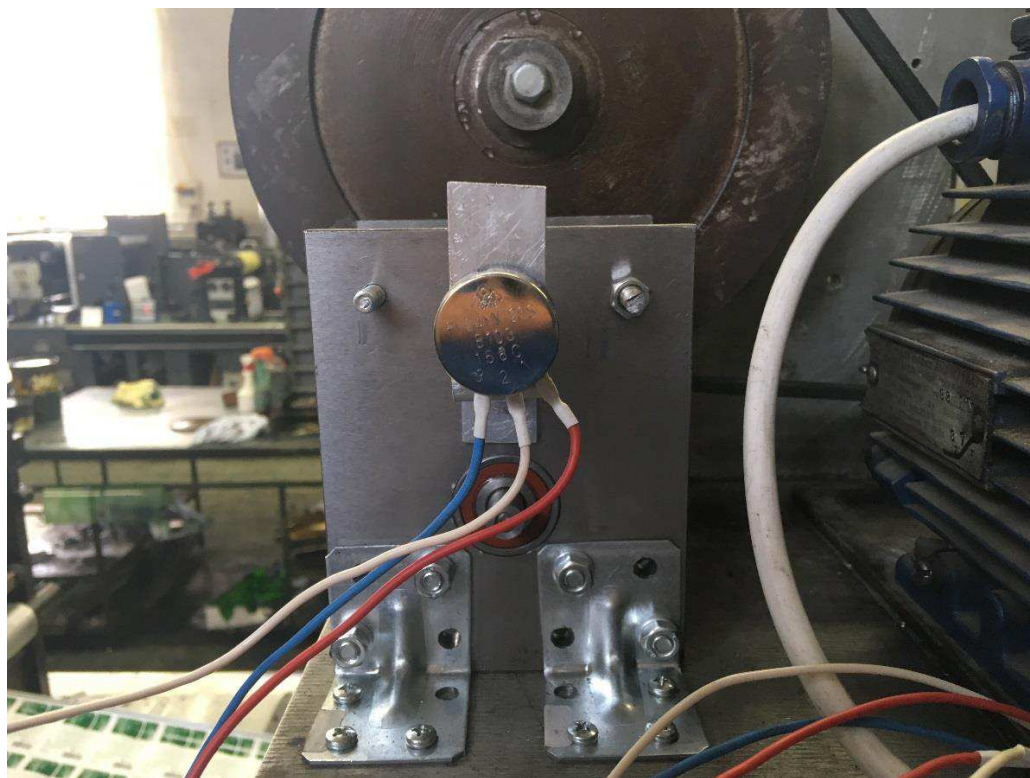


Рисунок 3.9 - Фотография системы (вид слева)

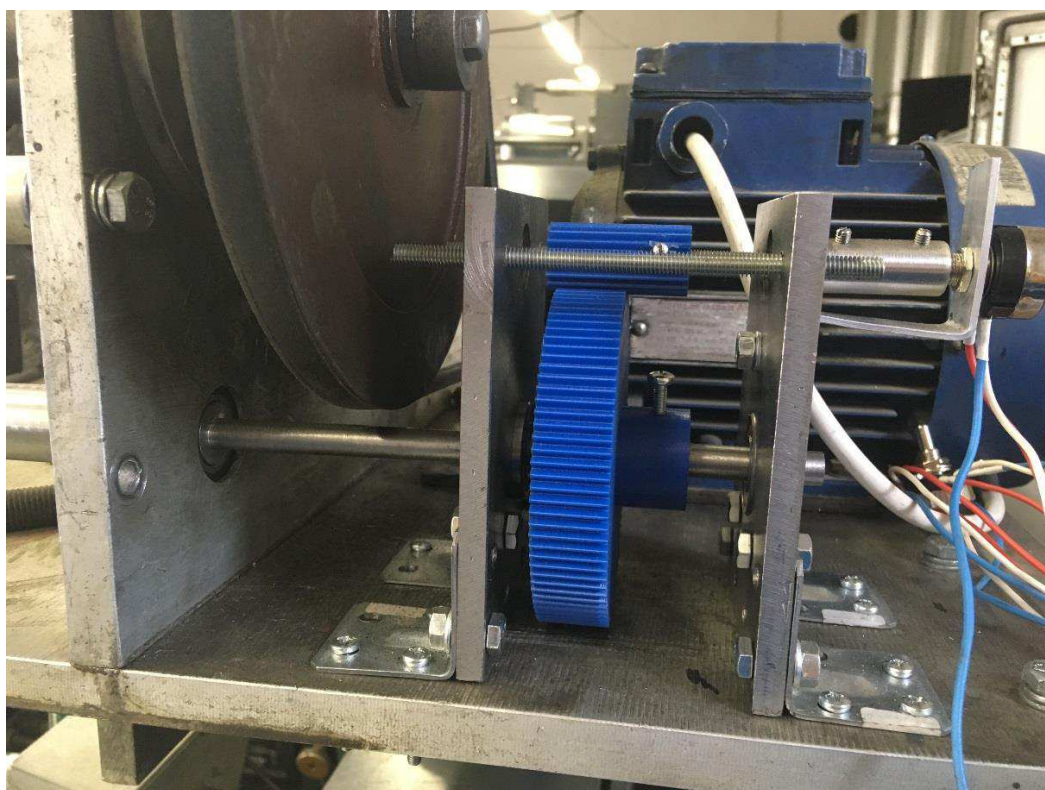


Рисунок 3.10 – Фотография системы (главный вид)



#### 4 Схема электрическая принципиальная

Принципиальная схема подключения двигателя устройства смотки приведена на рисунке 4.1:

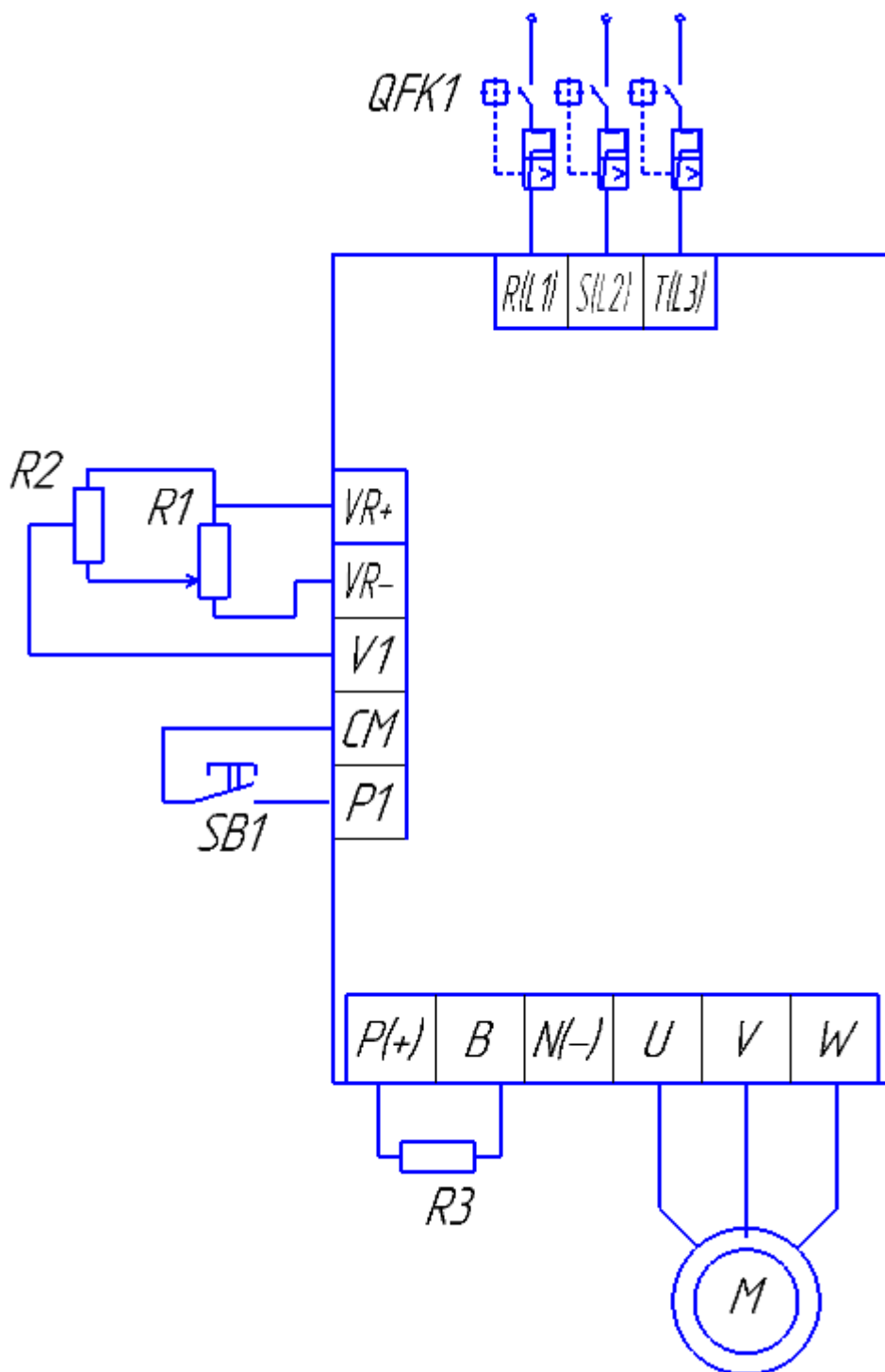


Рисунок 4.1 - Схема электрическая принципиальная

Через клеммы R(L1), S(L2), T(L3) на преобразователь частоты подается входное трехфазное напряжение  $U=380\text{В}$  и частотой равной 50 Гц из сети. Перед

преобразователем подключается автомат защиты двигателя на 6 Ампер(QFK1), так как преобразователь при включении питания потребляет большой ток. Как было сказано до этого, обратная связь осуществляется через потенциометр R1 (позиция 5) на сборочном чертеже. Для осуществления регулирования к нему подключается второй потенциометр, который соединен с клеммами задания опорной частоты VR+ и V1. То есть в зависимости от положения потенциометра на клеммы подается различное напряжение, исходя из которого преобразователь подает питание на двигатель. Вторым потенциометр R2, подключенный к R1, выполняет роль возможной регулировки для того, чтобы оператор мог подстроить работу системы, не изменяя настройки преобразователя в случаях использования разных материалов по плотности, либо изменения скорости подачи материала на станке. Также к клеммам управления CM и P1 подсоединена кнопка для запуска преобразователя в данном режиме работы. На рисунке 4.2 изображена панель управления для оператора, выведенная на установку, чтобы ему не приходилось открывать электрический шкаф.

