**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Изображение выглядит как шаблон, Симметрия, дизайн, пиксель

Автоматически созданное описание**

ИШИТР, ОАР

15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

**«Разработка контура управления положением электродвигателя рулевой рейки с электромеханическим усилителем руля»**

Курсовой проект

По дисциплине Междисциплинарный проект



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент | гр.8Е02 | \_\_\_\_\_\_\_ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Сокуров Р.Е. |
|  |  | Подпись | Дата | ФИО |
|  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Проверил | | доцент ОАР | \_\_\_\_\_\_\_ | \_\_\_\_\_\_\_ | Тырышкин А.В. |
|  | Должность | | Подпись | Дата | ФИО |
|  |  | |  |  |  |

Томск – 2024

**Оглавление**

[ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 3](#_Toc163211500)

[Актуальность 4](#_Toc163211501)

[Обзор существующих решений 5](#_Toc163211502)

[Техническое задание 9](#_Toc163211503)

[Расчёт характеристик электродвигателя рулевой рейки с ЭМУР 10](#_Toc163211504)

[Разработка контура управления током электродвигателя рулевой рейкой 18](#_Toc163211505)

[Функциональная схема блока управления рулевой рейкой 23](#_Toc163211506)

[Заключение 23](#_Toc163211507)

[Список литературы 24](#_Toc163211508)

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ФИО руководителя ООП

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2024 г.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ **НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**Тема «Разработка контура управления положением электродвигателя рулевой рейки с ЭМУР»**

**1. Перечень работ (заданий), подлежащих выполнению:**

|  |
| --- |
| Анализ актуальности проекта |
| Обзор существующих решений |
| Техническое задание |
| Разработка контура управления скоростью электродвигателя рулевой рейки |
| Разработка контура управления положением электродвигателя рулевой рейки |
|  |
|  |

**2. Перечень отчетных материалов и требования к их оформлению:**

|  |
| --- |
| Пояснительная записка в формате WORD |
| Структурная схема блока управления рулевой рейкой |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

Руководитель УИРС/НИРС

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ .

(должность) (подпись) (Ф. И. О.)

Задание принял к исполнению

студент гр.\_  (подпись) (Ф. И. О. обучающегося)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_г.

# Актуальность

Беспилотные автомобили являются одной из самых актуальных и перспективных тем в автомобильной индустрии. Они представляют собой транспортные средства, которые способны перемещаться без участия водителя.

По последним прогнозам, Boston Consulting Group (BCG), всего через 10 лет общий объем рынка беспилотных машин может составить около $42 млрд. Ожидается, что доля беспилотных автомобилей в общей структуре мировых продаж достигнет отметки в 12–13%. Иными словами, на рынок будет выпущено около 14 млн беспилотных автомобилей. 500 тыс. из них будут полностью автономными. McKinsey Global Institute еще более оптимистичен в своих прогнозах, полагая что общая доля беспилотных машин (как полностью автономных, так и полуавтономных) к 2025 году достигнет 15–20% [1], но в распоряжении Правительства РФ говорится о 10-15% к 2035 году [3].

Актуальность беспилотных автомобилей объясняется несколькими факторами. Во-первых, они могут значительно повысить безопасность на дорогах. Около 90% аварий на дорогах вызваны ошибками водителей [2], и беспилотные транспортные средства, оснащенные передовыми системами безопасности и алгоритмами управления, могут снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Основные проблемы внедрения технологий автономности включают в себя отсутствие в настоящее время в Российской Федерации ряда критичных электронных компонентов 2-го и 3-го уровней [3]. Уровни автономности описаны на следующем рисунке:



Рисунок 1 — Уровни автономности системы

Поскольку рулевая рейка является одним из ключевых компонентов систем 2-го и 3-го уровней (например, система удержания в полосе) разработка её блока управления является важной задачей.

# Обзор существующих решений

Рассмотрим существующие решения, а именно блоки управления рулевыми рейками от других производителей. В связи с очень ограниченным числом информации по техническим характеристикам, у некоторых устройств технические характеристики не будут ёмкими.

