

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Технологические машины и транспорт»

Ахметов Адиль Бауржанович

**Разработка и исследование параметров трансмиссии электромобиля с
пневматическим стартовым устройством**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Алматы 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Технологические машины и транспорт»

УДК 656. 073. 437: 658.78

На правах рукописи

Ахметов Адиль Бауржанович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра технических наук

Название диссертации «Разработка и исследование параметров трансмиссии
электромобиля с пневматическим стартовым устройством»

Направление подготовки 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Научный руководитель,
канд. техн. наук., ассоц.профессор
Бейсенов Б.С.

« 2 » июня 2023 г.

Рецензент

Бектурганов Азаматжанович 700

Директор Института энергетики и машиностроения С.А.

« 14 » июня 2023 г.

Нормоконтроль

Ст.преподаватель, магистр техн.наук.

Е.Е.Сарыбаев

« 02 » 06 2023 г.



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ТМ и Т

канд. техн. наук, ассист.проф.

С.А.Бортебаев

« 14 » 06 2023 г.

Алматы 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

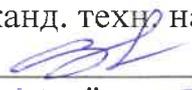
Институт энергетики и машиностроения

Кафедра "Технологические машины и транспорт"

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТМ и Т
канд. техн. наук, ассист. проф.

 С.А.Бортебаев
" 21 " Ноябрь 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Ахметову Адилю Бауржановичу

Тема: «Разработка и исследование параметров трансмиссии
электромобиля с пневматическим стартовым устройством»

Утверждена приказом руководителя университета №1818-М
"09" 11 2021 г.

Срок сдачи законченной диссертации " 15 " 05 2023 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: материалы
исследовательской практики на полигоне кафедры «Технологические машины и
транспорт».

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации
вопросов:

1. Подбор методики оценки крутящих моментов на валу электродвигателя привода электромобиля.
2. Подбор методики исследования и оценки параметров пневматического стартового устройства.
3. Разработать структуру аппаратурного оформления экспериментов.
4. Корректно провести эксперименты по оценке возможности введения в состав привода пневматическое стартовое устройство.

Рекомендуемая основная литература:

1 Джутон, Бету, Сабер: Электромобиль. Устройство, принцип работы, инфраструктура ; Издательство · ДМК-Пресс, 2022 г.

2 Кошкарар А.П. Современные электромобили. Устройство, отличия, выбор для российских дорог. ДМК-Пресс, 2018.

3 Б. П. Бусыгин. Электромобили. Учебное пособие. МАДИ, 1979.

4 Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей и электромобилей. Учебник для вузов. 2022.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Аналитическая часть	1.03.2023	
2. Аппаратурное оформление экспериментов	1.04.2023	
3. Экспериментальная часть	30.04.2023	

Подписи консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
1. Аналитическая часть	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.03.2023	
2. Аппаратурное оформление экспериментов	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.04.2023	
3. Экспериментальная часть	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	30.04.2023	
Нормоконтролер	Ст.преподаватель, магистр техн.наук, Сарыбаев Е.Е.	02.06.23	

Научный руководитель


(подпись)

Бейсенов Б.С.

(Ф.И.О.)

Задание принял

к исполнению магистрант


(подпись)

Ахметов А.Б.

(Ф.И.О.)

Дата " 10 " октября 2022 г

АҢДАТПА

Бұл жұмыста магистрлік жұмыс барысында шешілген бірқатар міндеттер қарастырылды:

1. Электрлік көлік жетегінің электр қозғалтқышының білігінің айналу моменттерін бағалау әдісі таңдалды.
2. Пневматикалық іске қосу құрылғысының параметрлерін зерттеу және бағалау әдістемесі таңдалды.
3. Эксперименттердің аппараттық жобалау құрылымы әзірленді.
4. Жетекке пневматикалық іске қосу құрылғысын енгізу мүмкіндігін бағалау үшін эксперименттер дұрыс жүргізілді.

Жұмыс кіріспеден, аналитикалық бөлімнен, тәжірибелерді аспаптаудан, эксперименттік бөлімнен, сынақ нәтижелерін талқылаудан, қорытындыдан, 12 тармақтан тұратын әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертациялық жұмыс 41 суретпен көркемделген 56 бетте берілген.

АННОТАЦИЯ

В этой работе рассмотрены ряд задач, которые были решены в ходе выполнения магистерской работы:

1. Подобрана методика оценки крутящих моментов на валу электродвигателя привода электромобиля.
2. Подобрана методика исследования и оценки параметров пневматического стартового устройства.
3. Разработана структура аппаратного оформления экспериментов.
4. Корректно проведены эксперименты по оценке возможности введения в состав привода пневматическое стартовое устройство.

Работа состоит из введения, аналитической части, аппаратного оформления экспериментов, экспериментальной части, обсуждения результатов испытаний, выводов, списка использованных источников из 12 наименований. Диссертационная работа изложена на 56 страницах, иллюстрирована 41 рисунками.

ANNOTATION

In this work, a number of tasks that were solved in the course of the master's work were considered:

1. A method for estimating torques on the electric motor shaft of an electric vehicle drive has been selected.
2. The methodology for researching and evaluating the parameters of the pneumatic starting device has been selected.
3. The structure of hardware design of experiments has been developed.
4. Experiments were correctly carried out to assess the possibility of introducing a pneumatic starting device into the drive.

The work consists of an introduction, an analytical part, instrumentation of experiments, an experimental part, a discussion of test results, conclusions, a list of references from 12 items. The dissertation work is presented on 56 pages, illustrated with 41 figures.

Термины и определения

Пусковое стартовое устройство - совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством энергии сжатого воздуха.

Испытательный стенд - исследовательское оборудование, предназначенное для различных приемочных, контрольных, специальных испытаний технических и механических объектов.

Панель управления — устройство предназначенное для управления всеми процессами даноого пневматического привода.

Компрессор - устройство для сжатия воздуха.

Золотниковый воздухораспределитель - устройство для изменения направления и перекрытия потоков сжатого воздуха в пневмосистемах различного назначения.

Условные обозначения

АБ – аккумуляторная батарея;

БН – блок накопителя энергии;

ЭТС – электро-транспортное средство;

$N_{расч}$ – расчетная мощность привода, кВт;

$N_{уст}$ – установочная мощность двигателя, кВт;

$M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м.;

$\varnothing_{у.,лаб}$ – условный проход лабораторной пневмомагистрали, мм.;

η – коэффициент полезного действия.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Аналитическая часть	11
1.1 Актуальность применения стартового устройства в составе приводов электромобилей	11
1.2 Описание объекта - электромобиля	12
1.3 Электродвигатели	13
1.4 Проверочный расчет мощности электродвигателя	25
1.5 Проблемы пуска электродвигателей	28
1.6 Основные причины выбора пневматического двигателя в качестве стартового устройства	35
2 Аппаратурное оформление экспериментов	40
2.1 Регистратор электрических параметров РПМ-416	40
2.2 Электронный динамометр ДЭП/6	41
3 Экспериментальная часть	43
3.1 Исследование крутящих моментов на валу электродвигателя	43
3.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению крутящих моментов на валу электродвигателя	43
3.3 Исследование крутящих моментов развиваемых пневмомотором	45
3.4 Методика проведения экспериментальных исследований по определению крутящих моментов развиваемых пневмомотором	45
3.5 Исследование влияния работы стартового устройства на пусковые токи электродвигателя.	47
3.5.1 Измерение пускового тока без участия стартового устройства.	47
3.5.2 Измерение пускового тока с участием стартового устройства.	52
3.6 К вопросу о влиянии пускового тока на емкость АБ	54
Заключение	55
Список использованных источников	56
Приложение А (статья)	57

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Электромобили являются более энергоэффективными и экологически чистыми, так как не используют топливо, а работают на электрической энергии, которая может быть получена из различных источников. Это способствует достижению различных целей, связанных с транспортом, таких как повышение энергетической безопасности. В настоящее время 16 стран, включая США, Великобританию, Францию, Китай и Японию, активно продвигают электромобили и создали форум лидеров для инициативы «Электронные транспортные средства».

Современные тенденции развития автомобильной индустрии направлены на увеличение выпуска транспортных средств, оснащенных гибридной или полностью электрической энергоустановкой. В настоящее время блок накопителя энергии (БН) определяет значительную часть стоимости электромобиля и составляет 30...45 %. Техническое совершенствование накопителей приведет к увеличению запаса автономного хода и повышению динамических показателей электротранспортных средств (ЭТС).

Ключевым является вопрос режимов эксплуатации, определяющих время жизни аккумуляторной батареи (АБ). Именно он на данном этапе во многом ограничивает ресурс электромобиля. Для увеличения времени жизни АБ предпочтительны режимы с равномерной нагрузкой и зарядом. Однако при их использовании в транспортном комплексе динамика движения неравномерна и определяется дорожными условиями, а нагрузка на БН изменяется в широких пределах. Так, в момент даже трогания с места ток кратковременно может многократно превосходить среднечасовой.

Пневматическое стартовое устройство может частично решить эту проблему. Это устройство используя сжатый воздух провернет моторный вал, т.е. стронет автомобиль с места, а затем после запуска основного электродвигателя продолжит движение но уже с номинальными токами. В результате использования пневматического стартового устройства может быть достигнуто существенное снижение пусковых токов, что приведет к экономии емкости АБ.

На основании изложенного, **целью данной работы является** повышение энергоэффективности электромобилей за счет снижения пусковых токов.

Объектом разработки является стартовое устройство на базе пневматического лопастного двигателя.

Предмет исследования – энергосиловые параметры стартового устройства.

Задачи исследования:

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Разработать методику оценки крутящих моментов на валу электродвигателя привода электромобиля.

2. Разработать методику исследования и оценки параметров пневматического стартового устройства.

3. Разработать структура аппаратурного оформления экспериментов.

4. Корректно провести эксперименты по оценке уровня пусковых токов после введения состав привода пневматического стартового устройства.

Научная новизна работы заключается в том, что доказана актуальность введения пускового стартового устройства с использованием энергии сжатого воздуха в состав привода электромобиля.

Апробация полученных результатов. Полученные результаты опубликованы и доложены на научно-практической конференции «Сатпаевские чтения – 2023».

1 Аналитическая часть

1.1 Актуальность применения стартового устройства в составе приводов электромобилей

Современные тенденции развития автомобильной индустрии направлены на увеличение выпуска транспортных средств, оснащенных гибридной или полностью электрической энергоустановкой. В настоящее время блок накопителя энергии (БН) определяет значительную часть стоимости электромобиля и составляет 30...45 %. Техническое совершенствование накопителей приведет к увеличению запаса автономного хода и повышению динамических показателей электротранспортных средств (ЭТС).