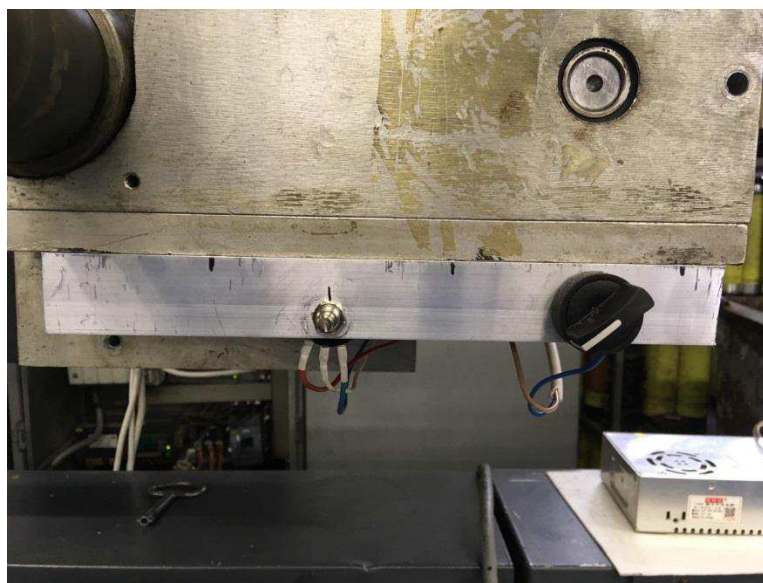


Рисунок 4.2 – Панель управления оператора

Двигатель подсоединен к преобразователю частоты через клеммы выхода преобразователя (U, V, W). Также к выходу преобразователя подсоединяется тормозной резистор через клеммы P+, B.

## 5 Векторное управление

5.1 Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Частота вращения ротора асинхронного двигателя, определяется по формуле:

$$n = n_1(1 - s) \quad (5.1)$$

Способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей, исходя из выражения 5.1 подразделяются на два класса:

1) регулирование частоты вращения первичного магнитного поля, согласно формуле:

$$n_1 = \frac{f_1}{p} \quad (5.2)$$

что достигается либо регулированием первичной частоты  $f_1$ , либо изменением числа пар полюсов  $p$  двигателя;

2) Регулирование скольжения двигателя  $s$  при  $n_1 = \text{const}$ . В первом случае КПД двигателя остается высоким, а во втором случае КПД снижается тем больше, чем больше  $s$ , так как при этом мощность скольжения теряется во вторичной цепи двигателя:

$$P_s = sP_{эм} \quad (5.3)$$

5.1.1 Регулирование частоты вращения изменением первичной частоты (частотное регулирование)

Данный вид требует применения источников питания с регулируемой частотой (синхронные генераторы с переменной частотой вращения, ионные или полупроводниковые преобразователи частоты и др.). Поэтому этот способ регулирования используется главным образом в случаях, когда для целых групп двигателей необходимо повышать ( $n > 3000$  об/мин) частоты вращения (например, ручной металлообрабатывающий инструмент, некоторые механизмы деревообрабатывающей промышленности и др.). С развитием полупроводниковых преобразователей частоты все более перспективным

становится индивидуальное частотное регулирование частоты вращения двигателей[8].

Если пренебречь относительно небольшим падением напряжения в первичной цепи асинхронного двигателя, то

$$U_1 = E_1 = 4,44f_1 w_1 k_{об1} \Phi_\delta \quad (5.4)$$

Существенное изменение потока  $\Phi_\delta$  при регулировании  $n$  нежелательно, так как  $\Phi_\delta$ , превышающий нормальный, вызывает увеличение насыщения магнитной цепи и сильное увеличение намагничивающего тока, а уменьшение  $\Phi_\delta$  вызывает недоиспользование машины, уменьшение перегрузочной способности и увеличение тока  $I_2$  при неизменном значении  $M$ . Поэтому в большинстве случаев целесообразно поддерживать  $\Phi_\delta = \text{const}$ . При этом из соотношения (5.4) следует, что одновременно с регулированием частоты необходимо пропорционально ей изменять напряжение, то есть поддерживать отношение напряжения к частоте постоянным:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} \quad (5.5)$$

Отступление от этого правила целесообразно только в случаях, когда  $M_{ст}$  быстро уменьшается с уменьшением  $n$  (например, в приводах вентиляторов, когда  $M_{ст}$  пропорционально  $n^2$ ). В этом случае более быстрое уменьшение  $U_1$  по сравнению с  $f_1$  улучшает энергетические показатели двигателя ( $\cos \varphi$  и КПД), и в то же время уменьшение  $M_m$  с точки зрения перегрузочной способности не опасно. [8]

### 5.1.2 Регулирование частоты вращения изменением числа пар полюсов

Еще один способ регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, число полюсов изменяется только для обмотки статора. Есть два способа изменения числа пар полюсов:

- применение на статоре нескольких обмоток, которые уложены в общих пазах и имеют разные числа пар полюсов  $p$ ;
- применение обмотки специального типа, которая позволяет получить различные значения  $p$  изменением (переключением) схемы соединений обмотки.

Предложено значительное количество различных схем обмоток с переключением числа полюсов, однако широкое распространение получили только некоторые. Применение нескольких обмоток невыгодно, так как при этом из-за ограниченного места в пазах сечение проводников каждой из обмоток нужно уменьшить, что приводит к снижению мощности двигателя. Использование обмоток с переключением числа полюсов вызывает усложнение коммутационной аппаратуры, в особенности если с помощью одной обмотки желают получить более двух частот вращения или две частоты вращения, отношение которых не равно двум. [8]

Двигатели с изменением числа пар полюсов называются многоскоростными. Они обычно выпускаются на 2, 3 или 4 частоты вращения, причем двухскоростные двигатели изготавливаются с одной обмоткой на статоре и с переключением числа пар полюсов в отношении  $p_2 : p_1 = 2 : 1$ , трехскоростные двигатели — с двумя обмотками на статоре, из которых одна выполняется с переключением  $p_2 : p_1 = 2 : 1$ , четырехскоростные двигатели — с двумя обмотками на статоре, каждая из которых выполняется с переключением числа полюсов в отношении  $2 : 1$ .

## **5.2 Частотное управление асинхронным электродвигателем**

Современный частотно-регулируемый электропривод широкого применения состоит из асинхронного короткозамкнутого электродвигателя и статического преобразователя частоты со звеном постоянного тока. Преобразователь частоты из постоянного напряжения звена постоянного тока формирует напряжение, переменное по частоте и амплитуде. Изменение частоты напряжения и его амплитуды приводит к изменению частоты вращения магнитного поля статора и, как следствие, к изменению скорости вращения вала электродвигателя. В настоящее время известны следующие законы частотного управления асинхронным короткозамкнутым двигателем:

- скалярное управление;
- векторное управление;

- прямое управление моментом.

Обычно современные преобразователи частоты дают возможность реализовать несколько законов управления электродвигателем, для этого в них заложено программное переключение известных законов. Наибольшее распространение получили асинхронные электроприводы со скалярным управлением. Его используют в приводах компрессоров, вентиляторов, насосов и прочих механизмов в которых необходимо удерживать на определенном уровне или скорость вращения вала электродвигателя (применяется датчик скорости), либо какого-то технологического параметра (к примеру, давление в трубопроводе, с применением соответствующего датчика).

Принцип действия скалярного управления асинхронным двигателем - амплитуда и частота питающего напряжения изменяются по закону  $U/f^n = \text{const}$ , где  $n \geq 1$ . То, как будет выглядеть данная зависимость в конкретном случае, зависит от требований, предъявляемых нагрузкой электроприводу. Как правило, в качестве независимого воздействия выступает частота, а напряжение при определенной частоте определяется видом механической характеристики, а также значениями критического и пускового моментов.