**Блок управления ЭУР от автомобилей ВАЗ**

Электромеханический усилитель руля (122.3405010-02, 122.3405010-03) «АЭ» Калуга — это устройство, которое в наше время устанавливается на большинство машин отечественного производства Лада Калина / ВАЗ 1117-1119, Лада Гранта ВАЗ 2190, Лада Гранта FL, Лада Калина 2, Датсун.



Рисунок 2 — ЭУР 122.3405010-02

Его основные характеристики:

Номинальное напряжение питания: 13,5 В.

Потребление тока, не более: 55А

Компенсирующий момент: 28 Нм

**Электроусилитель руля от АО «ПО Муроммашзавод»**

Электромеханический усилитель руля от АО «ПО Муроммашзавод» устанавливается на грузовые транспортные средства, автобусы и электромобили с нагрузкой на управляемую ось до 9 тонн. Он поддерживает обмен данными по CAN-шине; координация системы автономного управления движением (поддержка 2-5 уровня автономности согласно SAE J3016); возможность реализации беспилотного управления грузовым транспортом.

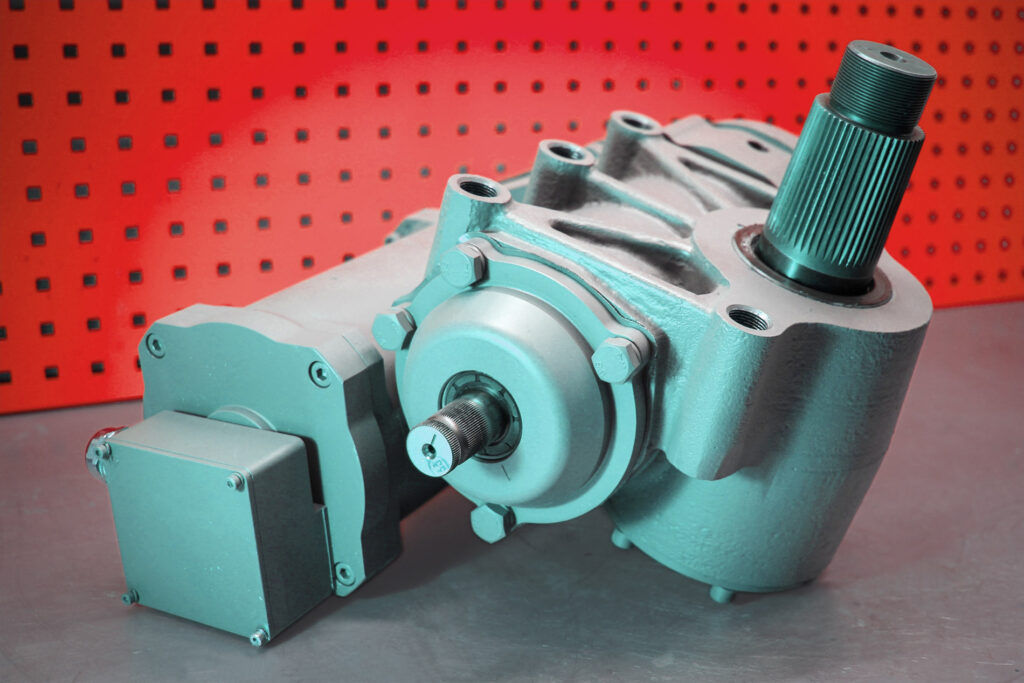


Рисунок 3 — Электроусилитель руля от АО «ПО Муроммашзавод»

Его основные характеристики:

Номинальное напряжение питания: 21,6–30В

Максимальный ток потребления: 400А

Компенсирующий момент: 560 Нм

Недостаточное количество данных об аналогичных устройствах, применяемых на данный момент, оказало значительное влияние на процесс осуществления настоящего обзора.