В отличие от бензиновых автомобилей, которые работают на двигателе внутреннего сгорания и имеют одну типовую конфигурацию, электромобили могут иметь различную степень электрификации и различную конструкцию. Все электромобили оснащены электродвигателем и аккумулятором, но способ их объединения может отличаться. Существуют мягкие гибриды, полные гибриды, подключаемые гибриды и полностью электрические автомобили.

Мягкие гибриды обладают небольшим электродвигателем и аккумулятором, которые обеспечивают функции запуска-остановки, регенеративного торможения и помощи в ускорении.

Полные гибриды оснащены более крупным электродвигателем и батареей, обеспечивающими те же функции, что и мягкие гибриды, а также позволяют работать на электрической энергии на низких скоростях.

Подключаемые гибриды – это полные гибриды с большей батареей, которую можно заряжать от электросети. Большая батарея обеспечивает расширенную дальность в чистом электрическом режиме, даже на более высоких скоростях. После полной разрядки аккумулятора автомобиль может работать на меньшем двигателе внутреннего сгорания или использовать двигатель для зарядки аккумулятора и расширения дальности вождения.

Полностью электрические автомобили используют только электропривод и их производительность ограничена размером аккумулятора, который определяет максимальную дальность вождения.

Ключевым является вопрос режимов эксплуатации, определяющих время жизни аккумуляторной батареи (АБ). Именно он на данном этапе во многом ограничивает ресурс электромобиля. Для увеличения времени жизни АБ предпочтительны режимы с равномерной нагрузкой и зарядом. Однако при их использовании в транспортном комплексе динамика движения неравномерна и определяется дорожными условиями, а нагрузка на БН изменяется в широких пределах. Так, в момент интенсивного разгона ток кратковременно может многократно превосходить среднечасовой.

Решение данной проблемы видится в оптимизации пусковых режимов с использованием оригинальных вспомогательных устройств с большим крутящим моментом, которые позволят кратно снизить нагрузку на основные

штатные приводные устройства на пусковых режимах. Предпусковое включение таких вспомогательных устройств позволит компенсировать люфт, снизить ударные нагрузки в зацеплениях механических передач, сдвинет электромобиль из положения покоя до старта основного электропривода, что в итоге повысит надежность и продлит срок службы.

При этом и пусковые режимы и пуск вспомогательное устройство должны быть:

- оптимальными и простыми в конструктивном отношении;
- реализуемыми в рамках габаритов электромобиля;
- безопасными и экологичными;
- энергоэффективными и унифицированными.

Т.о. можно выделить следующие проблемы, на решение которых будут направлены исследования в рамках данной диссертации:

- мониторинг, анализ и оптимизация пусковых режимов приводов;
- разработка простого по конструкции стартового устройства с возможностью встраивания в состав типового привода и учитывающего его конструктивные особенности.

1.2 Описание объекта – электромобиля

В нашем случае в качестве объекта на котором были проведены исследования был автомобиль китайского производства четырехколесный electric scooter car with lead acid battery - Mopedbil Zojas S1 -2021 (EKJ166) (рис.1).



Рисунок 1 – Общий вид электромобиля.
Техническая характеристика

Длина 2517 мм.
Ширина 1155 мм.

Высота 1544 мм.
Технически допустимая максимальная масса с грузом 633 кг.
Масса свинцово-цинковой АБ 98 кг.
Мощность электродвигателя 3кВт.
Масса кузова 339 кг.
Передняя шин 130/60-13
Задняя шина 125/70-13
Пробег на полном заряде 47 км.
Скорость 45 км/ч.
Максимальный угол подъема 15%
Характеристика АБ 72В, 58 Ач.
Привод задний.

1.3 Электродвигатели

На электромобиле установлен электродвигатель EM-30-72-18N.

Техническая характеристика двигателя

Род тока – постоянный.

Напряжение питания - 72 В.

Минимальная мощность - 3000 Вт.

Номинальный крутящий момент - 12 Нм.

Пиковая скорость вращения - 6500 мин⁻¹.

Номинальная скорость вращения - 3000 мин⁻¹.

Класс изоляции – Н.

Охлаждение – воздушное.

Защита – Ip55.



Рисунок 2 – Устройство заднего моста электромобиля

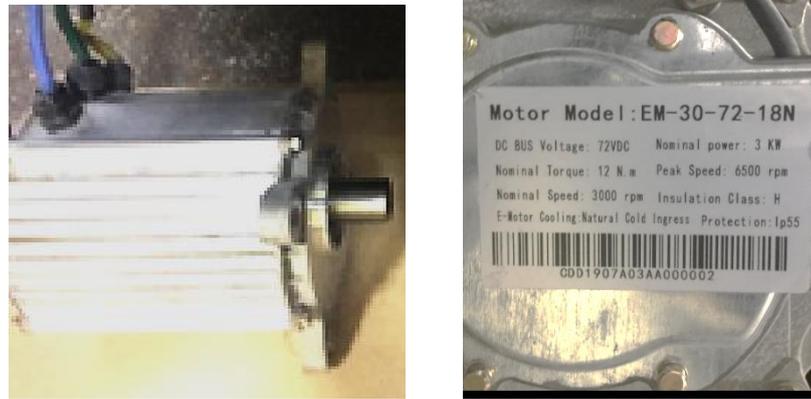


Рисунок 3 – Общий вид электродвигателя

Принцип работы двигателя электромобиля основан на преобразовании электроэнергии в механическую энергию вращения. Главные участники преобразования энергии – статор и ротор.

Как работает традиционный электромотор?

- 1) Магнитное поле статора действует на обмотку ротора.
- 2) Возникает вращающий момент.
- 3) Ротор начинает двигаться.

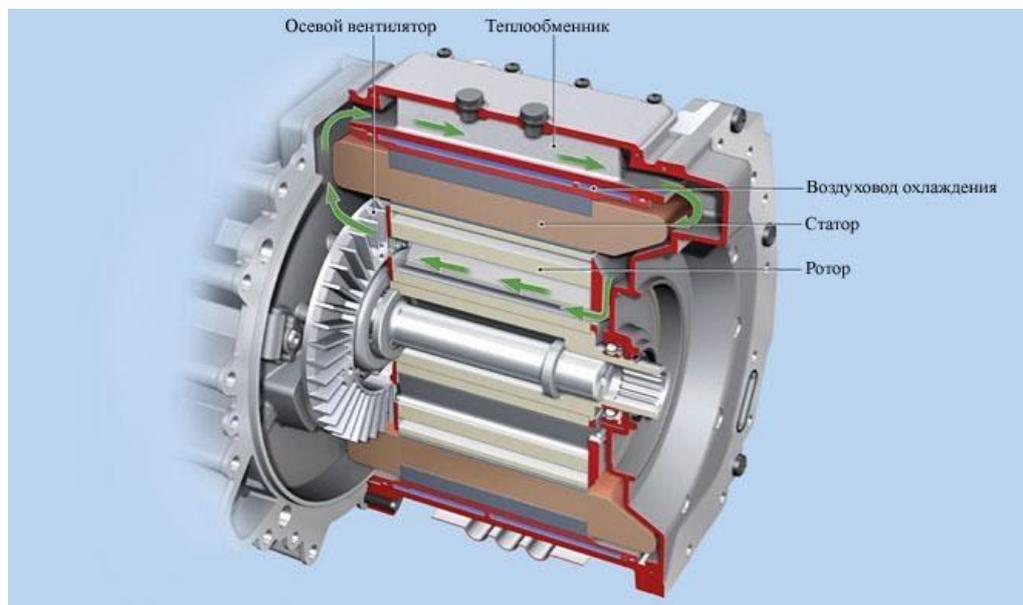


Рисунок 4 – Электродвигатель в разрезе

Наглядная схема двигателя электромобиля в системе электропривода представлена ниже:

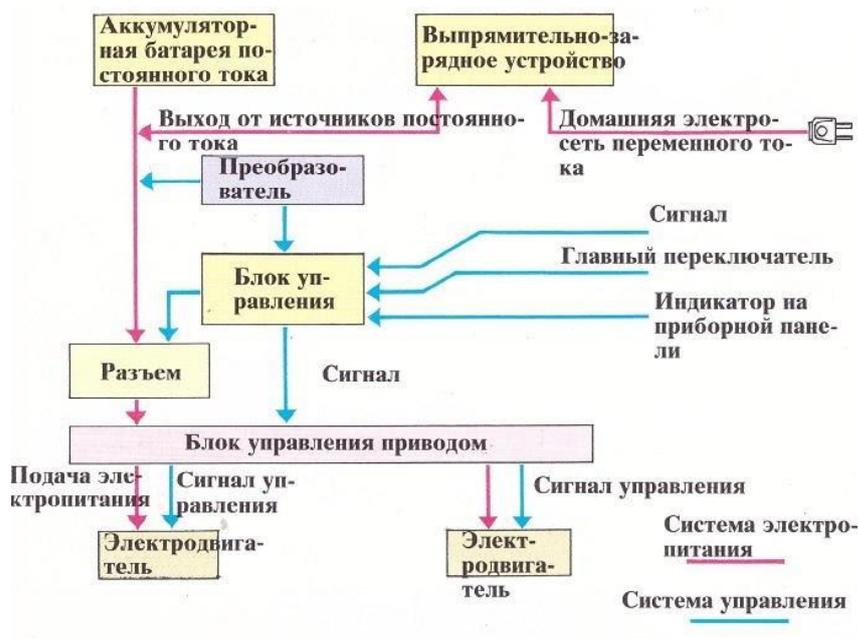


Рисунок 5 – Схема двигателя электромобиля в системе электропривода

Принцип работы любого электродвигателя базируется на процессах взаимного притяжения и отталкивания полюсов магнитов на роторе и статоре. Движение осуществляется под действием самого магнитного поля и инерции.

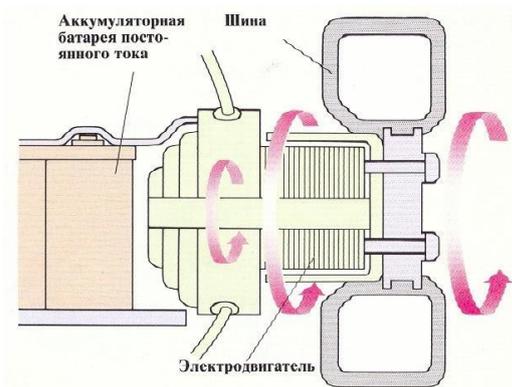


Рисунок 6 – Принцип работы электродвигателя

При описании принципа работы электродвигателя, уже было упомянуто, что главные компоненты двигателя электромобиля – ротор и статор.

Ротор – это вращающийся компонент двигателя.

Статор находится в неподвижном состоянии. Он ответственен за создание неподвижного магнитного поля.

Ротор. Классический ротор автомобиля состоит из сердечника, обмотки и вала. У некоторых электродвигателей в состав ротора также входит коллектор.