Благодаря скалярному управлению обеспечивается постоянная перегрузочная способность асинхронного двигателя, независящая от частоты напряжения, и все же при довольно низких частотах может произойти значительное снижение момента, развиваемого двигателем. Максимальное значение диапазона скалярного управления, при котором возможно осуществление регулирования значения скорости вращения ротора электродвигателя, без потери момента сопротивления не превышает 1:10.

Скалярное управление асинхронным двигателем довольно просто реализуется, но все же имеются два значительных недостатка. Во-первых, если на валу не установлен датчик скорости, то невозможно осуществлять регулирование значения скорости вращения вала, поскольку она зависит от воздействующей на электропривод нагрузки. Установка датчика скорости с легкостью решает данную проблему, но еще одним значительным недостатком

остается – отсутствие возможности регулирования значения момента на валу двигателя. Можно, конечно, установить датчик момента, но стоимость подобных датчиков, как правило, превышает стоимость самого электропривода. Причем, даже если установить датчик управления моментом, то процесс управления этим самым моментом окажется невероятно инерционным. Еще одно «но» - скалярное управление асинхронным двигателем характеризуется тем, что невозможно осуществление одновременного регулирования скорости и момента, поэтому приходится осуществлять регулирование той величины, которая в данный момент времени наиболее важна в силу условий технологического процесса. Дабы устранить недостатки, которыми обладает скалярное управление двигателем, еще в 71-м году прошлого века компанией SIEMENS было предложено внедрение метода векторного управления двигателем. В первых электроприводах с векторным управлением использовались двигатели, в которых были встроены датчики потока, что значительно ограничивало область применения подобных приводов. Система управления современных электроприводов содержит в себе математическую модель двигателя, позволяющую рассчитать скорость вращения и момент вала. Причем в качестве необходимых датчиков устанавливаются только датчики тока фаз статора двигателя. Специально разработанная структура системы управления обеспечивает независимость и практически безынерционность регулирования основных параметров – момент вала и скорость вращения вала. [9]

К сегодняшнему дню сформировались следующие системы векторного управления асинхронным двигателем:

- бездатчиковые – на валу двигателя отсутствует датчик скорости;
- системы, имеющие обратную связь по скорости.

Применение методов векторного управления зависит от области применения электропривода. Если диапазон измерения значения скорости не превышает 1:100, а требования, предъявляемые к точности, колеблются в пределах  $\pm 1,5\%$ , то используется бездатчиковая система управления. Если измерение скорости осуществляется в пределах достигающих значений 1:10000

и больше, а уровень точности должен быть довольно высоким ( $\pm 0,2\%$  при частоте вращения ниже 1 Гц), или же необходимо позиционировать вал или осуществлять регулирование момента на валу при низких частотах вращения, то применяется система, имеющая обратную связь по скорости.

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

- 1) высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости;
- 2) осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;
- 3) если установлен датчик скорости, то можно достичь номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости;
- 4) быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода;
- 5) высокий коэффициент полезного действия двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на очевидные преимущества, метод векторного управления имеет и определенные недостатки – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, нежели при скалярном методе управления. Кстати, существуют такие сферы, где используются электроприводы исключительно со скалярным методом управления. К примеру, групповой электропривод, в котором один преобразователь подпитывает несколько двигателей.

Наиболее перспективным развитием системы векторного управления является прямое управление моментом. Данная система управления асинхронным электроприводом обладает рядом преимуществ:

- 1) увеличенное в несколько раз быстродействие по моменту и потоку, по сравнению с «классическим» векторным управлением;
- 2) небольшая пульсация момента, которая зависит лишь от настройки компаратора момента;



3) робастность к изменениям параметров двигателя, обеспечиваемая за счет использования предельно упрощенного математического аппарата и отказа от Пропорционально-интегрально-дифференцирующий регуляторов (ПИД-регулятор) в пользу компараторов;

4) постоянная частота переключения и низкая частота выборки.

Прямое управление моментом – стало возможным для реализации благодаря бурному развитию элементной базы микропроцессорной техники и силовой электроники. [9]

### **5.3 Векторное управление асинхронным двигателем**

Принято различать два основных способа управления электроприводами переменного тока, использующими в качестве преобразователей энергии полупроводниковые преобразователи частоты: скалярное и векторное.

При скалярном управлении в электроприводе реализуется один из статических законов частотного управления. На выходе системы управления формируется задание по частоте и амплитуде выходного напряжения ПЧ. Область применения таких систем: асинхронный электропривод, к которому не предъявляются повышенных статических и динамических требований, вентиляторы, насосы и прочие общепромышленные механизмы.

При векторном управлении управление осуществляется по мгновенным значениям переменных. В цифровых векторных системах может выполняться управление по эквивалентным (усредненным на интервале дискретности управления) переменным.

В 1971 году Блашке предложил принцип построения системы управления асинхронным двигателем, в котором использовалась векторная модель асинхронного двигателя с ориентацией системы координат по потокосцеплению ротора. Этот принцип называется также прямым управлением моментом. Векторное управление позволяет существенно увеличить диапазон управления, точность регулирования, повысить быстродействие электропривода. Этот метод обеспечивает непосредственное управление вращающим моментом двигателя.

Вращающий момент определяется током статора, который создает возбуждающее магнитное поле. При непосредственном управлении моментом необходимо изменять, кроме амплитуды, и фазу статорного тока, то есть вектор тока. Этим и обусловлен термин «векторное управление».

Для управления вектором тока, а, следовательно, положением магнитного потока статора относительно вращающегося ротора требуется знать точное положение ротора в любой момент времени. Задача решается либо с помощью выносного датчика положения ротора, либо определением положения ротора путем вычислений по другим параметрам двигателя. В качестве этих параметров используются токи и напряжения статорных обмоток.

Менее дорогим является частотно регулируемый электропривод с векторным управлением без датчика обратной связи скорости, однако векторное управление при этом требует большого объема и высокой скорости вычислений от преобразователя частоты. Кроме того, для непосредственного управления моментом при малых, близких к нулевым скоростям вращения работа частотно-регулируемого электропривода без обратной связи по скорости невозможна. Векторное управление с датчиком обратной связи по скорости обеспечивает диапазон регулирования до 1:1000 и выше, точность регулирования по скорости – сотые доли процента, точность по моменту – единицы процентов. [9]

Векторное управление является методом управления синхронными и асинхронными двигателями, не только формирующим гармонические токи (напряжения) фаз (скалярное управление), но и обеспечивающим управление магнитным потоком ротора. Первые реализации принципа векторного управления и алгоритмы повышенной точности нуждаются в применении датчиков положения (скорости) ротора.

Структурная схема системы векторного управления, выбранная для исследования и моделирования, представлена на рисунке 5.1:

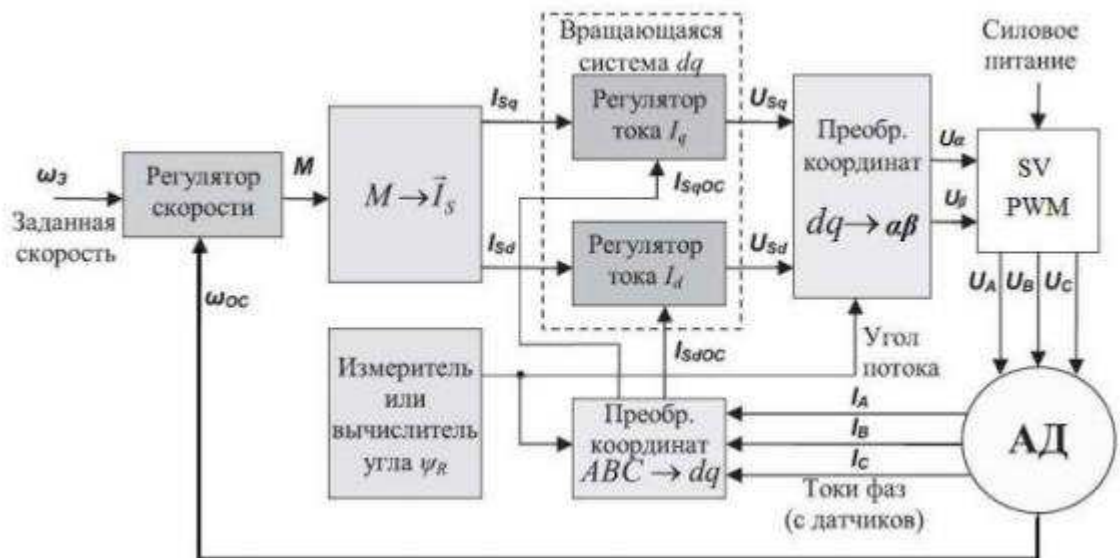


Рисунок 5.1- Упрощенная структура системы векторного управления АД.

