**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"**

**О Т Ч Ё Т**

**по результатам выполнения комплексной лабораторной работы по**

**дисциплине «Динамика электромеханических систем»**

**Руководитель:** доцент факультета СУиР Быстров С.В.

**Исполнитель:** студент группы R33423 Яшник Артём

Санкт-Петербург

2022

Содержание

[Часть 1. 3](#_Toc107009203)

[1. Техническое задание: 3](#_Toc107009204)

[2. Ход работы: 3](#_Toc107009205)

[2.1. Расчет номинальной мощности двигателя 3](#_Toc107009206)

[2.2. Выбор двигателя 3](#_Toc107009207)

[2.3. Тепловой расчёт 4](#_Toc107009208)

[2.4. Расчёт оптимального передаточного числа редуктора 5](#_Toc107009209)

[2.5. Выбор редуктора 5](#_Toc107009210)

[2.6. Проверка на перегрузочную способность 5](#_Toc107009211)

[Вывод 6](#_Toc107009212)

[Часть 2 7](#_Toc107009213)

[1. Техническое задание: 7](#_Toc107009214)

[2. Ход работы: 7](#_Toc107009215)

[2.1. Выбор задающего устройства и устройства управления: 7](#_Toc107009216)

[2.2. Выбор датчика обратной связи по положению: 8](#_Toc107009217)

[2.3. Выбор источники питания: 8](#_Toc107009218)

[2.4. Разработка функциональной схемы привода: 9](#_Toc107009219)

[2.5. Схема электронных соединений 9](#_Toc107009220)

[Вывод 10](#_Toc107009221)

[Часть 3. 11](#_Toc107009222)

[1. Техническое задание: 11](#_Toc107009223)

[2. Ход работы: 11](#_Toc107009224)

[2.1. Расчет параметров передаточных функций 11](#_Toc107009225)

[2.2. Коэффициент передачи системы: 11](#_Toc107009226)

[2.3. Коэффициент передачи УУ: 11](#_Toc107009227)

[2.4. Синтез регулятора и моделирование системы с ним 14](#_Toc107009228)

[2.5. Поиск эквивалентного гармонического воздействия системы по заданным характеристикам 15](#_Toc107009229)

[2.6. Моделирование системы c регулятором в среде Simulink 15](#_Toc107009230)

[2.7. Исследование влияния изменения момента инерции нагрузки на динамические характеристики системы с регулятором. 16](#_Toc107009231)

[Вывод 18](#_Toc107009232)

# Часть 1.

## [Техническое](C:\\Users\\Дмитрий\\Downloads\\ЛР1_Матасова_R33423.docx) задание:

По заданным характеристикам механической нагрузки (объекта управления - ОУ) рассчитать требуемый от двигателя момент и номинальную мощность. Предварительно выбрать двигатель заданного типа по каталогам и определить оптимальное значение передаточного числа редуктора. С учетом всех полученных расчетных значений окончательно выбрать двигатель с редуктором или мотор-редуктор для системы позиционирования.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Мн, Нм | Jн, кг\*м2 | Ωм, об/мин | εм, рад/с2 | max, град | M | , % | Тип двигателя |
| 14 | 35 | 90 | 1,8 | 0,8 | 180 | 1,0 | 1 | АД |

Таблица 1 – Исходные данные варианта №14

## Ход работы:

### Расчет номинальной мощности двигателя

Рассчитаем требуемую минимальную мощность двигателя

### Выбор двигателя

Выбор двигателя производился в каталоге [[6]](#_Список_использованных_источников)

Был выбран следующий двигатель: **МВЕ 021 4M**

Мощность двигателя: 0,04 (кВт)

Из каталога возьмем необходимые для дальнейших расчётов параметры:

Момент инерции ротора двигателя:

Номинальный момент:

Номинальная скорость:

Потребляемый ток In = 0,4 (А).