- Сердечник – это металлический стержень, на периферии которого располагается обмотка. Непосредственно через сердечник происходит замыкание магнитной цепи электродвигателя. Сердечник изготавливается из стальных пластин круглой формы. По структуре похож на слоёный пирог. При производстве сердечников используют изолированные листы стали с присадками кремния. В этом случае обеспечены увеличение КПД электродвигателя, наименьшие удельные потери в металле на единицу массы, снижение величины размагничивающих вихревых токов Фуко, которые возникают из-за перемагничивания сердечника. На поверхности сердечника есть продольные пазы. Через них прокладывается обмотка.

- Вал – металлический стержень, который непосредственно передаёт вращающий момент. Также изготавливается из электротехнической стали. Служит основой для насаживания сердечника. На концах вала есть резьба, выемки под шестерёнки, подшипники качения, шкивы.

- Коллектор – блок, крепящийся на валу. Представляет собой систему медных пластин. Изолирован от вала. Служит выпрямителем переменного тока, переключателем-автоматом направления тока (в зависимости от вида электродвигателя).

Статор (индуктор). Статор состоит из станины, сердечника и обмотки:

- Станина статора – корпус статора. Как правило, корпус бывает алюминиевым или чугунным. Алюминиевые станины популярны у электродвигателей легковых авто, чугунные – у спецтехники, которая вынуждена работать в условиях высокой вибрации. Станина служит базой крепления основных и добавочных полюсов.

- Сердечник статора – цилиндр из профилированных стальных листов. Фиксируется винтами внутри станины. Снабжён пазами для обмотки.

- Обмотка. Создает магнитный поток. При пересечении проводников ротора наводит в них электродвижущую силу.

Типы электродвигателей устанавливаемые в электромобили. В настоящее время в качестве электродвигателей электромобилей используются традиционные синхронные, синхронные реактивные и асинхронные бесщеточные электродвигатели переменного трёхфазного тока.

В бесщеточном электродвигателе электрическая энергия преобразовывается в механическую благодаря изменению полярности. В таких электродвигателях нужно подавать постоянное напряжение на обмотки статора в определенные интервалы времени, имитируя работу коллектора.

Для этого предусмотрены или блоки управления (коммутаторы) или эту роль выполняет инвертер. Транзисторы по сигналам процессора, на основании сигналов, получаемых от датчиков Холла или вращающегося трансформатора, в зависимости от частоты вращения и положения вала ротора, переключают обмотки статора, создавая вращающееся магнитное поле, которое взаимодействует с полем магнитов ротора.

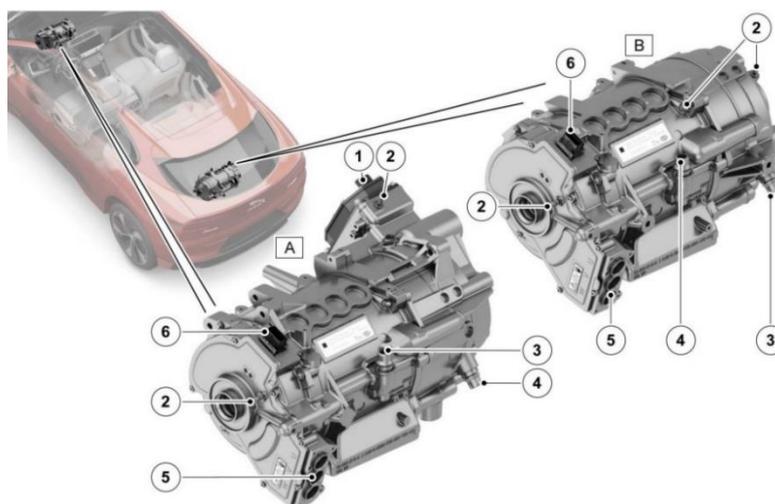
Как правило, в конструкции статора бесщеточного электродвигателя используются три пары обмоток, и напряжение на них подается поочередно. При

подаче напряжения на первую пару обмоток якорь с постоянными магнитами поворачивается, выравнивая свое положение в соответствии с направлением силовых линий возникшего магнитного поля. В этот момент напряжение с первой пары обмоток снимается и подается на вторую пару. Поскольку якорь электродвигателя обладает определенным моментом инерции, он не останавливается моментально, а продолжает свое вращение, и его магниты начинают взаимодействовать со следующим магнитным полем. Так продолжается до тех пор, пока на обмотки статора поочередно подается напряжение.

Синхронный электродвигатель электромобиля – это электрический двигатель, работающий от переменного тока. Главная особенность такого двигателя заключается в том, в его роторе применяется постоянный магнит, или электромагнит (обмотка с подачей питания), который постоянно взаимодействует с вращающимся магнитным полем ротора, которое создает вращение ротора равной частоте вращения магнитного поля.

Синхронные электродвигатели обычно применяют если необходимая мощность должна превышать 100 кВт.

Рассмотрим синхронные электродвигатели легковых автомобилях JAGUAR I-PACE. У электромобиля может быть установлен один или два ходовых электродвигателя. Например, в JAGUAR I-PACE установлено два ходовых электродвигателя установленных на передней и задней оси (Рисунок 7). Это позволяет производить разгон до 100 км/ч за 4,5 с, сравнимый со спортивными автомобилями.



*а – передний блок электропривода; в – передний блок электропривода;
1 – разъем жгута проводов привода стояночной; 2 – соединение сапуна
блокировки; 3, 4 – соединение охлаждающей жидкости; 5 – разъем
трехфазного кабеля к соответствующему инвертору; 6 – разъем жгута
проводов 12 В*

Рисунок 7 – Расположение электродвигателей в JAGUAR I-PACE

В движение электромобиль приводят два синхронных блока электропривода (EDU) с постоянными магнитами, встроенные в переднюю и заднюю ось. Каждый блок оснащен одноступенчатой коробкой передач с планетарным редуктором и открытым дифференциалом, связанным непосредственно с электродвигателем. Каждое колесо подсоединено к коробке передач с помощью полуоси, обеспечивая возможность полного привода. EDU обеспечивает мощность 147 кВт и крутящий момент 348 Н·м от каждого электродвигателя. Каждый электродвигатель подсоединяется к инвертору. Инвертор управляет работой электродвигателя в ответ на входные сигналы педалей ускорения и тормоза.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами (рисунок 8), используют ротор с постоянными магнитами, которые синхронизируются с электромагнитным полем, созданным на обмотках статора. Если прикладывать трехфазный переменный ток к обмоткам статора, в последовательности, которая постепенно изменяет полярность каждой обмотки, то вокруг статора создается вращающееся электромагнитное поле. Положение ротора совпадает с этим вращающимся электромагнитным полем, которое притягивает магнитное поле ротора, заставляя ротор вращаться. Когда ротор и магнитные поля вращающегося статора полностью синхронизированы, скорость вращения ротора прямо пропорциональна приложенной к нему частоте переменного тока. В этом состоянии электродвигатель вырабатывает максимальную мощность.

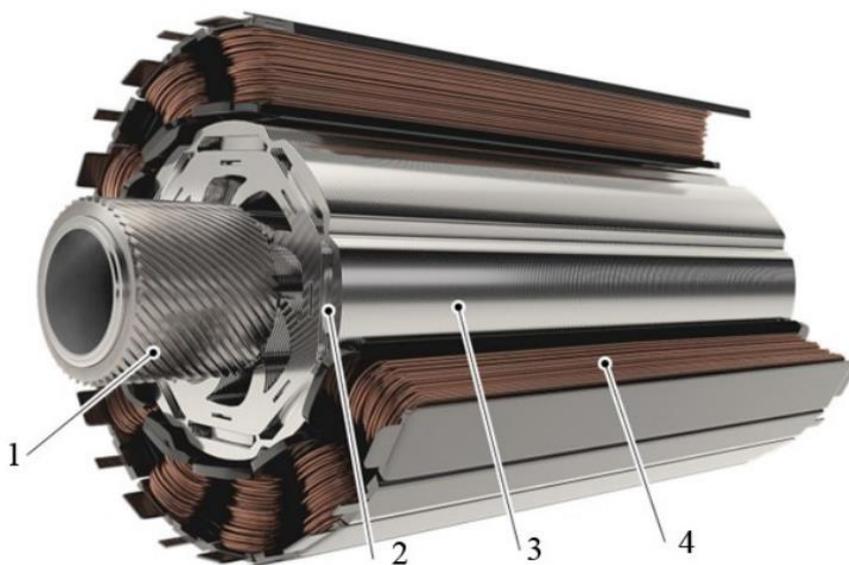
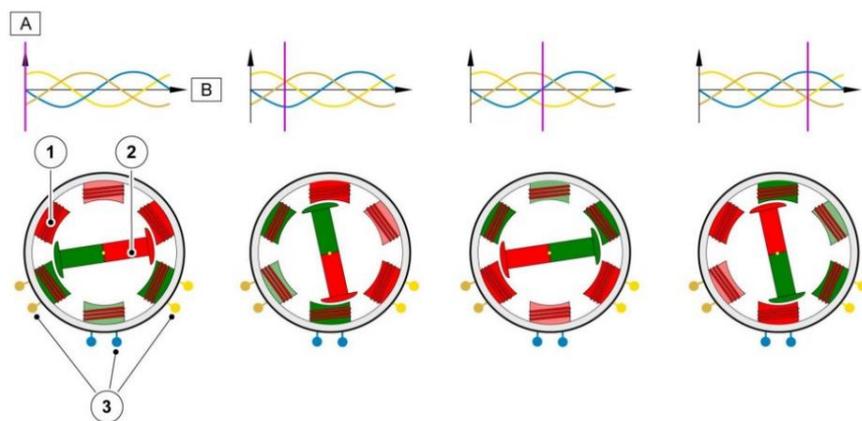


Рисунок 8 – Синхронный электродвигатель электромобиля с постоянными магнитами

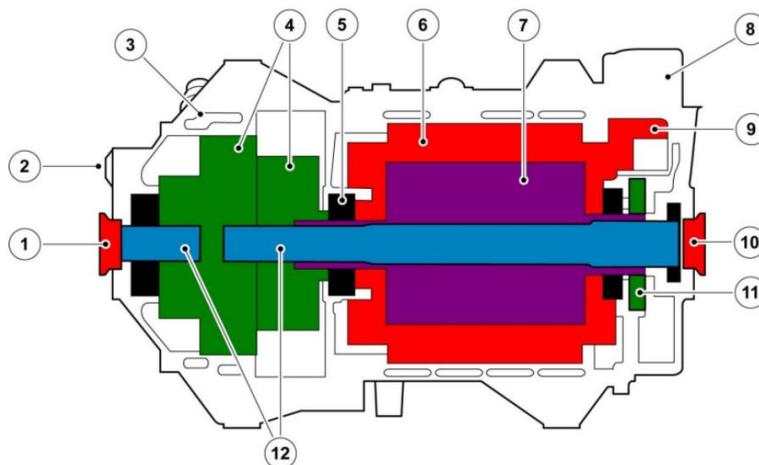
На рисунке 9 показан процесс вращения простого синхронного электродвигателя с постоянным магнитом, который вращается по часовой стрелке.