Качество векторного управления АД зависит во многом от настройки регуляторов скорости и тока, дискретности аналого – цифрового преобразователя и алгоритмов векторной широтно – импульсной модуляции. Для качественной настройки систем векторного управления необходимо разработать и реализовать алгоритмы настройки контуров регулирования по параметрам схемы замещения двигателя АД, а также алгоритмы ШИМ, стремясь их максимально адаптировать для системы управления двигателем на базе микроконтроллера. С этой целью для моделирования и отладки алгоритмов векторного управления двигателем могут быть использованы программно - аппаратные симуляторы электропривода, средства имитационного моделирования. [9]

#### 5.4 Прямое управление моментом

Обеспечение требуемого качества управления технологическим процессом работы электропривода с асинхронным двигателем в первую очередь зависит от системы управления. Способов управления асинхронными двигателями на настоящий момент существует достаточно много, можно выделить такие как реостатный, импульсный, амплитудно-фазовый способы управления, однако наибольшую популярность, благодаря достижениям в

области микропроцессорной техники, получил частотный метод. Данный метод делится на векторное и скалярное управления, при этом векторное управление обладает существенными преимуществами, такими как более высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, быстрое реагирование на возможные изменения нагрузки и так далее. Основная идея векторного управления двигателем заключается в создании условия работы двигателя непосредственно по закону силы Лоренца. Напряжение и частота для этого типа управления являются опосредованными координатами, поскольку крутящий момент создается в результате взаимодействия тока с магнитным полем. При этом векторное управление делится на управление с ориентацией по полю и прямое управление моментом. Управление с ориентацией по полю, также известное как трансвекторное управление, осуществляет управление вектором магнитного поля с помощью тока в направлении координаты  $d$  и квадратурной составляющей поля в ортогональном направлении  $q$ . Для реализации трансвекторного управления необходимо использовать данные об угловом положении ротора, которое может быть получено с помощью датчика положения или с помощью, так называемого наблюдателя состояния при бездатчиковом управлении. Главным недостатком классической векторной системы управления электроприводом является ее сложная структура вследствие необходимости выполнения операций преобразования систем координат из неподвижной во вращающуюся, ориентированную по полю ротора ( $q-d$ ), и обратно.

Метод прямого управления моментом (ПУМ) был предложен и реализован в середине 90-х годов. Достоинством данного способа управления в сравнении с управлением с ориентацией по полю является ее более простая структура.

Основная идея данного управления заключается в том, что на каждом шаге расчета определяется оптимальное состояние инвертора напряжения, которое вызывает изменение как момента, так и потокосцепления статора в необходимом направлении. В результате достигается разделение каналов управления моментом и потоком асинхронного двигателя. Данный способ управления основан на управлении моментом через ток и магнитным полем в соответствии с

напряжением. Одним из достоинств прямого управления моментом является использование датчиков скорости лишь в моменты контроля скорости.

Помимо этого, данная система обладает рядом преимуществ: не требуется преобразование координат в отличии управления ориентации по полю; имеет простую схему управления; хорошую динамику; не требует датчика положения (бездатчиковое управление). Главным преимуществом прямого управления моментом по сравнению с управлением по закону  $U/f=\text{const}$  (модульное управление) в наличие обратной связи, в модульном же управлении применяется разомкнутый принцип управления системы. Системы прямого управления моментом позволяют обеспечить возможность астатического регулирования моментом на низких частотах вращения; без использования датчика скорости. [9]

#### 5.4.1 Принцип работы системы прямого управления моментом

Вначале определяется электромагнитный момент асинхронного двигателя и вектор потокосцепления статора, затем модуль вектора и момента сравниваются с заданными значениями, после посредством регуляторов формируются логические сигналы ошибки. Зная эти сигналы и положение вектора потокосцепления статора можно выбрать оптимальную комбинацию состояний ключей инвертора, при которой сформированный вектор напряжения будет минимизировать отклонение от заданных значений. Высокая эффективность алгоритмов прямого управления моментом позволяет отнести такие системы к наиболее перспективным способам управления асинхронными двигателями. В связи с тем, что асинхронный двигатель является нелинейной системой, то трудно добиться высокого качества управления, используя гистерезисные регуляторы.

Работу системы прямого управления моментом описывает уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$M_{эм} = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L} |\psi_1 \times \psi_2| = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L} \psi_{1m} \psi_{2m} \sin\theta, \quad (5.6)$$

где  $k_1$  - коэффициент электромагнитной связи статора;  $k_2$  - коэффициент электромагнитной связи ротора;  $p$  - число пар полюсов;  $\sigma$  - коэффициент рассеяния;  $L$  - индуктивность обмотки статора от основного магнитного потока;  $\psi_1, \psi_2$  - потокосцепления статора и ротора;  $|\psi_1| = \psi_{1m}$ ;  $|\psi_2| = \psi_{2m}$ ;  $\theta$  - пространственный угол между векторами потокосцеплений статора и ротора.

Из уравнения статора АД в неподвижной системе координат можно определить связь между векторами напряжения и потокосцепления

$$u_1 = r_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} \rightarrow \psi_1 = \int (u_1 - r_1 i_1) dt \quad (5.7)$$

Полагая  $r_1 \approx 0$  и переходя к конечным разностям, получим:

$$\Delta\psi_1 \approx u_1 \Delta t \quad (5.8)$$

Таким образом, вектор приращения потокосцепления статора  $\Delta\psi_1$  совпадает по направлению с вектором напряжения  $u_1$  и пропорционален длительности его формирования.

Функциональная схема одной из реализаций системы ПУМ приведена на рисунке 5.1. Она имеет два канала управления скоростью вращения  $\omega^*$  и модулем потокосцепления статора  $|\psi_1|^*$ . На входе канала управления скоростью установлен задатчик интенсивности (ЗИ), ограничивающий ускорение при разгоне и снижении скорости. Ограничение ускорений необходимо для уменьшения нагрузок на автономный инвертор напряжения (АИН). При разгоне ЗИ ограничивает ток АИН, а при замедлении – рассеяние или возврат энергии в источник. Как и в системе трансвекторного управления для исключения значительного перерегулирования на выходе ЗИ целесообразно установить апериодический фильтр первого порядка (Ф). На выходе ПИ регулятора скорости (РС) формируется сигнал задания момента  $m^*$ , ограниченный нелинейным звеном насыщения. Идентификации потокосцеплений статора и ротора производится адаптивным наблюдателем, в котором используется информация о текущих значениях токов и напряжении статора.



логические сигналы ошибок этих величин. Величина гистерезиса характеристик регуляторов определяет допустимое отклонение от заданного значения, а также частоту коммутации ключей АИН. Поэтому если требуется управление частотой коммутации при изменении частоты вращения магнитного поля или ее ограничение, то используют регуляторы момента и потока с управляемым гистерезисом.

Сигналы ошибок и текущего угла потокосцепления статора  $\psi_1$  поступают на вход селектора вектора напряжения (СВН), который осуществляет управление ключами АИН в соответствии, например, с приведенной выше таблицей.

Из выражений (5.9) следует, что основной задачей, от решения которой зависит работоспособность системы, является идентификация потокосцепления статора  $\psi_1$ , т.к. эта величина используется во всех последующих вычислениях. Она определяется интегрированием, а эта операция в принципе приводит к накоплению ошибки. В данном случае источником появления ошибки является неточность определения активного сопротивления статора  $r_1$  и его изменение под влиянием нагрева в процессе работы АД. Ошибка определения  $r_1$  более чем 10% приводит к потере работоспособности системы ПУМ. Поэтому в таких устройствах используют режим предварительной идентификации параметров двигателя и алгоритмы адаптации в процессе работы. Сопротивление ротора  $r_2$  также изменяется, но чувствительность системы к ошибке его идентификации невелика и сказывается только на точности оценки частоты вращения в приводе без датчика скорости.

Предварительная идентификация параметров АД производится при пуске. Для этого используется режим возбуждения магнитного потока, при котором напряжение на двух фазах статора модулируется переключением векторов  $u^{(k)}$ ,  $u^{(0)}$  так, чтобы среднее значение тока  $I_{cp}$  не превышало допустимое. Тогда по средним значениям можно определить  $r_1$  с погрешностью не более 1% как

$$r_1 = \frac{U_{cp}}{I_{cp}} \quad (5.11)$$



Для определения полной индуктивности статора  $L_1$  также используют режим предварительного возбуждения постоянным током. При этом АД сначала намагничивается током близким к номинальному значению, а затем система переводится в режим поддержания заданного потокосцепления  $|\psi_1|^*$ . Так как до этого сопротивление  $r_1$  уже было определено, и ошибка интегрирования за время теста не успевает накопиться, то

$$L_1 = \frac{|\psi_1|}{I_{cp}} \quad (5.12)$$

Принимая предварительно  $L_2 \approx L_1$ , можно определить полную взаимную индуктивность  $L_m$  из зависимости

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \quad (5.11)$$

Идентификация  $r_2$  выполняется также в режиме намагничивания на основе линейной аппроксимации кривой намагничивания ротора:

$$r_2 = -\frac{\psi_{20}}{t_m I_{2cp}} \quad (5.12)$$

## 6 Подключение и настройка преобразователя частоты

### 6.1 Описание интерфейса пульта управления

Как было сказано в предыдущих разделах, основное устройство, которое позволит осуществить поставленную задачу-это преобразователь частоты. Для того чтобы приступить к настройке режима работы двигателя, сначала необходимо ознакомиться с устройством ЖК пульта управления, изображенным на рисунке 6.1. Также на рисунке 6.2 изображена таблица, описывающая назначение всех кнопок и индикаторов. Использование показало, что интерфейс пульта управления очень удобен и хорошо продуман. На рисунке 6.3 продемонстрирована таблица, описывающая группы настраиваемых параметров преобразователя частоты.