### Тепловой расчёт

Нагрев двигателя происходит из-за потерь, которые напрямую зависят от величины тока в обмотках, а он, в свою очередь, определяет момент, который при постоянной скорости напрямую связан с мощностью. Поэтому **потери, момент, ток и мощность** являются **косвенными характеристиками нагрева обмоток** и для выполнения поставленной задачи достаточно рассчитать их для основных режимов работы двигателя и сравнить их с номинальными (паспортными) значениями двигателя.

Периодически-кратковременный:

Важной характеристикой режима является продолжительность включения:

,

*где – фактическая продолжительность включения;*

*– номинальная продолжительность включения.*

Особенностью теплового расчета асинхронных двигателей из-за больших пусковых токов является необходимость в дополнительной проверке ограничение на допустимое количество пусков час, оно определяется по формуле

А фактическое число пусков определяется по формуле

Условием годности двигателя по нагреву является .

### Расчёт оптимального передаточного числа редуктора

Так как передаточное число получилось слишком большим, посчитаем его другим способом:

### Выбор редуктора

Выбор редуктора производился в каталоге: [[8]](#_Список_использованных_источников)

Был выбран следующий редуктор: **M1LA4** с передаточным числом

КПД редуктора: = 0.9

Момент инерции редуктора можно посчитаем по данной формуле:

### Проверка на перегрузочную способность

Произведем проверочный расчёт и

Динамический момент определяется из выражения:

Так как мы рассчитываем для реактивной нагрузки, то статистический момент будет равен:

Теперь можно рассчитать суммарный требуемый момент от двигателя:

По найденному требуемому моменту и заданной максимальной скорости нагрузки определим максимальную требуемую мощность на валу двигателя:

Таким образом, условие > удовлетворяется: 41.81 Вт > 20.95 Вт.

Определение перегрузочной способности по моменту

где – скорректированное значение требуемого момента (с учетом );

– номинальный момент выбранного двигателя.

Определение перегрузочной способности по скорости

где – максимальная угловая скорость нагрузки

– номинальная скорость вращения двигателя,

– передаточное число редуктора.

Вывод**:** в итоге выполнения первой части работы, мы выбрали двигатель по данной нам информации и выяснили, что выбранный двигатель практически полностью подходит нам по перегрузке.

# Часть 2

## Техническое задание:

Для заданного типа двигателя разработать функциональную схему привода. Выбрать по каталогам все технические средства системы, включая источники питания, обеспечивая возможность их подключения в соответствии с функциональной схемой.

## Ход работы:

### Выбор задающего устройства и устройства управления:

В качестве управляющего устройства был выбран **VZS40WL27B 40Вт,**

выбранный в каталоге [[7]](#_Список_использованных_источников)

Проверим, выполняются ли общие требования для всех типов приводов:

* Номинальная мощность (ток) устройства управления должна быть больше или равен номинальной мощности (току) двигателя

Номинальная мощность двигателя:

Номинальная мощность преобразователя:

* Напряжение питания должно соответствовать параметрам общего источника энергии.

Напряжение питания преобразователя:

* Диапазон изменения выходного напряжения должен соответствовать возможным изменениям напряжения управления двигателя.

Диапазон изменения выходного напряжения преобразователя: постоянного тока

Номинальное напряжение двигателя:

* Наличие стандартных интерфейсов:

Интерфейс RS-485 – универсальный порт, через который можно настроить взаимодействие практически любым удобным методом.

* Микроконтроллер устройства управления, должен иметь достаточное количество входов и выходов:

В предусмотрены 4 дискретных и 2 аналоговых входа и 2 программируемых релейных выхода

Выбранный прибор может работать на основе программного кода, поэтому задающее устройство было реализовано в цифровом виде.