A – напряжение/амплитуда; B – время; 1 – обмотки статора; 2 – ротор; 3 – трехфазное соединение

Рисунок 9 - Принцип работы синхронного электродвигателя

Трехфазный переменный ток, подаваемый на обмотки статора, регулируется для перехода от одного набора обмоток к следующему, и ротор следует ему с той же скоростью. Величина и фаза тока, подаваемого на обмотки статора, пропорциональны выходной мощности двигателя, поэтому для обеспечения эффективности электродвигателя требуется точное управление. Датчик положения кольца резольвера 11 (рисунок 10) используется для точного определения скорости и положения ротора относительно вращающегося электромагнитного поля, чтобы обеспечить полное управление выходом электродвигателя.



1 – сальник полуоси; 2 – пробка маслозаливной горловины EDU; 3 – рубашка охлаждающей жидкости; 4 – коробка передач и дифференциал; 5 – подшипник; 6 – статор; 7 – ротор; 8 – корпус; 9 – трехфазное соединение; 10 – сальник полуоси; 11 – датчик положения кольца резольвера; 12 – привод полуоси

Рисунок 10 – Схема синхронного блока электропривода

Резольвер – это вращающийся трансформатор, принципом работы является преобразование угла поворота в электрическое напряжение. В качестве измерения применяется амплитуда напряжения, которая пропорциональна углу, или является функцией синус (косинус) угла. С помощью их принципа работы определяется актуальное положение ротора электродвигателя, с помощью этого можно определить например – скорость вращения вала двигателя. Во время работы резольвера между его обмотками наводятся ЭДС, амплитуда и фаза которых, зависит от положения ротора резольвера, на котором расположена одна (или несколько) из обмоток электродвигателя переменного тока. При работе резольвера, в пределах одного, полного оборота ротора, форма амплитуд ЭДС вторичных обмоток резольвера характеризует угол поворота ротора.

Выходной сигнал резольвера подается непосредственно в инвертор. Затем инвертор подает надлежащую частоту и напряжение к катушкам статора. Кроме того, инвертор использует информацию о положении, чтобы гарантировать, что ротор постоянно остается синхронизированным с вращающимся магнитным полем. Крутящий момент создается тогда, когда магнитное поле ротора отстает от вращающегося магнитного поля статора. Поскольку постоянные магниты постоянно пытаются "догнать" вращающееся магнитное поле статора, вращая вал ротора, а значит приводя в движение электромобиль.

Синхронизация входного сигнала переменного тока является опережающей относительно положения ротора, чем больше это опережение входного сигнала, тем больше создаваемый крутящий момент. Однако слишком сильное опережение входного сигнала переменного тока приведет к тому, что магнитные поля будут выходить из режима синхронизации, и электродвигатель остановится.

Работой каждого EDU управляет подключенный инвертор в зависимости от запроса крутящего момента, выдаваемого блоком управления силовым агрегатом. Инвертор переключает EDU между режимами электродвигателя и генератора по необходимости. Когда EDU работает в режиме электродвигателя, инвертор получает постоянный ток от высоковольтной аккумуляторной батареи и преобразует его в 3-фазный переменный ток. Высоковольтный переменный ток подается на трехфазные обмотки статора в электродвигателе. Данные датчика положения резольвера используются для управления фазой трехфазного переменного тока. Инвертор разделяет трехфазный переменный ток высокого напряжения на EDU в зависимости от требований к крутящему моменту. Инвертор и РСМ обмениваются данными через сеть по шине FlexRay.

При работе в режиме рекуперативного торможения EDU генерирует трехфазный переменный ток для инвертора. Инвертор выпрямляет переменный ток в постоянный ток и регулирует напряжение для зарядки высоковольтной аккумуляторной батареи. Инвертор управляет электрической энергией, восстановленной во время рекуперативного торможения, и регулирует эффект торможения на передних и задних колесах. Данные для величины торможения,

требуемого от каждого EDU, отправляются в инвертор из РСМ по шине сети FlexRay.

Синхронные реактивные электродвигатели с внутренним постоянным магнитом (СинРМ). Для электромобиля наиболее существенное значение имеет его пусковой момент, от которого зависит время трогания электромобиля. В существующих асинхронных электродвигателях, применяемых для электромобилей, пусковой момент не является эффективным. Кроме того, недостатком синхронного электродвигателя является то, что при длительных поездках на высокой скорости теряется 3–4 % мощности на выработку тока в стержнях ротора.

Чтобы устранить эти недостатки, в настоящее время фирма Tesla начала производство для своих автомобилей синхронных электродвигателей, в которых используется не только электромагнитное, но и реактивное воздействие на ротор электродвигателя. Такие двигатели получили название синхронные реактивные двигатели.

В двигателях этого типа взаимодействие магнитных полей ротора и статора заставляет ротор вращаться. Если повернуть магнитное поле статора на 45° относительно ротора, ротор получает максимальный крутящий момент. Это связано с тем, что силы притяжения и отталкивания (толкающее усилие магнитного поля статора и тянущее усилие магнитного поля ротора) проходят почти по касательной к ротору и создают крутящие моменты практически в одном направлении.

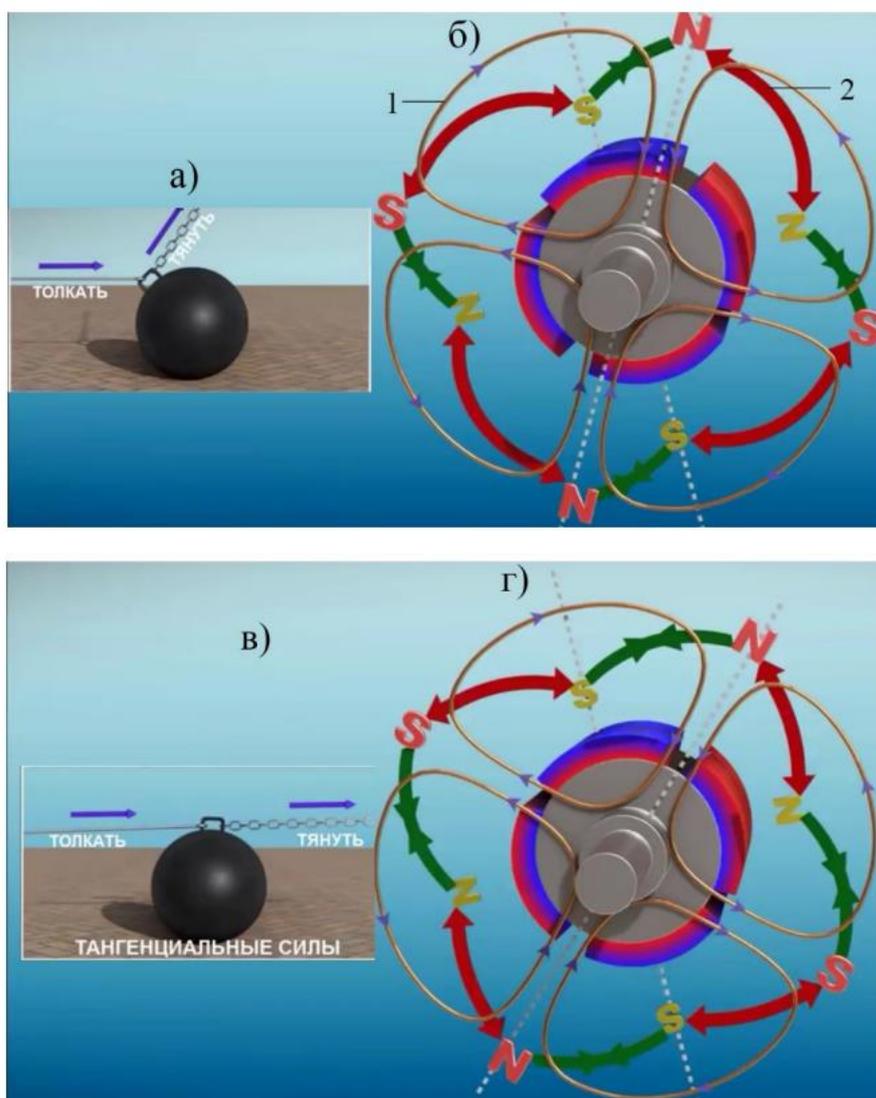
Это видно из примера толкания мяча по горизонтальной плоскости (рисунок 11, а, в). При одинаковом направлении толкающих и тянущих сил, общая сила, передвигающая мяч, будет больше суммарной силы при положении тянущей силы под углом.

Недостатком электродвигателя с постоянными магнитами является также то, что при движении электромобиля по ровной поверхности постоянной высокой скоростью, силовые линии, создаваемые постоянными магнитами, пересекают витки обмотки статора, создавая там обратную электромагнитную силу. Чем выше частота вращения ротора, тем сильнее становится обратная электромагнитная сила, что снижает эффективность работы электродвигателя и увеличивает его нагрев. Этих недостатков лишены синхронные электрические реактивные двигатели.

Принцип работы реактивного синхронного двигателя заключается в следующем. Известно, что железо по сравнению с воздухом, хорошо удерживает магнитные силовые линии магнитного поля. В связи с этим, если в железном роторе сделать прорезы, то от положения ротора сопротивление магнитным силовым линиям будет меняться, увеличиваясь или уменьшаясь, в зависимости от того, в чем они будут проходить – в железе или в воздухе (рисунок 11).