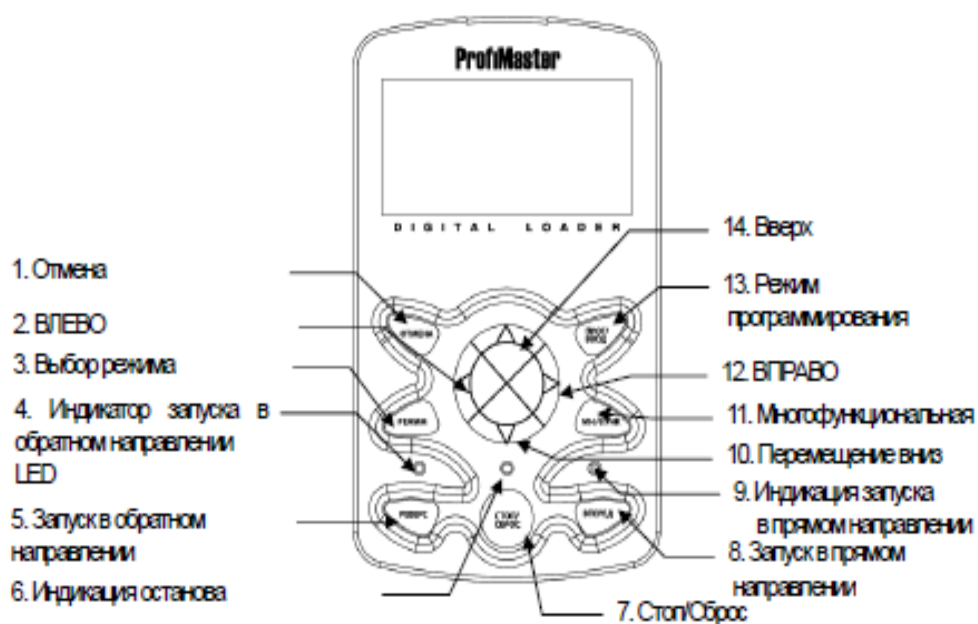


Рисунок 6.1 - Пульты управления

Раздел	Кнопки	Название	Описание
Кнопка		Кнопка «РЕЖИМ»	- Изменение режима
		Кнопка «ПРОГ/ВВОД»	- Запись, изменение и сохранение данных, переход между группами.
		(Вверх)	- Используется для записи данных и перехода между группами.
		(Вниз)	- Переход между группами.
		(ВЛЕВО), (ВПРАВО)	- Перемещение курсора при записи.
		Многофункциональная кнопка	- JOG управление или пользовательская функция.
		Кнопка отмена	- При записи можно вернуться к ранее сохраненным данным. - Переход к первому коду, при необходимости. - Переход в режим мониторинга при прокрутке режимов.
		Кнопка «ВПЕРЕД»	- Вращение в прямом направлении.
	Кнопка «РЕВЕРС»	- Вращение в обратном направлении.	
	КНОПКА «СТОП/СБРОС»	- Останов в рабочем режиме. - Сброс ошибки.	

Рисунок 6.2 – Назначение кнопок пульта управления

Режим	Дисплей	Описание
Группа привода	DRV	Основные необходимые функции, включая частоту / время разгона / торможения, выбор команды управления.
Базовая группа	BAS	Задаются базовые параметры, такие как характеристики двигателя, последовательность частот и т.п.
Дополнительная группа параметров	ADV	Задаются кривые разгона / торможения и управления частотой.
Группа управление	CON	Задаются параметры бездатчикового / векторного управления.
Группа настройки входов	IN	Задаются параметры, связанные с входными клеммами управления, включая многофункциональные дискретные и аналоговые входы.
Группа настройки выходов	OUT	Задаются параметры, связанные с выходными клеммами, включая многофункциональные релейные и аналоговые выходы.
Группа параметров связи	COM	Задаются параметры, связанные с встроенным RS485 и опциональными платами связи.
Группа специальных применений	APP	Задаются ПИД параметры и последовательность операций.
Группа настройки параметров	AUT	Эта группа отображается, если в группе APP выбрана функция авто последовательности, задаются необходимые параметры.
Группа опций	ARO	Задаются параметры, связанные с энкодером и опцией ППК, если он используется.
Группа защиты	PRT	Задаются параметры защиты двигателя и преобразователя.
Группа 2-го двигателя	M2	Эта группа отображается, если один из многофункциональных входов настроен на «2й набор пар».

Рисунок 6.3 - Описание групп параметров настройки

На рисунке 6.4 показывается изображение на экране в режиме мониторинга. В этом режиме на экран выводятся основные величины, описывающие состояние работы преобразователя: ток, частота вращения и напряжение.

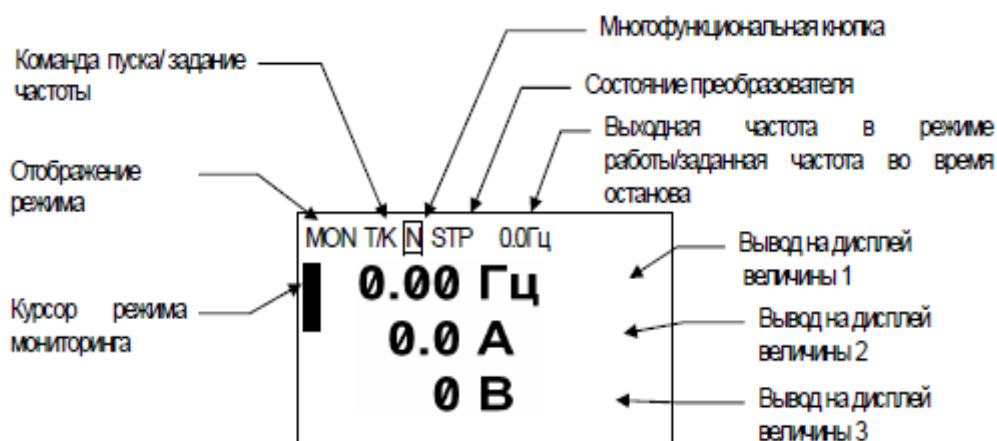


Рисунок 6.4 - Изображение на экране пульта в режиме мониторинга

## 6.2 Настройка работы двигателя с преобразователем частоты

### 6.2.1 Режим векторного управления “Сенсор 2”

Как было отмечено ранее, данный ПЧ способен управлять двигателем различными методами. Режим, подходящий для данного режима работы – это векторное управление двигателем “Сенсор 2”. В этой главе будут описаны возможности данного метода управления и принцип настройки для данного режима работы.

### 6.2.2 Авто настройка параметров двигателя

Для начала, конечно, необходимо внести основные параметры двигателя в преобразователь частоты. Некоторые параметры двигателя могут быть измерены автоматически. Если к преобразователю подключена опциональная карта энкодера, можно также протестировать его работы. Измеряемые в процессе автотюнига параметры используются для функций автоматического усиления момента, векторного управления с датчиком и без датчика и др. [1] Воспользуемся режимом настройки с вращением двигателя, так как есть

возможность отсоединения двигателя от нагрузки. С помощью пульта управления вводим параметры:

-DRV-14 мощность двигателя равная 0.4 кВт (значение мощности отлично от номинально двигателя, потому что в преобразователе забиты стандартные значения и 0.4 кВт-это значение максимально приближенное к номинальному);

- BAS-11 N количество полюсов равное четырем;

- BAS-12 номинальное скольжение равное 0.066 относительных единиц;

- BAS-13 номинальный ток двигателя равный 1.5 Ампера;

- BAS-15 номинальное напряжение равное 380 Вольт.

После введения перечисленных параметров приступаем к настройке остальных параметров. В ячейке BAS-20 выбираем 1: Полный. Параметры двигателя измеряются во время вращения. Измеряются сопротивление статора ( $R_s$ ), индукция ( $L_{\sigma}$ ), индуктивность статора ( $L_s$ ), ток холостого хода ( $I_{xx}$ ) и постоянная времени ротора ( $T_r$ ). Если подключена опциональная карта энкодера, он также проверяется. Для проверки параметров энкодера, необходимо предварительно установить его параметры. Для использования векторного регулирования необходимо провести авто настройку параметров двигателя. Если нагрузка подключена к валу двигателя, ток холостого хода не может быть измерен. Для правильных измерений отсоедините нагрузку от двигателя. Если используется векторное управление без датчика (DRV-09 установлен в Сенсор2), измеряется постоянная времени ротора ( $T_r$ ). [1]

После авто настройки все необходимые параметры внеслись в преобразователь частоты.

### 6.2.3 Настройка режима работы векторного управления “Сенсор 2”.

На рисунке 6.5 изображена таблица с параметрами данного метода управления.