### Выбор датчика обратной связи по положению:

В качестве датчика обратной связи по положению был выбран **Абсолютный энкодер AC220V 3.01X.M,** который имеет следующие характеристики:

* Диапазон измерения угла неограничен
* Разрешение 3000 импульсов/об
* Питающее напряжение 208–240 В переменного тока
* Выходной сигнал: кабель

Как видно из характеристик, выбранный датчика обратной связи по положению подходит для привода углового позиционирования, в котором максимальное угловое перемещение объекта управления .

### Выбор источники питания:

Электродвигатель имеет мощность 40Вт, а энкодер 20Вт. Суммарная мощность всех элементов привода , поэтому устройство управления и датчик обратной связи по положению запитаем блоком питания с мощностью и выходным напряжением переменного тока.

Был выбран блок питания-розетка SDR-120-48.

### **Разработка функциональной схемы привода**:

ПК

ИЭ

ДУП

ОУ

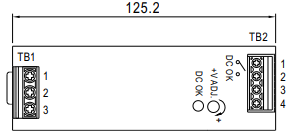
Р

Д

УУ

Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема автоматизированного электропривода: *ИЭ – источник энергии (розетка), ПК – персональный компьютер (задающее устройство), УУ – управляющее устройство, Д – двигатель, Р – механическое преобразовательное устройство (редуктор), ДУП – датчик углового движения, ОУ – объект управления*

### Схема электронных соединений



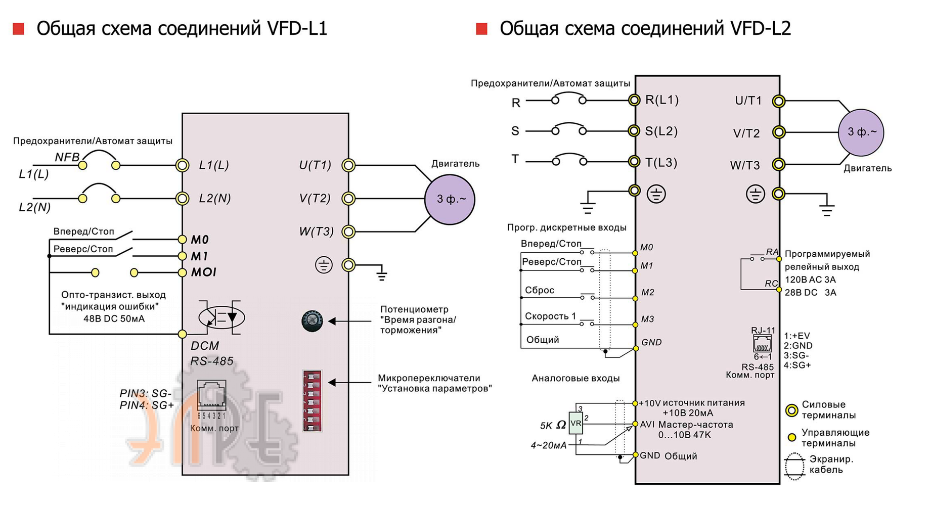


Рисунок 2 – Схема электронных соединений источника питания и блока питания, ГОСТ 2.702-11

Вывод**:** для заданного типа двигателя разработали функциональную схему привода и выбрали технические средства системы.

# Часть 3.

## Техническое задание:

Определиться с видом передаточных функций всех устройств, входящих в состав привода. Рассчитать все параметры передаточных функций.

Математическое моделирование системы без регулятора.

Синтез регулятора и моделирование системы с ним.