В положении ротора (рисунок 11, а) сопротивление магнитным силовым линиям будет высокое, потому что они проходят через железо, а в положении (рисунок 11, б), при котором ротор повернут на 45° – низким. Ротор всегда имеет тенденцию переходить в положение, когда сопротивление магнитного поля

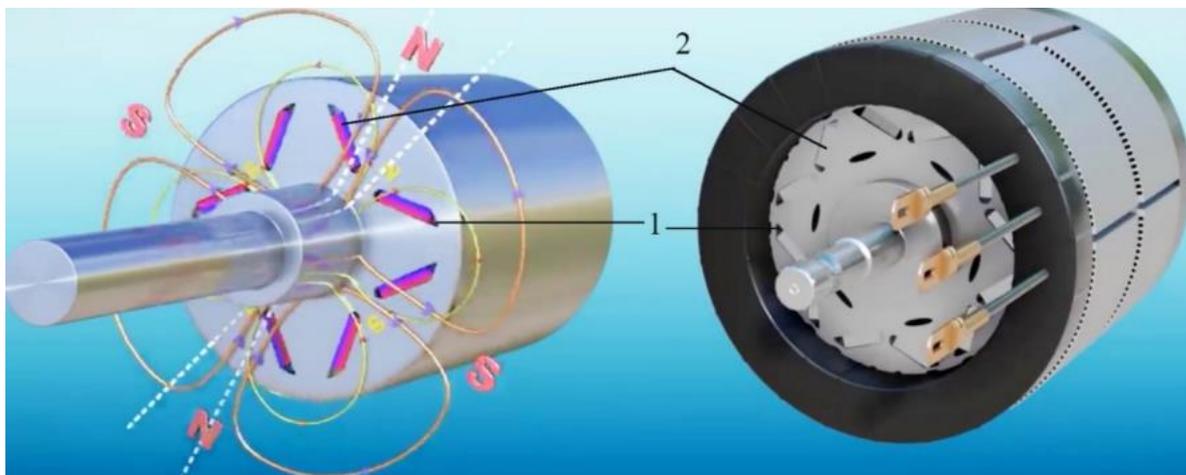
будет низким вращаясь вместе с ним. Таким образом ротор может всегда находиться в положении, когда магнитное поле имеет низкое сопротивление, при этом скорость вращения ротора будет совпадать со скоростью вращения магнитного поля статора. Крутящий момент при этом режиме работы электродвигателя называют реактивным моментом, а электродвигатели, в которых используется данный принцип работы называют синхронными реактивными электродвигателями, приспособленными для высоких скоростей движения электромобиля.



*а – тянущая и толкающая силы под разными углами; б – магнитное поле статора совпадает с магнитным полем ротора; в – тянущая и толкающая силы под одним углом; г – магнитное поле статора расположено под углом 45° относительно магнитного поля ротора;
 1 – магнитное поле статора; 2 – магнитное поле ротора*

Рисунок 11 – Схема действия магнитных сил

Для того чтобы объединить положительные особенности работы синхронных электродвигателей, использующих возможность получения максимального крутящего момента, так и синхронных реактивных электродвигателей, использующих возможность получения низкого сопротивления магнитного поля и в связи с этим уменьшения обратной электромагнитной силы при движении автомобиля с высокими скоростями движения, конструкторы Tesla создали новый электродвигатель. Такой электродвигатель устанавливается на модели электромобилей Tesla M3 (рисунок 12).

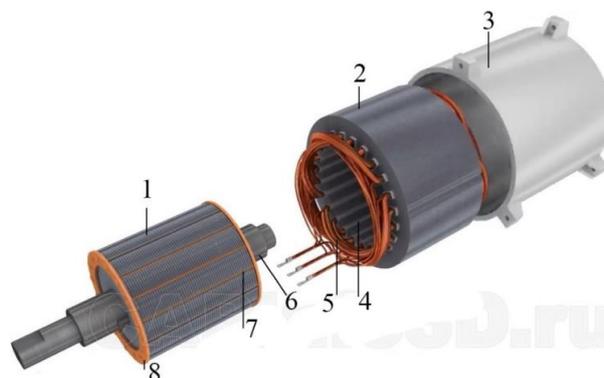


1 – прорези; 2 – постоянные магниты

Рисунок 12 – Электродвигатель Tesla M3

В таком электродвигателе постоянные магниты 2 помещаются в прорези 1 ротора. Такое размещение дополнительно снижает влияние магнитов на обмотку статора и таким образом снижает обратное электромагнитное поле. Относительная проницаемость магнитов почти такая же, как и у воздуха, поэтому они будут препятствовать прохождению электромагнитного поля через него, так же как препятствует воздух, тем самым создавая реактивный момент.

Асинхронные двигатели — электрический двигатель переменного тока, частота вращения ротора которого не равна (в двигательном режиме меньше) частоте вращения магнитного поля, создаваемого током обмотки статора. Иногда асинхронные моторы называют индукционными, так как в роторе в соответствии с законом Ленца у них индуцируется электромагнитная сила. Ротор вращается не синхронно с вращающимся полем статора. Общее устройство асинхронного двигателя показано на рисунке 13.

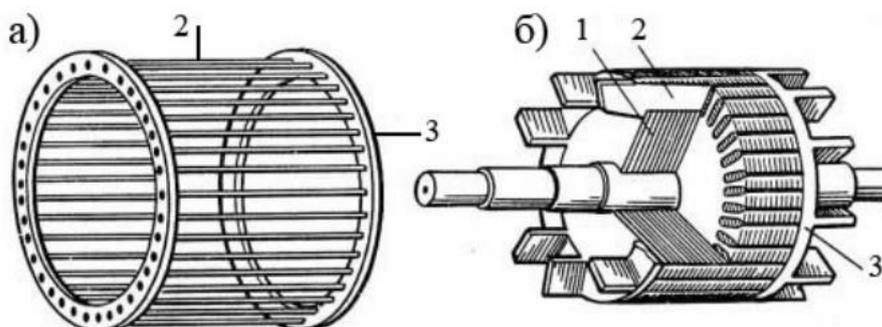


1 – ротор; 2 – статор; 3 – корпус; 4 – паз; 5 – обмотка; 6 – вал; 7 – стержень; 8 – кольцо

Рисунок 13 – Общее устройство асинхронного электродвигателя

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: короткозамкнутого ротора 1 и статора 2, которые установлены в корпусе 3. Основой статора является сердечник, который набирается из листов специальной электрической стали. Листы изолированы между собой и имеют пазы 4 с внутренней стороны. В пазы сердечника устанавливается изоляция и укладывается обмотка 5 из медного изолированного специальным лаком провода. 12

Аналогично устроен и ротор, сердечник которого представляет собой «беличье колесо» (рисунок 14), закрепленное на валу и состоящее из набора металлических медных стержней 2, впаянных или залитых в сердечник 1 замкнутых между собой кольцами 3. Для уменьшения высших гармоник ЭДС и пульсации магнитного поля, стержни укладывают не вдоль вала, а под определенным углом относительно оси вращения.



1 – сердечник; 2 – набор металлических стержней; 3 – кольцо

Рисунок 14 – «Беличье колесо» (а) и короткозамкнутый ротор (б)

Принцип действия асинхронного двигателя основан на силовом действии магнитного поля. Вращающееся магнитное поле, создаваемое токами обмотки статора, индуцирует в обмотке ротора ЭДС. Так как обмотка ротора всегда

замкнута, то по ней под действием этой ЭДС будут протекать токи. Магнитное поле, взаимодействующее с этими токами ротора, создает на его валу вращающий электромагнитный момент, который всегда направлен в сторону вращения магнитного поля. Под действием этого момента ротор начинает вращаться со скоростью n_2 .

1.4 Проверочный расчет мощности электродвигателя

Проведение предварительных расчётов необходимой мощности электродвигателя и его максимального крутящего момента, исходя из заданной максимальной скорости электромобиля и времени ускорения до этой скорости. По результатам предварительного расчёта подобрать наиболее подходящий тип электродвигателя исходя из таких параметров как срок службы, удельная мощность и КПД. В качестве исходных данных были взяты параметры, соответствующие среднестатистическому компактному городскому автомобилю, они приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры электромобиля для проведения расчётов

Масса электромобиля m_a , кг	633
Радиус ведущего колеса r , м	0,46
Максимальная скорость V_{max} , м/с	13,05
Время разгона до максимальной скорости t_p	20
Аэродинамический коэффициент лобового сопротивления c_x	0,5
Площадь лобового сопротивления A , м ²	1,6
КПД трансмиссии $\eta_{тр}$	0,9
Передаточное число главной передачи i_1	12

Расчёт мощности электродвигателя. Тягово-скоростные характеристики машины определяются характеристиками тягового электродвигателя, первой основной такой характеристикой является мощность двигателя. Используя общее аналитическое выражение [4], выполним расчет мощности электродвигателя электромобиля:

$$\frac{m_a \cdot g \cdot f_k \cdot V_{max} + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{возд} \cdot A \cdot v_{max}^3}{\eta_{тр}}, \quad (1)$$

где m_a – масса электромобиля, кг;

g – ускорение свободного падения на Земле, м/с²;

f_k – коэффициент зависимости сопротивления качению от скорости;

V_{max} – максимальная скорость электромобиля, м/с;

c_x – аэродинамический коэффициент силы лобового сопротивления;
 $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, кг/м³;
 A – площадь лобового сопротивления воздуха, м²;
 $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии.

Коэффициент зависимости сопротивления качению f_k от скорости определяется следующим аналитическим выражением [4]:

$$f_k = f_0(1 + A_f \cdot V_{\text{max}}^2), \quad (2)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению; A_f – коэффициент зависимости сопротивления качению шины от скорости.

Числовые значения для подстановки в формулы (1) и (2) берутся из таблиц 1 и 2.

Таблица 2 - Дополнительные данные для формул (1), (2).

Ускорение свободного падения g , м/с ²	9,91
Коэффициент сопротивления качению f_0	0,015
Плотность воздуха $\rho_{\text{возд}}$, кг/м ³	1,202
Коэффициент зависимости сопротивления качению шины от скорости A_f , м ² /с ²	5,1 · 10 ⁴
Угол наклона дороги к горизонту α , °	0
Передаточное число главной передачи i_1	12

Коэффициент зависимости сопротивления качению f_k рассчитывается по формуле (2):

$$f_k = f_0(1 + A_f \cdot V_{\text{max}}^2) = 0,015(1 + 5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 13,05^2) = 0,016$$

Подставляя числовые значения в формулу расчёта необходимой мощности $P_{\text{расч}}$ электродвигателя (1), получается:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{расч}} &= \frac{m_a \cdot g \cdot f_k \cdot V_{\text{max}} + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot A \cdot v_{\text{max}}^3}{\eta_{\text{тр}}} \\
 &= \frac{633 \cdot 9,91 \cdot 0,016 \cdot 13,05 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,202 \cdot 1,6 \cdot 13,05^2}{0,9} \\
 &= 2,769 \text{ кВт.}
 \end{aligned}$$

Расчёт пикового крутящего момента на валу электродвигателя. Второй важной характеристикой любого электропривода является крутящий момент на валу электродвигателя. От величины крутящего момента зависит время разгона автомобиля до необходимой скорости и так же чем выше крутящий момент электродвигателя, тем меньшее передаточное соотношение должен иметь редуктор, это повышает общий КПД трансмиссии. Чтобы найти минимальный крутящий момент используется следующее общее аналитическое выражение [4]:

$$M = \frac{(f_k \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha + m \cdot g \cdot \sin\alpha + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot V_{max}^2 + m \cdot a \cdot \sigma_r) \cdot r}{\eta_{tr} \cdot i_0 \cdot i_1},$$

где α – угол наклона дороги к горизонтали;

σ_r – коэффициент коррекции вращающихся масс;

t_p – время разгона электромобиля до максимальной скорости, с;

r – радиус ведущего колеса, м;

i_0 – передаточное число коробки передач;

i_1 – передаточное число главной передачи.