Составим таблицу, где раскроем плюсы и минусы каждого блока управления:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ЭУР ВАЗ Универсальный | ЭУР от АО «ПО Муроммашзавод» | Разрабатываемый блок управления |
| Напряжение питания, В | 13,5 | 24 | 24 |
| Максимальный ток потребления, А | 55 | 400 | 70 |
| Компенсирующий момент, Н \* м | 28 | 560 | 27 |
| Поддержка 2-5 уровня автономности согласно SAE | Нет | Да | Да |
| Нагрузка на управляемую ось, тонны | 2 | 9 | 2,5 |

Как видно из обзора несмотря на то, что ЭУР от АО «ПО Муроммашзавод» полностью справляется со всеми вышеуказанными требованиями, конечное устройство рассчитано на гораздо более тяжелый класс автомобилей, что делает сам блок громоздким и массивным.

В связи с этим была продолжена разработка блока управления рулевой рейкой БУРР-30 как решение для автомобилей массой до 2,5 тонн.

# Техническое задание

На разработку контура управления положением электродвигателя рулевой рейки беспилотного транспортного средства.

**Заказчик**

ООО «ЭвоКарго», г. Москва

**Исполнитель**

Сокуров Руслан Ергалиевич, студент 4-го курса Томского Политехнического Университета по направлению «Мехатроника и робототехника».

**Объект управления**

Объектом управления является рулевая рейка с электромеханическим усилителем руля. Рулевая рейка представляет собой реечный рулевой механизм, в составе которого находится двигатель постоянного тока, который через червячную передачу вращает косозубчатую шестерню, что участвует в реечной передаче, тем самым линейно перемещая шток рейки.

**Известные параметры объекта управления**

* Расстояние от одного крайнего положения рейки до противоположного крайнего положения — 96мм.

Необходимо разработать контур управления положением рулевой рейки, который будет управлять штоком рулевой рейки обеспечивая следующие показатели:

* Линейная ошибка положения штока рулевой рейкой должна быть не более 0,2 мм;
* Перерегулирование переходного процесса по положению должно быть не более 50% и не менее 5%;

**\*Техническое задание может быть скорректировано по соглашению сторон.**

# Разработка контура управления скоростью рулевой рейки с ЭМУР

Для управления положением рулевой рейки необходимо сначала наладить управление скоростью ДПТ рулевой рейки.

При разработке контура управления скоростью рулевой рейки будем основополагаться на разработанный ранее контур управления током рулевой рейки. Однако, в связи с тем, что полученный ранее замкнутый контур тока является апериодическим звеном второго порядка, то, для упрощения текущей разработки, была выполнена аппроксимация замкнутого контура тока как апериодического звена первого порядка , где  — наибольшая постоянная времени в контуре тока.

Тогда структурная схема контура выглядит следующим образом:

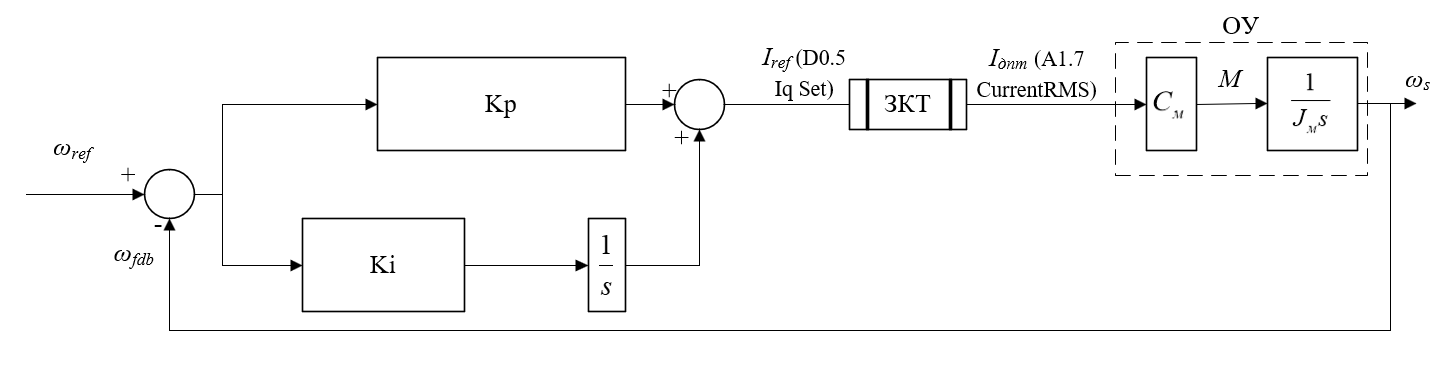


Рисунок 4 — Контур управления скоростью ДПТ

На структурной схеме приняты следующие сокращения:

 — конструктивный параметр электродвигателя;

 — момент инерции рулевой рейки;

ЗКТ — Замкнутый контур тока;

 — коэффициент пропорционального усиления регулятора скорости;

 — коэффициент усиления интегральной составляющей регулятора скорости.

При проведении оптимизации контура управления скоростью рассматриваются следующие допущения:

– область изменения рабочих параметров не достигает максимально-допустимых ограничений и таким образом модель можно считать линеаризованной;

* Что-то про обратную связь и кэф единица?

 был определен в прошлой работе и равен 0,053215.

 также был определен в прошлой работе и равен 0,000725724.

**Оптимизация контура управления током**

Воспользуемся принципами оптимизации линейных систем и определим параметры управляющего регулятора для контура скорости. Контур скорости можно настроить как на модульный оптимум, так и на симметричный.

В данной работе была выбрана настройка на симметричный оптимум, поскольку требования к качеству переходного процесса невелики, но требуется отсутствие статистической ошибки.

Воспользуемся принципами оптимизации линейных систем и определим параметры управляющего регулятора для контура скорости. Основываясь на методике настройки на симметричный оптимум, приведем передаточную функцию замкнутого контура к желаемому виду:

.

В данном случае становится наиболее удобно определить параметры регулятора, отталкиваясь от имеющейся передаточной функции объекта управления:



В итоге получаем расчётное выражение для передаточной функции регулятора в следующем виде:



Где.

Для проверки полученных значений соберем имитационную модель контура управления скоростью в Matlab Simulink и оценим качество переходного процесса:

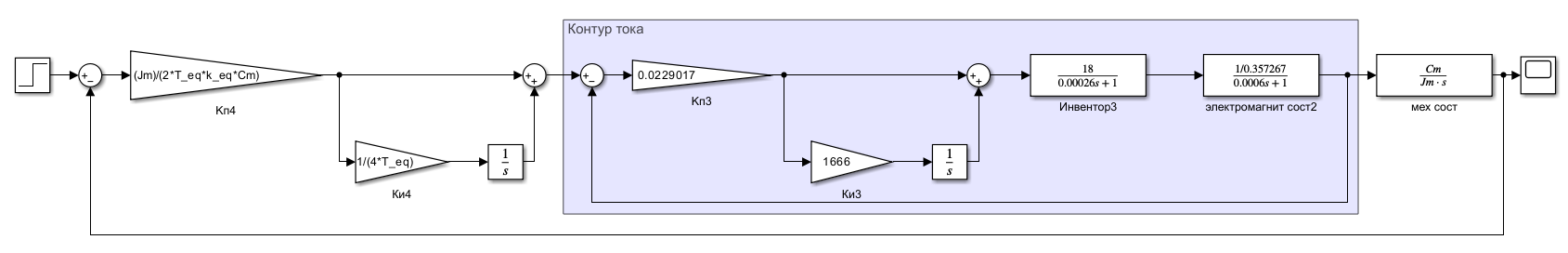


Рисунок 5 — Имитационная модель контура скорости

Полученный переходный процесс:

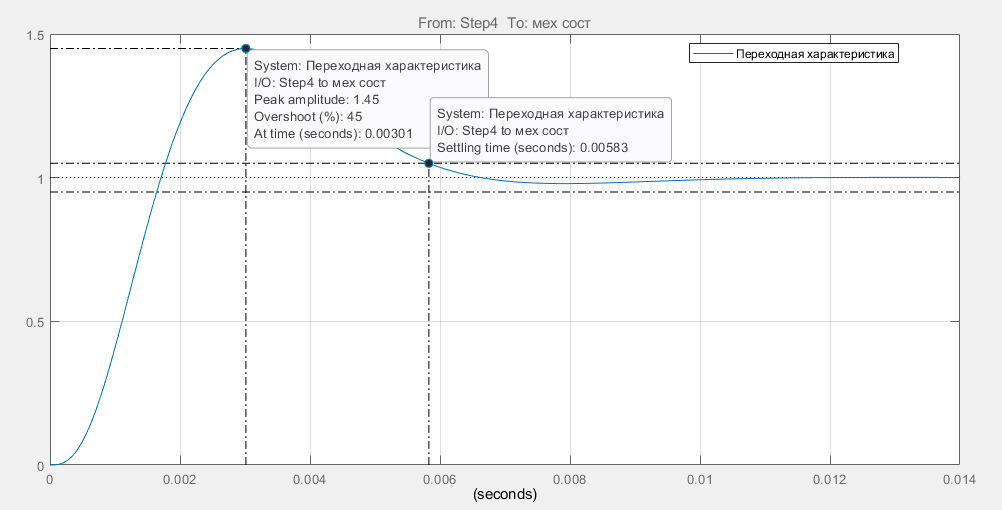


Рисунок 6 — переходная характеристика

Перерегулирование 45%, время переходного процесса 0,00583сек

# Расчёт контура положения

При разработке контура управления положением рулевой рейки будем основополагаться на разработанный ранее контур управления скоростью рулевой рейки. Однако, в связи с тем, что полученный ранее замкнутый контур скорости имеет порядок больше 1, то, для упрощения текущей разработки, была выполнена аппроксимация замкнутого контура тока как апериодического звена первого порядка , где  — наибольшая постоянная времени в контуре тока.

Тогда структурная схема контура выглядит следующим образом:

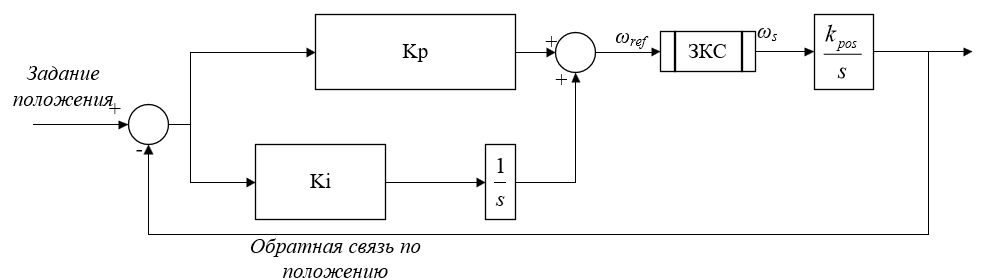


Рисунок 4 — Контур управления положением ДПТ

На структурной схеме приняты следующие сокращения:

— коэффициент передачи (из рад/с → мм/сек);

ЗКC — Замкнутый контур скорости;

 — коэффициент пропорционального усиления регулятора скорости;

 — коэффициент усиления интегральной составляющей регулятора скорости.

При проведении оптимизации контура управления положением рассматриваются следующие допущения:

– область изменения рабочих параметров не достигает максимально-допустимых ограничений и таким образом модель можно считать линеаризованной;

* Что-то про обратную связь и кэф единица?

**Оптимизация контура управления током**

Воспользуемся принципами оптимизации линейных систем и определим параметры управляющего регулятора для контура положения. Контур скорости можно настроить как на модульный оптимум, так и на симметричный.

В данной работе была выбрана настройка на симметричный оптимум, поскольку требования к качеству переходного процесса невелики, но требуется отсутствие статистической ошибки.

Воспользуемся принципами оптимизации линейных систем и определим параметры управляющего регулятора для контура скорости. Основываясь на методике настройки на симметричный оптимум, приведем передаточную функцию замкнутого контура к желаемому виду:

.

В данном случае становится наиболее удобно определить параметры регулятора, отталкиваясь от имеющейся передаточной функции объекта управления:



В итоге получаем расчётное выражение для передаточной функции регулятора в следующем виде:



Где.