Группа	Код №	Индикация на дисплее		Установленное значение	Ед. изм
DRV	09	Вид Управления	3	Сенсор-2	-
	10	Управление М	0	Нет	-
	14	Мощность Двиг.	x	Мощность двигателя	кВт
BAS	11	N полюсов дв.	-	4	-
	12	Скольжение	-	Зависит от мощности двигателя	Гц
	13	Ином дв.	-	Зависит от мощности двигателя	А
	14	«I x x»	-	Зависит от мощности двигателя	А
	15	Уном дв.	-	220/380/440/480	В
	16	КПД.	-	Зависит от мощности двигателя	%
	20	Автотест	2	Rs+Lsigma	-
CON	20	Настр век SL2	1	Да	-
	21	П1 вект SL	-	Зависит от мощности двигателя	%
	22	И1 вект SL	-	Зависит от мощности двигателя	мс
	23	П2 вект SL	-	Зависит от мощности двигателя	%
	24	И2 вект SL	-	Зависит от мощности двигателя	%
	26	Ус средн и низ	-	10500	-
	27	Ус средн и выс	-	100.0	%
	28	Усил по М	-	13000	-
	29	Оценка П1 сост	-	Зависит от мощности двигателя	-
	30	Оценка И1 сост	-	Зависит от мощности двигателя	-
31	Оценка П2 сост	-	Зависит от мощности двигателя	%	
32	Оценка И2 сост	-	Зависит от мощности двигателя	%	
48	Настр П ток	-	1200	-	
49	Настр И ток	-	120	-	

Рисунок 6.5 - Таблица параметров

Значения разделов DRV (кроме DRV-10 управление моментом) и BAS были описаны в разделе 6.2.2, поэтому их описание здесь будет опущено. В данном разделе будет уделено внимание разделу CON, наличие которого демонстрирует преимущество выбранного метода управления.

## 1) Контроллер скорости

CON-21 П1 вект SL, CON-22 И1 вект SL: можно изменить параметры контроллера скорости для режима векторного управления Сенсор(II) в зависимости от нагрузки. Коэффициент «П1 вект» пропорционально изменяет момент при отклонении скорости от заданной. Поэтому чем больше разница в скорости, тем быстрее она должна уменьшаться. Коэффициент «И1 вект» - интегральный коэффициент для контроллера скорости. Величина накапливается по мере продолжительности ошибки в мс и влияет на величину выходного момента. Чем меньше значение, тем быстрее уменьшается разница в скорости. Для увеличения скорости реакции контроллера скорости следует увеличить пропорциональный коэффициент и уменьшить время интегрирования. Если время интегрирования слишком маленькое, могут возникнуть неустойчивость и колебания. Для снижения колебаний необходимо увеличить величину интегральной составляющей. CON-23 П2 вект SL, CON-24 И2 вект SL: отображаются только если параметр Настр вект SL2(CON-20) установлен в 1 (Да). Используется при работе в векторном режиме. Сенсор(II) на частотах выше, чем базовая частота. Параметр CON-23 П2 вект SL устанавливается в процентах от параметра CON-21 П1 вект SL. Например, если CON-21 П1 вект SL установлен в 50.0% и CON-23 П2 вект SL установлен 50.0%, то пропорциональный коэффициент контроллера установлен в 25.0%. CON-24 И2 вект SL также устанавливается в процентах от CON-22 И1 вект SL. Для интегрального коэффициента I Gain2 чем меньше значение, тем медленнее скорость реакции. Например, если CON-22 И1 вект SL установлен в 100 мс и CON-24 И2 вект SL установлен в 50.0%, то скорость реакции контроллера будет 200 мс. Начальные значения устанавливаются в соответствии с параметрами двигателя и временем разгона/торможения. [1]

## 2) Контроллер слежения за магнитным потоком

CON-26 Ус средн и низ, CON-27 Ус средн и выс, CON-28 Усил по М: для векторного управления Сенсор(II), необходимо оценивать ток статора и магнитный поток ротора. Коэффициент Ус средн и низ (CON-26) применяется

при низкой и средней скорости, Ус средн и выс (CON-27) применяется на высокой скорости и Усил по М(CON-28) применяется в режиме работы по моменту. Не рекомендуется изменять установленные по умолчанию значения коэффициентов. Параметры Ус средн и выс (CON-27) и Усил по М (CON-28) отображаются, только если параметр Настр век SL2 (CON-20) установлен в 1 (Да). [1]

### 3) Коэффициент оценки скорости

CON-29 Оценка П1 сост, CON-30 Оценка И1 сост: можно изменить коэффициенты контроллера оценки скорости для векторного управления Сенсор (II). Пропорциональный и интегральный коэффициенты оценки скорости можно изменять в небольших пределах для регулировки, когда отображаемое значение скорости не соответствует нормальному значению. Также можно подстроить данные коэффициенты в случае значительной вибрации двигателя колебаниях в потреблении тока. Как правило, при регулировках следует незначительно уменьшить установленные параметры. Изначально коэффициенты устанавливаются в соответствии с параметрами двигателя и временем разгона/торможения. CON-31 Оценка П2 сост, CON-32 Оценка И2 сост: отображаются, если параметр Настр век SL2 (CON-20) установлен в 1 (Да). Коэффициент оценки скорости, можно изменить для скоростей вышесредней для векторного управления Сенсор (II). Параметры CON-31 Оценка П2 сост и CON-32 Оценка И2 сост - устанавливаются как процентное соотношение коэффициентов CON-29 Оценка П1 сост и CON-30 Оценка И1 сост. Например, если CON-29 Оценка П1 сост установлен в 300 и CON-31 Оценка П2 сост установлен в 40.0%, значение коэффициента Р контроллера для высоких скоростей составит 120. Способ установки такой же как для коэффициентов регулятора скорости. Начальные установки коэффициентов в соответствии с параметрами двигателя и временем разгона/торможения. CON-34 (ур. пернапр. С2): в задачах с ударной нагрузкой (пресс и др.: ограничение момента<нагрузки), для настройки режима работы используется параметр CON34 (Ур. пернапр. С2). Значение по умолчанию: 120 % Установите данный параметр в 140~150% и



преобразователь будет работать без перегрузки, даже в случае сильной ударной нагрузки. CON-48 Настр П ток, CON-49 Настр И ток: подстраивает коэффициенты P gain и I gain контроллера скорости. [1]

Из описанных выше функций, была использована только функция “контроллер скорости”. Значение CON-21 П1 вект SL осталось неизменным – 50%, а в И1 вект SL было внесено значение 450 мс для изменения величины выходного момента.

Также в руководстве по эксплуатации указано предупреждение:

Для точной работы в режиме векторного управления необходимо провести авто тюнинг параметров двигателя. Для точной работы векторного управления Сенсор (II), мощность преобразователя должна быть равна номинальной мощности двигателя. Если номинальная мощность двигателя меньше мощности преобразователя в 2 и более раз, могут возникнуть проблемы с точным измерением контрольных характеристик для векторного управления. В этом случае используйте только V/F управление. Также при осуществлении векторного управления Сенсор (II) не подключайте более одного двигателя к преобразователю. [1]

Выбранная мощность двигателя в настройках преобразователя отличается от номинальной, однако всего в 1.375 раза.

#### 6.2.4 Функция управления моментом

##### 6.2.4.1 Настройка преобразователя по моменту и условия работы

Управление моментом – обязательное условие выполнения поставленной задачи, так как рабочий материал имеет низкую прочность. Если при различных положениях “танцора” и соответственно различной степени натяжения материала, момент на валу будет оставаться постоянным, то материал будет порван.

Работа по моменту контролирует заданный момент на валу двигателя. Если выходной момент и момент сопротивления нагрузки равны, то скорость вращения двигателя будет постоянна. Таким образом, скорость вращения

двигателя при работе по моменту определяется нагрузкой. Если выходной момент выше сопротивления нагрузки, то скорость двигателя будет увеличиваться. Для предотвращения бесконтрольного увеличения скорости, рекомендуется задать пределы скорости вращения двигателя. (При выполнении ограничения скорости двигателя его момент не контролируется). [1]

На рисунке 6.6 изображен перечень регулируемых параметров преобразователя.

Группа	Код №	Индикация на дисплее	Установленное значение		Ед. изм
DRV	02	Мзад	-	0.0	%
	08	Задание М	0	Пульт-1	-
	09	Вид Управления	5	Векторное	-
	10	Управление М	1	Да	-
BAS	20	Автотест	1	Да	-
CON	62	Огранич F	0	Пульт-1	-
	63	Огранич F прям	-	50.00	Гц
	64	Огранич F реверс	-	50.00	Гц
	65	х органич F	-	100	%
IN	65~75	Вход Pх	35	F/M	-
OUT	31~33	Реле х or Выход Q1	27	Контр.М	-
	59	Ур Контр1	-	100	%
	60	Ур Контр2	-	5.0	%

Рисунок 6.6 – Перечень регулируемых параметров

Для установки работы по моменту в параметре DRV -09 должен быть выбран способ управления векторный или Сенсор. В нашем случае выбран способ управления “Сенсор 2”, как было упомянуто ранее, что соответствует цифре 4 в ячейке выбора данного параметра. Также необходимо в ячейке DRV-10 указать цифру 1, для подтверждения работы по моменту. [1]

При использовании функции работы по моменту есть ограничения:

Для включения режима управления по моменту, необходимо предварительно настроить параметры бездатчикового векторного управления.

Векторное управление не применимо при работе на низких скоростях в режиме регенерации и в случае слабой нагрузки. Для этих случаев используйте векторное управление с датчиком. При работе в режиме управления по моменту, не переключайте направление во время вращения двигателя. Это может вызвать перегрузку по току или ошибку при торможении. [1]

Настройку бездатчикового управления мы осуществили в предыдущих пунктах, минимальная скорость вращения допустима для данного режима, вращения в противоположном направлении не предусмотрено, следовательно, все условия соблюдены.