Подставляя числовые значения в формулу для расчёта минимального крутящего момента $M_{расч}$ на валу электродвигателя (3), получается:

$$M_{расч} = \frac{(f_k \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha + m \cdot g \cdot \sin\alpha + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot V_{max}^2 + m \cdot a \cdot \frac{V_{max}}{t_p}) \cdot r}{\eta_{tr} \cdot i_0 \cdot i_1} =$$

$$\frac{(0,016 \cdot 633 \cdot 9,91 \cdot 1 + 633 \cdot 9,91 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,202 \cdot 1,6 \cdot 13,05^2 + 633 \cdot 0 \cdot \frac{13,05}{25}) \cdot 0,46}{0,9 \cdot 12} = 7,79 \text{ Нм.}$$

И мощность и крутящий момент на валу электродвигателя практически совпадают с параметрами заложенными в технической характеристике электромобиля

Достоинства и недостатки различных типов электродвигателей. Для тягового привода в различных областях применяются коллекторные двигатели постоянного тока (ДПТ), асинхронные и синхронные электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов [5], последние два типа не имеют щёточно-коллекторного узла и их срок службы определяется только износом подшипников ротора и скоростью старения изоляции обмоток.

Коллекторные тяговые ДПТ состоят из многополюсного ротора с обмоткой, щёточно-коллекторного узла, служащего для коммутации обмоток ротора, и статора с обмоткой возбуждения. Достоинства этого типа двигателей постоянного тока: высокая перегрузочная способностью, широкий диапазон регулирования скорости. Недостатки: низкая надёжность и низкий срок службы из-за наличия щёточно-коллекторного узла, обладает худшими массогабаритными показателями в сравнении с другими двигателями.

Трёхфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, они превосходят двигатели постоянного тока по массогабаритным показателям,

так же отличаются высокой надёжностью и высоким сроком службы. Их основными недостатками считаются низкий пусковой момент и значительный пусковой ток.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами обладают всеми достоинствами других типов электродвигателей. Недостатками данной машины является наличие дорогих постоянных редкоземельных магнитов, и невысокая индуктивность статорных обмоток [6]. Достоинства таких двигателей: высокая перегрузочная способность по моменту, высокий КПД (выше 90 %), большой срок службы и высокая надёжность. Из недостатков стоит отметить сложную систему управления данным типом двигателей, включающую в себя датчик абсолютного положения ротора, высокоскоростной инвертор и необходимость наличия микропроцессора.

Для электромобиля оптимальным является синхронный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Поскольку обладает высоким КПД, порядка 94% и высоким отношением мощности к массе, больше единицы.

Заключение. Учитывая современные требования по снижению массы и габаритов, а также повышением КПД электроприводов. Это особенно важно для электротранспорта с аккумуляторным накопителем энергии, поскольку современные аккумуляторные батареи обладают сравнительно невысоким соотношением запасаемой энергии к кг, тем самым даже незначительное снижение массы трансмиссии и увеличение её КПД значительным образом сказываются на запасе хода электромобиля.

Необходимая эффективность работы связки электродвигатель – механическая трансмиссия достигается только применением тяговых синхронных электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов.

1.5 Устройство плавного пуска электродвигателя

Устройство плавного пуска — электротехническое устройство, используемое в асинхронных электродвигателях, которое позволяет во время запуска удерживать параметры двигателя (тока, напряжения и т.д.) в безопасных пределах. Его применение уменьшает пусковые токи, снижает вероятность перегрева двигателя, устраняет рывки в механических приводах, что, в конечном итоге, повышает срок службы электродвигателя.

Назначение. Управление процессом запуска, работы и остановки электродвигателей. Основными проблемами асинхронных электродвигателей являются:

- невозможность согласования крутящего момента двигателя с моментом нагрузки,
- высокий пусковой ток.

Во время пуска крутящий момент за доли секунды часто достигает 150-200%, что может привести к выходу из строя кинематической цепи привода. При

этом стартовый ток может быть в 6-8 раз больше номинального, порождая проблемы со стабильностью питания. Устройство плавного пуска позволяют избежать этих проблем, делая разгон и торможение двигателя более медленными. Это позволяет снизить пусковые токи и избежать рывков в механической части привода или гидравлических ударов в трубах и задвижках в момент пуска и остановки двигателей.

Принцип действия устройство плавного пуска. Основной проблемой асинхронных электродвигателей является то, что момент силы, развиваемый электродвигателем, пропорционален квадрату приложенного к нему напряжения, что создаёт резкие рывки ротора при пуске и остановке двигателя, которые, в свою очередь, вызывают большой индукционный ток.

Софтстартеры могут быть как механическими, так и электрическими, либо сочетать то и другое.

Механические устройства непосредственно противодействуют резкому нарастанию оборотов двигателя, ограничивая крутящий момент. Они могут представлять собой тормозные колодки, жидкостные муфты, магнитные блокираторы, противовесы с дробью и прочее.

Данные электрические устройства позволяют постепенно повышать ток или напряжение от начального пониженного уровня (опорного напряжения) до максимального, чтобы плавно запустить и разогнать электродвигатель до его номинальных оборотов. Такие УПП обычно используют амплитудные методы управления и поэтому справляются с запуском оборудования в холостом или слабо нагруженном режиме. Более современное поколение УПП (например, устройства ЭнерджиСейвер) используют фазовые методы управления и потому способны запускать электроприводы, характеризующиеся тяжелыми пусковыми режимами "номинал в номинал". Такие УПП позволяют производить запуски чаще и имеют встроенный режим энергосбережения и коррекции коэффициента мощности.

Выбор устройства плавного пуска. При включении асинхронного двигателя в его роторе на короткое время возникает ток короткого замыкания, сила которого после набора оборотов снижается до номинального значения, соответствующего потребляемой электрической машиной мощности. Это явление усугубляется тем, что в момент разгона скачкообразно растет и крутящий момент на валу. В результате может произойти срабатывание защитных автоматических выключателей, а если они не установлены, то и выход из строя других электротехнических устройств, подключенных к той же линии. И в любом случае, даже если аварии не произошло, при пуске электромоторов отмечается повышенный расход электроэнергии. Для компенсации или полного устранения этого явления используются устройства плавного пуска (УПП).



Рисунок 15 – Устройства плавного пуска

Как реализуется плавный пуск. Чтобы плавно запустить электродвигатель и не допустить броска тока, используются два способа:

1. Ограничивают ток в обмотке ротора. Для этого ее делают состоящей из трех катушек, соединенных по схеме «звезда». Их свободные концы выводят на контактные кольца (коллекторы), закрепленные на хвостовике вала. К коллектору подключают реостат, сопротивление которого в момент пуска максимальное. По мере его снижения ток ротора растет и двигатель раскручивается. Такие машины называются двигателями с фазным ротором. Они используются в крановом оборудовании и в качестве тяговых электромоторов троллейбусов, трамваев.

2. Уменьшают напряжение и токи, подаваемые на статор. В свою очередь, это реализуется с помощью:

- а) автотрансформатора или реостата;
- б) ключевыми схемами на базе тиристорov или симисторов.

Именно ключевые схемы и являются основой построения электротехнических приборов, которые принято называть устройствами плавного пуска или софтстартерами. Обратите внимание, что частотные преобразователи так же позволяют плавно запустить электродвигатель, но они лишь компенсируют резкое возрастание крутящего момента, не ограничивая при этом пускового тока.

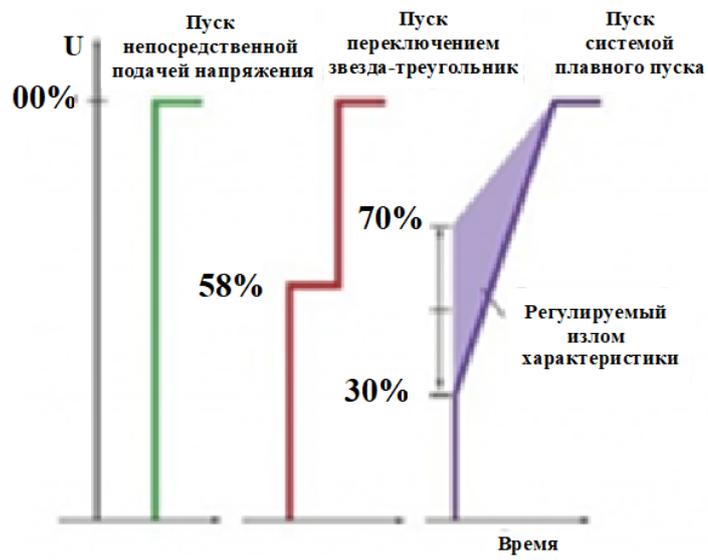


Рисунок 16 – Напряжение электродвигателя

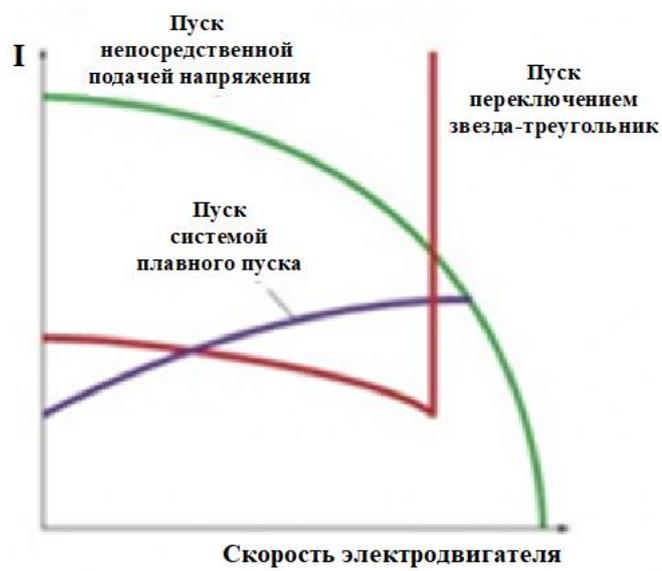


Рисунок 17 – Ток электродвигателя



Рисунок 18 – Крутящий момент электродвигателя

Принцип работы ключевой схемы основывается на том, что тиристоры отпираются на определенное время в момент прохождения синусоидой ноля. Обычно в той части фазы, когда напряжение растет. Реже – при его падении. В результате на выходе УПП регистрируется пульсирующее напряжение, форма которого лишь приблизительно похожа на синусоиду. Амплитуда этой кривой растет по мере того, как увеличивается временной интервал, когда тиристор открыт.

Критерии выбора софтстартера. По степени снижения степени важности критерии выбора устройства располагаются в следующей последовательности:

- Мощность.
- Количество управляемых фаз.
- Обратная связь.
- Функциональность.
- Способ управления.
- Дополнительные возможности.