Для проверки полученных значений соберем имитационную модель контура управления скоростью в Matlab Simulink и оценим качество переходного процесса:

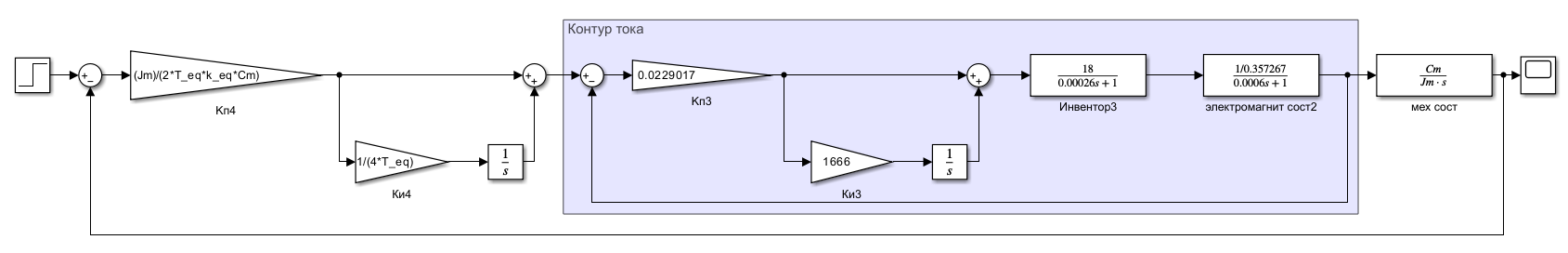


Рисунок 5 — Имитационная модель контура скорости

Полученный переходный процесс:

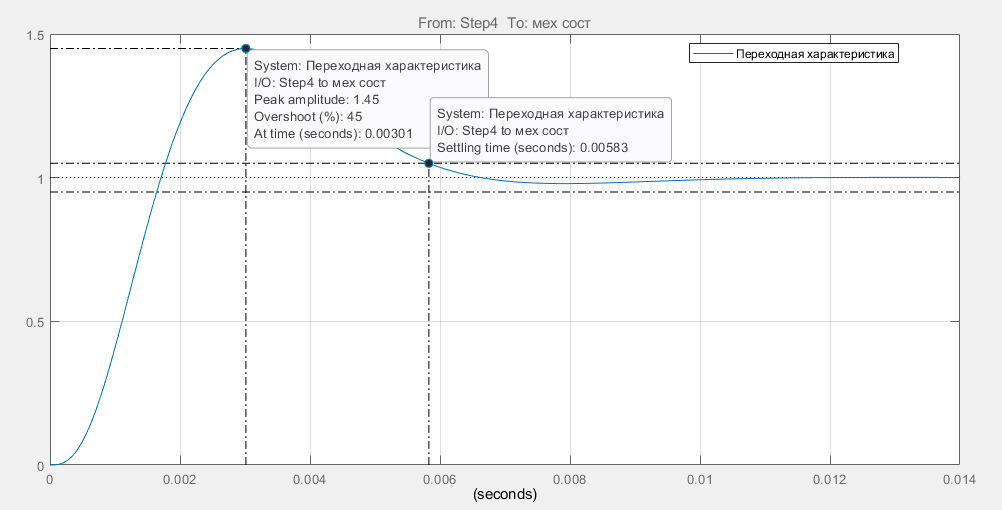


Рисунок 6 — переходная характеристика

Перерегулирование 45%, время переходного процесса 0,00583сек

# Функциональная схема блока управления рулевой рейкой

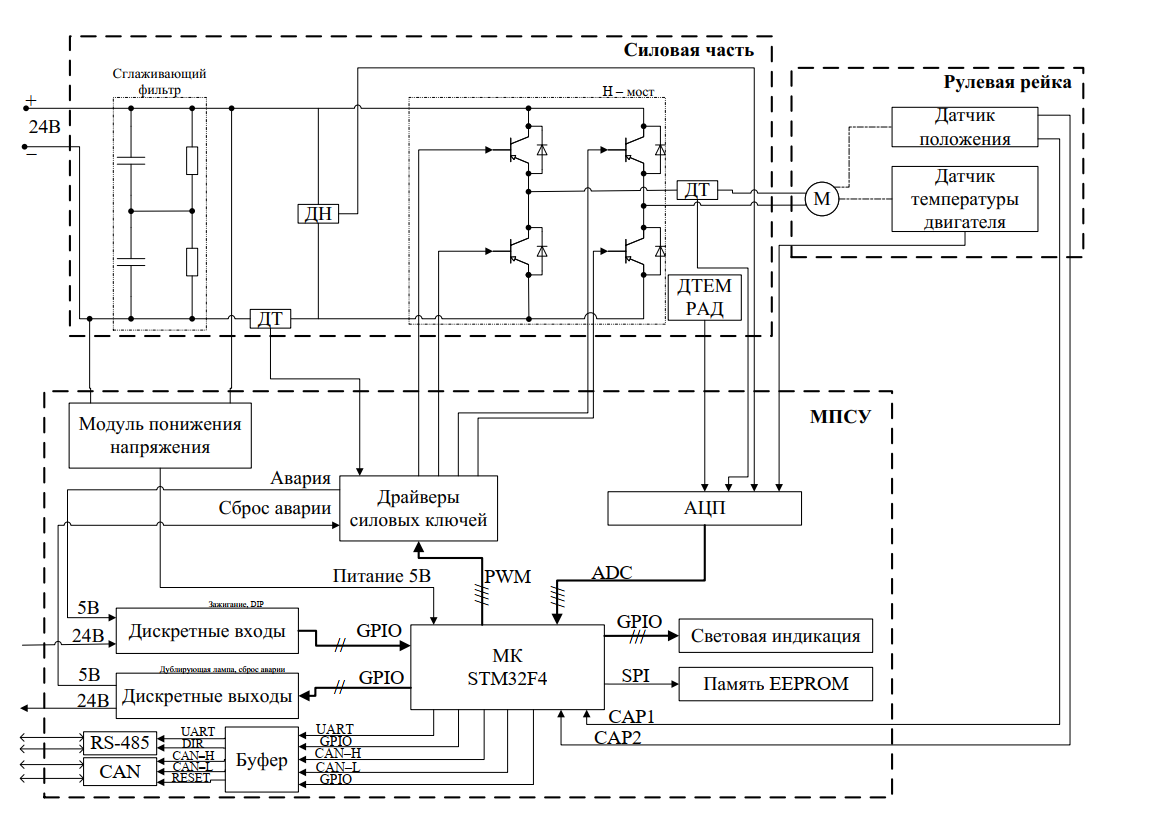


Рисунок 12 — Электрическая функциональная схема (Э2) разрабатываемого блока

# Заключение

В ходе выполнения курсового проекта был проведен анализ актуальности беспилотных автомобилей, проведен обзор аналогов разрабатываемого блока управления рулевой рейкой.

Далее было составлено техническое задание, были рассчитаны характеристики электропривода усилителя руля рулевой рейки, а также был создан и оптимизирован на модульный оптимум контур управления током, удовлетворяющий требованиям технического задания.

Составлена функциональная схема разрабатываемого блока управления рулевой рейкой.

В дальнейшем планируется продолжение работы над проектом, создание контура управления скоростью, положением электродвигателя, используя характеристики, полученные в текущем проекте. Также предполагается программная реализация полученных контуров и проведение эксперимента на рулевой рейке.

# Список литературы

1. Беспилотные автомобили. Состояние рынка, тренды и перспективы развития // iot.ru URL: https://iot.ru/transportnaya-telematika/bespilotnye-avtomobili-sostoyanie-rynka-trendy-i-perspektivy-razvitiya (дата обращения: 28.03.2024).

2. Человеческий фактор как главный виновник дорожных аварий. Как он появился и насколько актуален сегодня // techinsider.ru URL: https://www.techinsider.ru/vehicles/768513-chelovecheskiy-faktor-kak-glavnyy-vinovnik-dorozhnyh-avariy-kak-on-poyavilsya-i-naskolko-aktualen-segodnya/ (дата обращения: 28.03.2024).

3. Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 N 4261-р <Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 года>.