#### 6.2.4.2 Выбор источника задания момента

При условии, что мы используем бездатчиковое векторное управление, нам необходимо выбрать источник задания момента для осуществления регулирования работы системы. Возможен выбор следующих источников задания момента:

- задание момента при помощи клавиатуры пульта управления. В параметре CON-02 ( $M_{\text{зад}}$ ), можно задать значение момента вплоть до 180% от номинального момента двигателя;

- момент задается подачей аналогового сигнала по напряжению или по току на клеммы (V1) или (I1) частотного преобразователя.

Как было сказано ранее, мы используем способ подачи аналогового сигнала по напряжению с помощью потенциометра

#### 6.2.4.3 Ограничение скорости

При работе в режиме контроля момента, при определенных параметрах нагрузки, скорость может возрасти неограниченно. Для предотвращения слишком высоких скоростей используется функция ограничения скорости.

Источник задания ограничения скорости, также указывается в настройках аналогового сигнала по напряжению. С целью выполнения условия, описанного выше – было установлено значения ограничения – 40 Гц.

### 6.3 Установка частоты

#### 6.3.1 Описание клемм управления частотного преобразователя

На рисунке 6.7 изображена схема (пример подключения) клемм управления преобразователя.

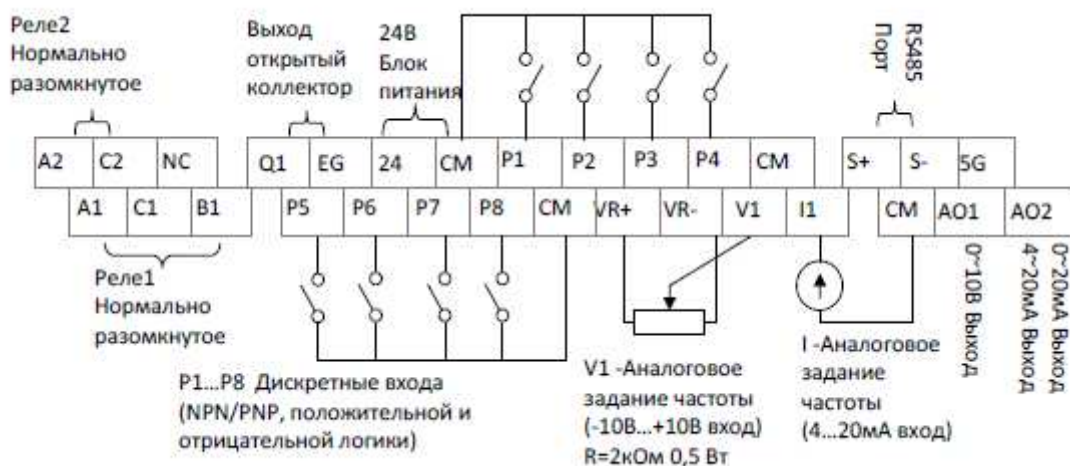


Рисунок 6.7 – Пример подключения клемм управления

В данной работе задействованы клеммы аналогового задания частоты (VR+, VR-, V1), на которые подключены потенциометры и клеммы CM, P1 для подключения кнопки включения.

Также на рисунках 6.8 и 6.9 описываются все клеммы управления и их функции:

Тип	Обозначение	Наименование	Описание	
Входной сигнал	Дискретные входы	P1~P8	Многофункциональные входы 1 – 8	Определяют многофункциональные программируемые входы
		CM	Общий	Общий для входных контактов (Прим.: если основной I/O, общий вход отличается от общего входа 5G)
	Аналоговое задание частоты	VR(+)	Клемма питания (+) для задания частоты	Источник питания для аналогового задания частоты. Макс. выход: +12 В, 100 мА.
		VR(-)	Клемма питания (-) для задания частоты	Источник питания для аналогового задания частоты. Макс. выход: -12 В, 100 мА.
		V1	Задание частоты (напряжение)	Используется для задания опорной частоты: -10 ... +10 В. Униполярный (0 – +10В), биполярный (-10 – +10В). Входное сопротивление 20 кОм
		I1	Задание частоты (ток)	Используется для задания опорной частоты 0 – 20 мА. Входное сопротивление 249 Ом
5G (CM)	Задание частоты (общий)	Общая клемма для задания опорной частоты, напряжения и тока (Прим.: если основной I/O, общий вход отличается от общего входа CM) (зависит от мощности)		
Выходной сигнал	Аналоговый	A01	Многофункциональный аналоговый выход (типа открытый коллектор)	Выбор между выходной частотой, выходным током, выходным напряжением, напряжением звена постоянного тока. Выходное напряжение: 0 – 10 В. Макс. выходное напряжение: 10 В. Макс. выходной ток: 10 мА
		A02	Многофункциональный аналоговый выход тока	Выбор между выходной частотой, выходным током, выходным напряжением, напряжением звена постоянного тока. Выходной ток: 4 – 20 мА (0 – 20 мА). Макс. выходной ток: 20 мА
	Дискретные выходы	Q1	Многофункциональный выход (типа открытый)	26 В~, не выше 100 мА
		EG	Общий выход (открытый коллектор)	Общая клемма заземления для внешнего источника питания (открытый коллектор)
		24	Внешнее питание 24В	Макс. выходной ток: 150 мА
		A1, B1, C1	Аварийный выход	Включается, когда срабатывает защита. (не выше 250 В~ 1 А, 30 В= 1 А) Ошибка: A1-C1 Замыкается (B1-C1 размыкается) Норма: B1-C1 замкнут (A1-C1 разомкнут)
		A2, C2	Многофункциональный. Релейный выход 2 контакта	Определяется путем установки клемм программируемого выхода. 250 В~, не выше 5 А 30 В=, не выше 5 А
		S+, S-, CM (5G)	Клеммы RS-485	Сигнальная линия RS-485 (см. Главу 11 данного руководства) (5G зависит от мощности.)

Рисунок 6.8 – Функции клемм управления

Клемма		Размер кабеля мм <sup>2</sup>	Электрические характеристики
Тип	Наименование		
P1~P8	Многофункциональный вход	0.33 – 1.25	-
CM	Общий (если основной I/O, общий вход отличается от общего входа 5G)		Общая клемма заземления для многофункционального входа
VR+	Источник питания для задания аналогового задания частоты (+)		Выходное напряжение: +12 В Макс. выходной ток: 100 мА
VR-	Источник питания для задания аналогового задания частоты (-)		Выходное напряжение: -12В Макс. выходной ток: 100 мА
V1	Многофункциональный аналоговый вход напряжения		Входное напряжение: 0 – 12В или -12 ... +12В
I1	Многофункциональный аналоговый вход тока		Вход 0 – 20 мА Входное сопротивление: 249 Ом
AO1	Многофункциональный аналоговый выход напряжения	0.33 – 2.0	Макс. выходное напряжение: 10 В Макс. выходной ток: 10 мА
AO2	Многофункциональный аналоговый выход тока		Макс. выходной ток: 20 мА
5G	Общий (если основной I/O, общий вход отличается от общего входа CM)		Общая клемма для задания опорной частоты, напряжения и тока
Q1	Многофункц. выход (типа открытый коллектор)		26 В(=), не выше 100 мА
EG	Клемма заземления для внешнего источника питания	0.33 – 1.25	Макс. выходной ток: 150 мА
24	Внешнее питание 24В		
A1	Многофункциональный релейный выход 1	0.33 – 2.0	250 В~, не выше 5 А 30 В=, не выше 5А
B1	Многофункциональный релейный выход 1		250В~, не выше 5 А 30 В=, не выше 5 А
C1	Многофункциональный релейный выход 1		250 В~, не выше 5 А 30 В=, не выше 5 А
A2	Многофункц. релейный выход 2 контакта А		250 В~, не выше 5 А 30 В=, не выше 5 А
C2	Многофункц. релейный выход 2 контакта общий		250 В~, не выше 5 А 30 В=, не выше 5А
S+,S-	Выход сигнала RS485		0.75 мм <sup>2</sup> , Экранированная витая пара
CM	RS485 общий		Для подключения заземления экрана сигнала RS485

Рисунок 6.9 - Перечень клемм управления

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что потенциал управления преобразователя огромен. Возможности регулирования аналоговым заданием момента различных величин: тока или напряжения.

Возможность использования дискретных входов, с помощью которых можно запрограммировать систему работы преобразователя. Однако, для

выполнения задачи нам достаточно простого и надежного метода регулирования с помощью обратной связи по натяжению материала и подключенного потенциометра.

### 6.3.2 Задание частоты аналоговым входом по напряжению

Установка частоты возможно различными способами. На рисунке 6.10 описаны все возможные способы для данного преобразователя частоты.

Группа	Код №	Индикация на дисплее	Варианты значений	
DRV	07	Задание F	0	Пульт-1
			1	Пульт-2
			2	V1
			3	I1
			4	V2
			5	I2
			6	RS485
			7	Энкодер
			8	Fied Bus
			9	PLC

Рисунок 6.10 - Источники задания частоты

Для подключения аналогового задания частоты по напряжению – выбираем значение 2 в параметре DRV-07. Изменение частоты задается напряжением в диапазоне -10 – +10В или 0 – +10В на клемме (V1). Подавая напряжение в диапазоне -10 – +10В, можно менять направление вращения двигателя в соответствии с полярностью подаваемого сигнала. Так как наш двигатель будет вращаться только в прямом направлении – был выбран диапазон 0 - +10В. Для этого необходимо установить параметр IN-06 однополярный. Данная установка и другие регулировки продемонстрированы на рисунке 6.11.