Мощность. Главным параметром УПП является величина $I_{ном}$ – сила тока, на которую рассчитаны тиристоры. Она должна быть в несколько раз больше значения силы тока, проходящего через обмотку двигателя, вышедшего на номинальные обороты. Кратность зависит от тяжести пуска. Если он легкий – металлорежущие станки, вентиляторы, насосы, то пусковой ток в три раза выше номинального. Тяжелый пуск характерен для приводов, имеющих значительный момент инерции. Таковы, например, вертикальные конвейеры, пилорамы, прессы. Ток выше номинального в пять раз. Существует и особо тяжелый пуск, который сопровождает работу поршневых насосов, центрифуг, ленточных пил... Тогда $I_{ном}$ софтстартера должен быть в 8-10 раз больше.

Тяжесть пуска влияет и на время его завершения. Он может длиться от десяти до сорока секунд. За это время тиристоры сильно нагреваются, поскольку рассеивают часть электрической мощности. Для повторения им надо остыть, а

на это уходит столько же, сколько на рабочий цикл. Поэтому если технологический процесс требует частого включения-выключения, то выбирайте софтстартер как для тяжелого пуска. Даже если ваше устройство не нагружено и легко набирает обороты.

Количество фаз. Можно управлять одной, двумя или тремя фазами. В первом случае устройство в большей степени смягчает рост пускового момента, чем тока. Чаще всего используются двухфазные пускатели. А для случаев тяжелого и особо тяжелого пуска – трехфазные.

Обратная связь. УПП может работать по заданной программе – увеличить напряжение до номинала за указанное время. Это наиболее простое и распространенное решение. Наличие обратной связи делает процесс управления более гибким. Параметрами для нее служат сравнение напряжения и вращающего момента или фазный сдвиг между токами ротора и статора.

Функциональность. Возможность работать на разгон или торможение. Наличие дополнительного контактора, который шунтирует ключевую схему и позволяет ей остыть, а также ликвидирует несимметричность фаз из-за нарушения формы синусоиды, которое приводит к перегреву обмоток.

Способ управления. Бывает аналоговым, посредством вращения потенциометров на панели, и цифровым, с применением цифрового микроконтроллера.

Дополнительные функции. Все виды защиты, режим экономии электроэнергии, возможность пуска с рывка, работы на пониженной скорости (псевдочастотное регулирование).

Правильно подобранный УПП увеличивает вдвое рабочий ресурс электродвигателей, экономит до 30 процентов электроэнергии.

Зачем нужно устройство плавного пуска (софтстартера)

Все чаще при запуске электроприводов насосов, вентиляторов применяются устройство плавного пуска (софтстартер). С чем это связано? В нашей статье мы постараемся осветить этот вопрос.

Асинхронные двигатели используются уже более ста лет, и за это время относительно мало изменилось их функционирование. Запуск этих устройств и связанные с ним проблемы хорошо известны их владельцам. Пусковые токи приводят к просадкам напряжения и перегрузкам проводки, вследствие чего:

- некоторая электротехника может самопроизвольно отключаться;
- возможен сбой оборудования и т. д.

Своевременно установленный приобретенный и подключенный софтстартер позволяет избежать лишних трат денег и головной боли.

Что такое пусковой ток

В основе принципа действия асинхронных двигателей лежит явление электромагнитной индукции. Нарастивание обратной электродвижущей силы (э. д. с), которая создается путем применения изменяющегося магнитного поля во время запуска двигателя, приводит к переходным процессам в электрической системе. Этот переходной режим может повлиять на систему электропитания и другое оборудование, подключенное к нему.

Во время запуска электродвигатель разгоняется до полной скорости. Продолжительность начальных переходных процессов зависит от конструкции агрегата и характеристик нагрузки. Пусковой момент должен быть наибольшим, а пусковые токи – наименьшими. Последние влекут за собой пагубные последствия для самого агрегата, системы электроснабжения и оборудования, подключенного к нему.

В течение начального периода пусковой ток может достигать пяти-восьмикратного тока полной нагрузки. Во время пуска электродвигателя кабели вынуждены пропускать больше тока, чем во время периода стабильного состояния. Падение напряжения в системе также будет намного больше при пуске, чем во время стабильной работы – это становится особенно очевидным при запуске мощного агрегата или большого числа электродвигателей одновременно.

Способы защиты электродвигателя. Поскольку использование электродвигателей стало широко распространенным, преодоление проблем с их запуском стало проблемой. На протяжении многих лет для решения этих задач были разработано несколько методов, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения.

В последнее время были достигнуты значительные успехи в использовании электроники в регулировании электроэнергии для двигателей. Все чаще при запуске электроприводов насосов, вентиляторов применяются устройства плавного пуска. Всё дело в том, что прибор имеет ряд особенностей.

Особенностью устройства пуска является то, что он плавно подаёт на обмотки двигателя напряжение от нуля до номинального значения, позволяя двигателю плавно разгоняться до максимальной скорости. Развиваемый электродвигателем механический момент пропорционален квадрату приложенного к нему напряжения.

В процессе пуска УПП постепенно увеличивает подаваемое напряжение, и электромотор разгоняется до номинальной скорости вращения без большого момента и пиковых скачков тока.

Виды устройств плавного пуска. На сегодняшний день для плавного запуска техники используются три типа УПП: с одной, двумя и со всеми управляемыми фазами.

Первый тип применяется для однофазного двигателя для обеспечения надежной защиты от перегрузки, перегрева и снижения влияния электромагнитных помех.

Как правило, схема второго типа помимо полупроводниковой платы управления включает в себя байпасный контактор. После того как двигатель раскрутится до номинальной скорости, байпасный контактор срабатывает и обеспечивает прямую подачу напряжения на электродвигатель.

Трёхфазный тип является самым оптимальным и технически совершенным решением. Он обеспечивает ограничение тока и силы магнитного поля без перекосов по фазам.

Зачем же нужно устройство плавного пуска?

Благодаря относительно невысокой цене популярность софтстартеров набирает обороты на современном рынке промышленной и бытовой техники. УПП для асинхронного электродвигателя необходимо для продления его срока службы. Большим преимуществом софтстартера является то, что пуск осуществляется с плавным ускорением, без рывков.

Есть отличная альтернатива устройству плавного пуска. Стоимость отличается, но и функциональные возможности расширенные.

Преобразователь частоты – это решение задачи, когда требуется регулирование скорости электродвигателя и автоматизация работы технологического оборудования через обратную связь посредством датчика. При помощи преобразователя Вы сможете решить более сложные и разносторонние вопросы по автоматизации электропривода.

Но мы обратили внимание на способ запуска с помощью дополнительного пневматического двигателя, в качестве стартового устройства

Главную задачу которую должен решить стартовое устройство – создать силовой импульс для преодоления сил трения покоя и выбор зазоров в зубчатых зацеплениях. После чего на обмотку возбуждения ротора электродвигателя подать постоянное напряжение.

1.6 Основные причины выбора пневматического двигателя в качестве стартового устройства

Пневматические приводы получили широкое применение в самых различных отраслях человеческой деятельности: в станкостроении, транспортном машиностроении, литейном и кузнечном производстве, полиграфическом машиностроении, строительном и автомобильном деле, самолётостроении, в ракетных двигателях, в кожевенной и пищевой промышленности, на железнодорожном транспорте, в топливно-энергетическом комплексе, химической промышленности, космонавтике и т. д. В настоящее время трудно назвать отрасль промышленности, в которой бы не применялись пневматические приводы в том или ином виде. Пневмоустройства используются в качестве приводов зажимных и транспортирующих механизмов, для дистанционного управления и регулирования, в контрольно-измерительных приборах, при автоматизации машин и устройств, работающих в агрессивных средах, в условиях пожаро- и взрывоопасности, радиации, а также в условиях значительных вибраций и высоких температур. Элементы пневмоавтоматики и пневмоприводы всё больше внедряются в медицинские приборы различного назначения - для искусственного дыхания, кровообращения, инъекций и т. д. .

Широкое применение пневмоприводов объясняется их преимуществами по сравнению с другими средствами автоматизации, однако, пневматические приводы обладают и рядом недостатков, которые сдерживают их применение. Рассмотрим достоинства и недостатки пневмопривода необходимо в сравнении

с другими конкурирующими видами приводов - с электрическим и гидравлическим.

Основные недостатки пневматического привода в сравнении с электрическим заключаются в меньшей скорости срабатывания, сложности регулирования скорости и обеспечения требуемого закона движения и, как следствие, в сложности адаптации привода к изменяющимся динамическим нагрузкам, и, наконец, в большем уровне шума при работе и утечках воздуха. Преимущество пневмопривода перед электроприводом состоит в том, что имеется возможность воспроизводить поступательное движение без каких-либо передаточных механизмов. Это преимущество становится особенно очевидным в тех случаях, когда необходимо осуществлять возвратно-поступательное движение. Пневмоустройства вращательного движения отличаются от электродвигателей меньшими габаритами, нечувствительностью к длительным перегрузкам, простотой регулирования, полной безопасностью для оператора. Значительным преимуществом пневмопривода перед электроприводом является его взрыво-пожаробезопасность, что позволяет использовать его в нефтяной и газовой промышленности, на атомных электростанциях.

По сравнению с гидравлическим приводом пневмопривод имеет большие размеры, а при равных габаритах развивает меньшие усилия; это объясняется более высоким давлением жидкости в гидроприводе. Кроме того, гидропривод лучше справляется с задачами позиционирования и точнее обрабатывает координаты. Вместе с тем, для пневмопривода характерны более высокая скорость срабатывания, меньшая длина возвратных линий, более низкая стоимость, меньшие требования в отношении герметичности, большая независимость от колебаний температуры.

Итак, пневматические приводы получили широкое распространение практически во всех отраслях промышленности благодаря низкой стоимости, малой чувствительности к условиям работы, взрыво-пожаробезопасности, высоким скоростям перемещения груза. Тем не менее, в отдельных случаях пневматический привод проигрывает конкурирующим видам приводов (гидравлическому и электрическому). Существует ряд задач, которые пневматические приводы не способны решать эффективно из-за сильной сжимаемости их рабочей среды - воздуха. Одной из таких задач является безударная остановка привода в конце хода при условии изменения массы груза в широком диапазоне. Удар может привести к потере предмета транспортирования из-за очень больших ускорений в момент удара или вызвать длительный колебательный процесс исполнительных органов (консольных звеньев) технологической машины, что в свою очередь может привести к уменьшению производительности машины из-за необходимости ожидания завершения колебательного процесса, ускоренному износу машины, уменьшению её точности из-за пластических деформаций соударяющихся звеньев. Сложность адаптации пневмопривода к изменяющимся динамическим нагрузкам приводит при одних массах грузов к удару в конце хода, при других

массах грузов - к увеличению длительности переходного процесса из-за малых ползучих скоростей.