## Ход работы:

### Расчет параметров передаточных функций

Двигатель:

Редуктор:

Энкодер:

### Коэффициент передачи системы:

### Коэффициент передачи УУ:

Математическое моделирование привода без регулятора

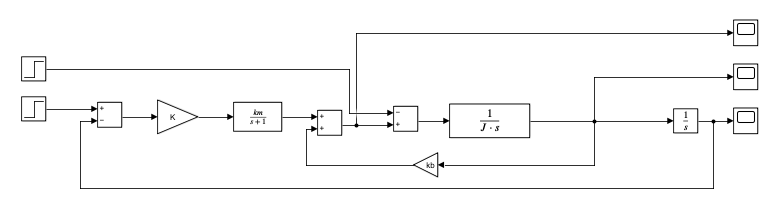


Рисунок 3 – Схема моделирования без регулятора в Simulink

Ниже представлены графики процессов в разомкнутом состоянии:

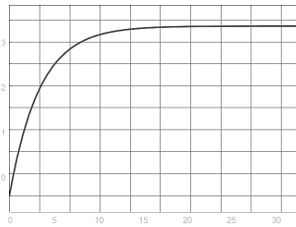


Рисунок 4 – график переходного процесса момента

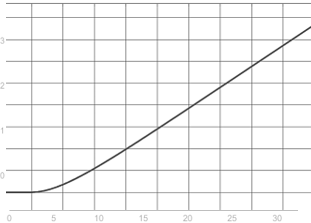


Рисунок 5 - график переходного процесса для угловой скорости

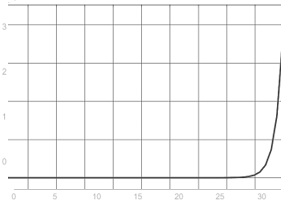


Рисунок 6 – график переходного процесса для угла поворота

Далее представлены графики процессов в замкнутом состоянии

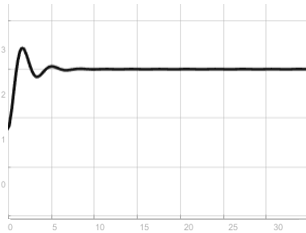


Рисунок 7 – график переходного процесса момента

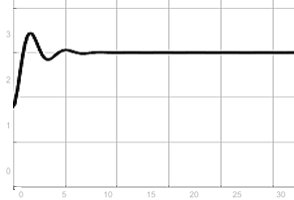


Рисунок 8 - график переходного процесса для угловой скорости

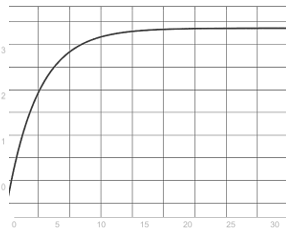


Рисунок 9 – график переходного процесса для угла поворота

### Синтез регулятора и моделирование системы с ним

Синтезируем регулятор, который будет подходить заданным значениям:

Таблица 3 – Данные значения для синтеза регулятора

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| max, град | M | , % |
| 180 | 1,0 | 1 |

Произведем расчет при помощи полинома Ньютона, благодаря такому способу возможно добиться минимального перерегулирования системы.

*Формула 9 – Формула полинома Ньютона 3 порядка:*

Пусть желаемое время переходного процесса

Тогда:

### Поиск эквивалентного гармонического воздействия системы по заданным характеристикам

Тогда эквивалентное значение равняется:

### Моделирование системы c регулятором в среде Simulink

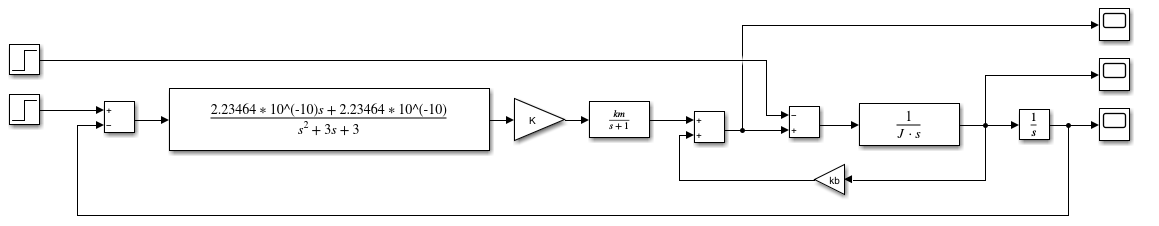


Рисунок 10 – Схема моделирования c регулятором в Simulink

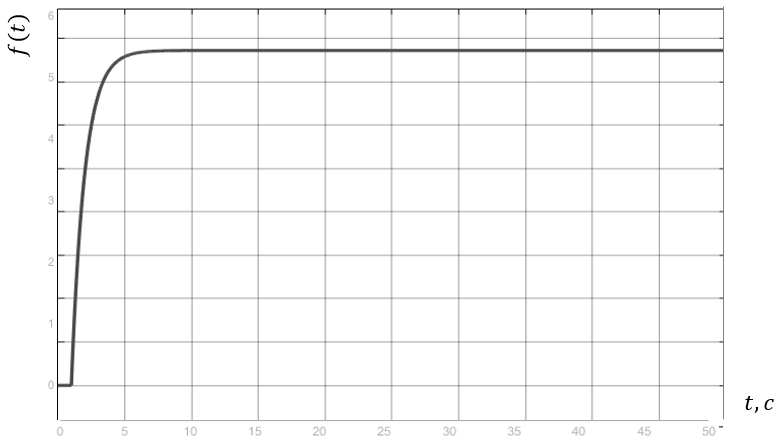


Рисунок 11 – График переходного процесса для угла поворота

Перерегулирование примерно равно 0.

Время переходного процесса соответствует заданному ранее и составляет примерно 6.1 сек.



Рисунок 12 – Масштабированный график ошибки в 10-5

Максимальное значение ошибки достигает 0.00002.

### **Исследование влияния изменения момента инерции нагрузки на динамические характеристики системы с регулятором**.

Проведем моделирование для двух новых значений момента инерции на 25% меньше и больше заданного значения.

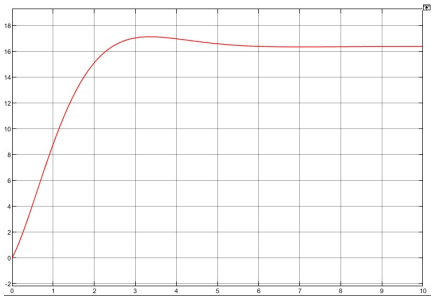


Рисунок 13 – График угла поворота при

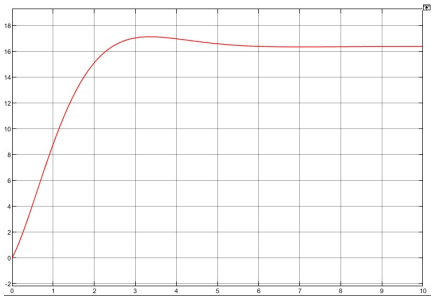


Рисунок 14 – График угла поворота при

### Поиск момента сопротивления, при котором система с регулятором перестаёт удовлетворять ТЗ

При повторной симуляции с полученным моментом сопротивления модель перестаёт удовлетворять требуемым значениям (двигатель останавливается).

Вывод**:** по результатам выполнения последней части работы была построена модель системы и проведена симуляция в Simulink, которая показала соответствие требованиям технических элементов, входящих в электропривод.

**Список использованных источников**

1. Григорьев В.В., Бойков В.И., Парамонов А.В., Быстров С.В. Проектирование

регуляторов систем управления – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 94 с.

2. Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.И., Болтунов Г.И., Мансурова О.К. Цифровые системы управления: Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 133 с.

3. Блинников А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Николаев Н.А., Нуйя О.С. Правила

оформления пояснительной записки и конструкторской документации. – СПб:

Университет ИТМО, 2014. – 55с.

5. Усольцев А.А. Электрические машины автоматических устройств /Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011, – 213 с.

6. <https://eds-msk.ru/?site_page=motors_catalog>

7. <https://www.электродвигатели-редукторы.рф/product/delta-vfd40wl21b/>

8. <https://fam-drive.ru/calc/>