Вариант 0 – +10В

Группа	Код No.	Индикация на дисплее	Начальное значение		Диапазон установки	Ед. измер.
DRV	07	Задание F	2	V1	-	-
IN	01	F при 100	-	50.00	0.00 – Макс. частота	Гц
	05	Индикация V1	-	0.00	0 – 10	В
	06	Полярность V1	0	1 полярный	1 полярный/2	-
	07	V1 Фильтр	-	10	0 – 10000	мс
	08	V1 Напр x1	-	0.00	0 – 10	В
	09	V1 Fзад y1	-	0.00	0 – 100	%
	10	V1 Напр x2	-	10.00	0 – 10	В
	11	V1 Fзад y2	-	100.00	0 – 100	%
	16	V1 изм вращ.	-	Нет	Нет/Да	-
	17	ЗонаФильтра V1	-	0.04	0.04 – 10	%

Рисунок

### 6.11 - Настройки аналогового входа

Помимо всего перечисленного, нам также было необходимо подобрать диапазон напряжения на входе. Из-за маленькой площади реализации установки, зубчатая передача не могла быть нужного размера, чтобы обеспечить поворот потенциометра на все возможные 270 градусов, поэтому был подобран оптимальный вариант с передаточным числом, не удовлетворяющим условию полного поворота потенциометра. В итоге было выбрано предельное значение равное 8 В:



Рисунок 6.12 – Предельное значение напряжения аналогового входа



## 6.4 Дополнительные функции преобразователя

### 6.4.1 ПИД регулирование

ПИД регулирование является одним из методов автоматического регулирования. Преобразователь автоматически подстраивает выходную частоту по алгоритму ПИД регулирования, позволяя регулировать такие физические параметры системы как поток, давление, температура и др.

Группа	Код №	Индикация на дисплее	Установленное значение		Диапазон установки	Ед. изм
			2	Прогр. ПИД		
АРР	01	Спец. прим.	2	Прогр. ПИД	0 – 4	-
	16	Вых ПИД	-	-	-	-
	17	ПИД-задание	-	-	-	-
	18	ПИД-ОС инд.	-	-	-	-
	19	Козф.зднПИД	-	50.00	-100 – 100	%
	20	Уставка ПИД	0	Пульт	0 – 10	-
	21	Обр связь ПИД	0	V1	0 – 10	-
	22	ПИД: Кп1	-	50.0	0 – 1000	%
	23	ПИД: Ти1	-	10.0	0 – 32.0	с
	24	ПИД: Тд1	-	0	0 – 1000	мс
	25	ПИД: См1	-	0.0	0 – 1000	%
	26	П-масштаб	-	100.0	0 – 100	%
	27	ПИДвых.фильтр	-	0	М0 – 10000	мс
	29	ПИД: Fmax	-	50.00	0 – 300	Гц
	30	ПИД: Fmin	-	0.00	0 – 300	Гц
	31	ПИД инверсия	-	Нет	0 – 1	-
	32	ПИД масштаб	-	100.0	0.1 – 1000	%
	34	F вкл ПИД	-	0.00	0 – макс.Частота	Гц
	35	Уров.Вкл.ПИД	-	0.0	0 – 100	%
	36	Контр.Вкл.ПИД	-	600	0 – 9999	с
	37	T переходСпящ	-	60.0	0 – 999.9	с
	38	Fперех.спящРеж	-	0.00	0 – макс.Частота	Гц
	39	ПорогПереклПИД	-	35	0 – 100	%
40	РежПереклПИД	0	Ниже Уровня	0 – 2	-	
42	Размер.Инд.	0	Гц	0 – 12	-	
43	Подст.индПИД	-	100.0	0 – 650	%	

Рисунок 6.13 – Основные параметры ПИД регулирования

#### 6.4.2 Использование запаса кинетической энергии

При пропадании питания в сети, снижается напряжение звена постоянного тока и возникает ошибка низкого напряжения, которая отключает выхода преобразователя. Данная функция позволяет стабилизировать напряжение звена постоянного тока преобразователя, продлевая время его безошибочной работы.

Группа	Код №	Индикация на дисплее	Установленное значение		Ед. изм
CON	77	Инд Перенапр	1	Да	-
	78	Вкл Перенапр	-	130	%
	79	Вькл Перенапр	-	135	%
	80	KEB Gain	-	1000	-

Рисунок 6.14 – Основные параметры режима

В зависимости от нагрузки, может возникнуть ошибка низкого напряжения во время торможения. Также, при использовании режима использования кинетической энергии, могут наблюдаться вибрации двигателя, за исключением случаев нагрузки с переменным моментом (насосы, вентиляторы и т.п.).

#### 6.4.3 Режим сбережения электроэнергии

Преобразователь имеет функцию сбережения электроэнергии. Возможны два вида установки работы: ручная и автоматическая.

##### 1) Ручная установка режима сбережения электроэнергии

Если выходной ток преобразователя ниже, чем заданный в параметре BAS-14 («I x x») (ток холостого хода двигателя), выходное напряжение уменьшается на величину, установленную в параметре ADV-51. За 100% принимается выходное напряжение до начала режима энергосбережения. Не работает в режиме разгона и торможения. На рисунке 6.15 изображены параметры настройки.

Группа	Код №	Индикация на дисплее	Установленное значение		Ед. изм
ADV	50	Эконом.реж.	1	Manual	-
	51	Зад.эконом.	-	30	%

Рисунок 6.15 – Параметры настройки ручной установки

## 2) Автоматическая установка режима сбережения электроэнергии

Выходное напряжение вычисляется и устанавливается автоматически, на основе параметров BAS-13 (номинальный ток двигателя) и BAS-14 (ток холостого хода). На рисунке 6.16 приведены параметры настройки автоматической установки режима.

Группа	Код №	Индикация на дисплее	Установленное значение		Ед. изм
ADV	50	Эконом.реж.	2	Авто	-

Рисунок 6.16 – Параметры настройки автоматической установки

Сбережение электроэнергии – важный аспект при работе электропривода, однако из-за работы данного режима, может увеличиться время разгона и торможения двигателя из-за переключения контроллера с режима энергосбережения на нормальный режим.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы была сконструирована и настроена система управления смотчиком фольги. В процессе работы были приведены:

- описание выполняемых функций объекта автоматизации;
- описание характеристик и принципа работы оборудования, используемого в системе;
- кинематические схемы, схема подключения преобразователя, настройка преобразователя частоты ProfiMaster, а также чертежи установки обратной связи по натяжению;
- выбор и настройка источника задания частоты;
- описание векторного управления моментом;

В процессе выполнения работы были изучены возможности настроек преобразователя частоты ProfiMaster PM-S740 0.75k, способы задания частоты при помощи аналоговых входов управления преобразователем.

По итогу конструирования и настройки системы были сделаны выводы по дальнейшему усовершенствованию режима работы преобразователя с использованием платы энкодера для осуществления обратной связи по скорости.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АД – Асинхронный двигатель, стр.8
- АИН – Автономный инвертор напряжения, стр.38
- ЗИ – Задатчик интенсивности, стр.38
- КПД – коэффициент полезного действия, стр. 9
- ПИД – Пропорционально-интегральной-дифференцирующий, стр.58
- ПУМ – Прямое управление моментом, стр.36
- ПЧ – Преобразователь частоты, стр.9
- РС – Регулятор скорости, стр.38
- СВН – Селектор вектора напряжения, стр.40
- ШИМ – Широтно-импульсная модуляция, стр.35


## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководство по эксплуатации преобразователем частоты РМ-S740, РМ-S744 0.75-375(450) кВт, 2014г.
2. Официальный сайт компании Sitall  
<https://www.sitall.com/fleksograficheskoe-oborudovanie>.
3. Москаленко, В. В. Электрический привод: учеб. пособие для студентов учреждений сред. проф. образования / В. В. Москаленко.- Москва : Академия, 2005. - 366 с.
4. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./С74 Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил. ISBN 5-283-00500-3.
5. <http://ufk-techno.ru/1130.htm>
6. Стандарт организации «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» – СФУ Красноярск, от 2014 № СТО 4.2-07-2014.
7. ГОСТ 1284.1-89 (ИСО 1081-80, ИСО 4183-80, ИСО 4184-80) РЕМНИ ПРИВОДНЫЕ КЛИНОВЫЕ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ.
8. Вольдек А. И., Попов В. Электрические машины, Машины переменного тока: Учебник ДЛЯ ВУЗОВ, - СПб,: Питер, 2007, - 350 с,
9. Выпускная квалификационная работа магистра по теме «Моделирование системы управления асинхронным двигателем», Го Чи, Санкт-Петербург 2016, 71с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электротехнические комплексы и системы»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
В. И. Пантелеев  
«14» 06 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ  
ДЛЯ СМОТЧИКА ФОЛЬГИ

Руководитель

  
10.06.18г.  
подпись, дата

К.Т.Н., доцент  
должность, ученая степень

А.Н. Пахомов  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

В.А. Мясовский  
инициалы, фамилия

Консультант:

Генеральный директор  
ООО «Вертекс»

  
подпись, дата

Д.С. Жидков  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
10.06.18г.  
подпись, дата

А.Н. Пахомов  
инициалы, фамилия

Красноярск 2018