Указанные недостатки, характерные для пневматических приводов, на практике приводят к отказу конструкторов технологического оборудования от пневматического привода или к неоправданному снижению скорости в последнем во избежание сильных ударов. Таким образом, работа по созданию высокоскоростного пневматического привода, способного плавно останавливаться в конце хода вне зависимости от массы перемещаемого груза, является актуальной и представляет большой практический интерес.

Несмотря на перечисленные недостатки пневмопривода, его потенциальные возможности далеко не исчерпаны и работы над усовершенствованием пневмоприводов продолжают. Это касается как вопросов торможения и позиционирования, так и вопросов повышения быстродействия и адаптации приводов к изменяющейся в широком диапазоне динамической нагрузке.

Описание пневмомотора используемого в стартовом устройстве. В качестве движителя стартового устройства был использован пневмомотор пневматического ударного гайковерта Nordberg NP14068 (Рисунок 19)



Рисунок 19– Пневматический ударный гайковерт Nordberg NP14068

Ударный пневмогайковерт NORDBERG NP14068 отличается небольшим весом благодаря тому, что корпус выполнен из композитного материала. Это позволяет вести продолжительные работы без перерыва.

Резиновая накладке на рукоятке обеспечивает надежный хват, за счет чего повышается контроль над инструментом и безопасность работ.

Ударный механизм дает возможность демонтировать туго закрученный и прикипевший крепеж.

Преимущества NORDBERG ECO NP14068. Ударный механизм TWIN-HUMMER - для мощных и сбалансированных ударов; Мягкая рукоятка - для удобства при длительной работе; Выброс воздуха в сторону от оператора - для повышения комфорта использования; Подвижная гайка - для защиты шланга от перекручивания и изломов; Пневматический механизм - для автономной работы;

Таблица 3 – Основные характеристики ударного пневмогайковерта NORDBERG NP14068

Вес	3 кг
Производитель	Nordberg
Максимальное количество оборотов	7000 об/мин
Рабочее давление	6 бар
Расход воздуха	119 литр/мин
Диаметр входного штуцера	1/2"
Страна производитель	Китай
Максимальный крутящий момент	680 Н*m
Тип ударного механизма	Twin Hammer

Энергия потока сжатого воздуха преобразуется во вращение в пластинчатом моторе (Рисунок 20). Пневмомотор состоит из неподвижного статора, и подвижного ротора, в котором выполнены пазы для установки пластин. Ротор размещён с эксцентриситетом относительно статора. Для того, чтобы пластины выдвинулись из пазов и прижались к статору сжатый воздух подводится через ротор в пазы под торцы пластин.

Сжатый воздух также подводится в канал 1 и попадает в изолированную рабочую камеру. Воздух стремится перейти к нормальному состоянию, то есть расширится, это возможно лишь в том случае если объем рабочей камеры увеличится. Поэтому ротор начнёт вращаться, в том направлении, при котором объем рабочей камеры будет увеличиваться. Сжатый воздух, совершивший работу будет отводиться через канал 2.

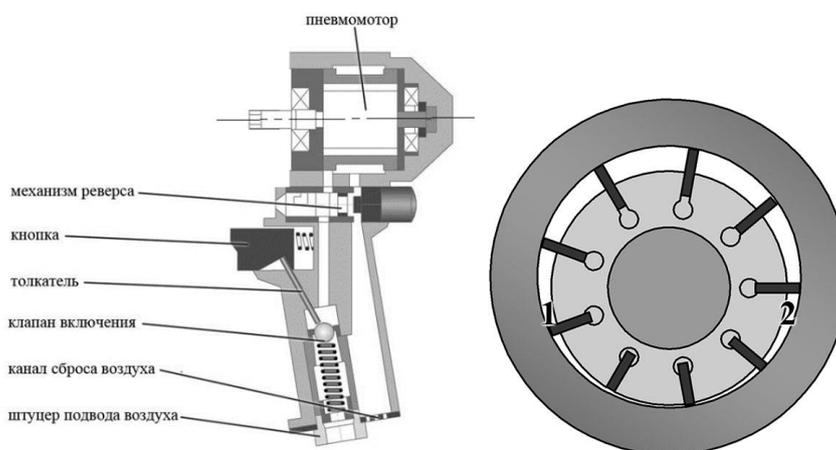


Рисунок 20 – Схема пневмомотора

Механизм реверса. Для того, чтобы изменить направление вращения пневматического мотора нужно подавать сжатый воздух в канал 2, а канал 1

соединить с выхлопной линией. Для изменения направления движения воздуха используется золотник, который перемещается с помощью кнопки

1.7 Описание предлагаемого варианта стартового устройства

Для проведения исследований использовали только пневмомотор гайковерта. Но так как момент, развиваемый пневмомотором (680Н·м) указан с учетом работы ударного механизма – сдвинуть электромобиль не удалось. Работа совместно с ударным механизмом по условиям эргономичности – нецелесообразна (повышенный шум, толчки, повышенный расход воздуха).

Принимая во внимание скорости вращения ротора пневмомотора в 7000 мин⁻¹, для увеличения крутящего момента - между редуктором и пневмомотором установили промежуточный конически-цилиндрический редуктор (рис.21) с передаточным соотношением $i=6$. Таким образом удалось практически в 6 раз повысить крутящий момент пневмомотора и данные по скорости вращения близки к номинальным скоростям электродвигателя – 1166 против 3000 мин⁻¹.



Рисунок 21 – Промежуточный редуктор



Рисунок 22 – Общий вид вспомогательного пневмопривода с промежуточным редуктором

2 Аппаратурное оформление экспериментов

2.1 Регистратор электрических параметров РПМ-416

Для более точных исследований и контроля параметров было принято решение использовать регистратор электрических параметров РПМ-416 (Рисунок 23). РПМ-416 является микропроцессорным устройством, предназначенным для измерения и регистрации тока, напряжения, мощности, частоты и др. значений электрических параметров сети, аналоговых и дискретных сигналов с последующим анализом полученных результатов на ПК.

- Архивирование данных выполняется на сменную карту памяти (SD/MMC) с привязкой к реальному времени.
- Регистратор конструктивно выполнен в пластмассовом корпусе, предназначенном для крепления на DIN-рейку.
- Имеет 15 каналов измерения.



Рисунок 23 – Регистратор электрических параметров РПМ-416 "

Программирование производится кнопками расположенными на передней панели прибора, с просмотром введенных данных на встроенном дисплее, или через бесплатную специализированную программу, установленную на ПК. Программа предоставляет возможность распечатывать графики и таблицы заархивированных измерений, считанных с карты памяти регистратора. Также программа позволяет удаленно конфигурировать регистратор и отслеживать его работу в режиме реального времени по протоколу *Modbus TCP*.

Особенности регистратора РПМ-416.

- Тип измерений - RMS / Мгновенное / Пиковое.
- Запись на карту памяти «до заполнения» или «по кольцу».
- Прямое измерение переменного напряжения от 3 до 450В.
- Возможность подключения трансформаторов напряжения с выставлением коэффициента преобразования от 1 до 5000.

- Работа с трансформаторами тока от 5 до 2000А с классом точности 0,5 или 0,5 S.
- Настройка и управление с передней панели или через ПК.
- Четырехстрочный символьный дисплей с отключаемой подсветкой.
- Часы реального времени.
- 15 физических + 4 виртуальных каналов измерения и регистрации.
- Бесплатное программное обеспечение для анализа измерений.
- Устанавливаемая карта памяти (SD/MMC).
- Ethernet 10Base-T / 100Base-T.
- Modbus TCP , FTP.
- Отключаемый пароль.
- Русифицированное меню.

Для замера пусковых токов на фазных линиях электродвигателя используем измерительный трансформатор тока ИПТ-01 (Рисунок 24), подключаемый к регистратору РПМ-416.



Рисунок 24 – Измерительный трансформатор тока ИПТ-01

2.2 Электронный динамометр ДЭП/6

Динамометры электронные переносные ДЭП/6 предназначены для измерения статической и медленно изменяющейся силы растяжения и сжатия. Электронный динамометр ДЭП/6 представляет собой устройство на основе датчика силы для измерения усилий, воздействующих на различные элементы механических конструкций в процессе их испытаний, монтажа и эксплуатации. Датчик силы включается в разрыв силовой схемы. Также датчики силы могут быть использованы как измерительный элемент любого вида весов, динамометрических схем и других устройств.

Динамометры ДЭП/6 применяются на предприятиях различных отраслей промышленности для измерений силы, при периодической поверке испытательных машин и стендов, при калибровке и поверке в качестве

эталонных средств измерений силы 2-го разряда по ГОСТ Р 8.640-2014 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений силы»



Рисунок 25 - Индикатор WI-19



Рисунок 26 - Тензодатчик

3 Экспериментальная часть

3.1 Исследование крутящих моментов на валу электродвигателя

Для исследования влияния загрузки электромобиля на крутящие моменты на валу электродвигателя без подключения АБ в правый торец моторного вала редуктора был установлен удлинитель с диском диаметром 70 мм с закрепленным по ободу тросиком для подсоединения к тензодатчику электронного динамометра ДЭП/6 (Рисунок 27).



Рисунок 27 – Общий вид схемы замера крутящего момента трогания на валу электродвигателя от загрузки электромобиля.

3.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению крутящих моментов на валу электродвигателя

Для проведения исследований электромобиль установили на горизонтальную площадку. В проушину тензодатчика вставили штырь для удобства создания тягового усилия. Динамометр настроили на режим фиксации пикового натяжения. Поэтапно, сначала пустой, а затем с нагрузкой создавали тяговое усилие пытались сдвинуть электромобиль фиксируя показания с экрана динамометра (в таблицу вносили среднее арифметическое 5 замеров).

При проведении исследований приняли во внимание, что снаряженная масса автомобиля составляет – 339 кг, а технически допустимая максимальная масса с грузом 633кг. Поэтому замеры проводили в следующей последовательности:

- пустой электромобиль (339 кг.);
- с одним водителем (условно 339кг + 90 кг=429 кг.);
- с пассажиром (условно 429 кг + 90= 519 кг.);

- с двумя пассажирами (условно 519 кг + 90=609 кг.).

Таблица 4 – Значения тягового усилия при трогании с места

№	Загрузка, кг	Показания табло индикатора WI-19, F, кН	Крутящий момент, Нм $M_{кр} = FD/2$, где $D=0,07$ м – диаметр шкива
1	Пустой электромобиль - 339 кг.	0,220	7,7
2	С одним водителем - условно 339кг + 90 кг=429 кг.	0,230	8,05
3	С пассажиром - условно 429 кг + 90= 519 кг.	0,286	10,02
4	С двумя пассажирами - условно 519 кг + 90=609 кг.	0,360	12,6

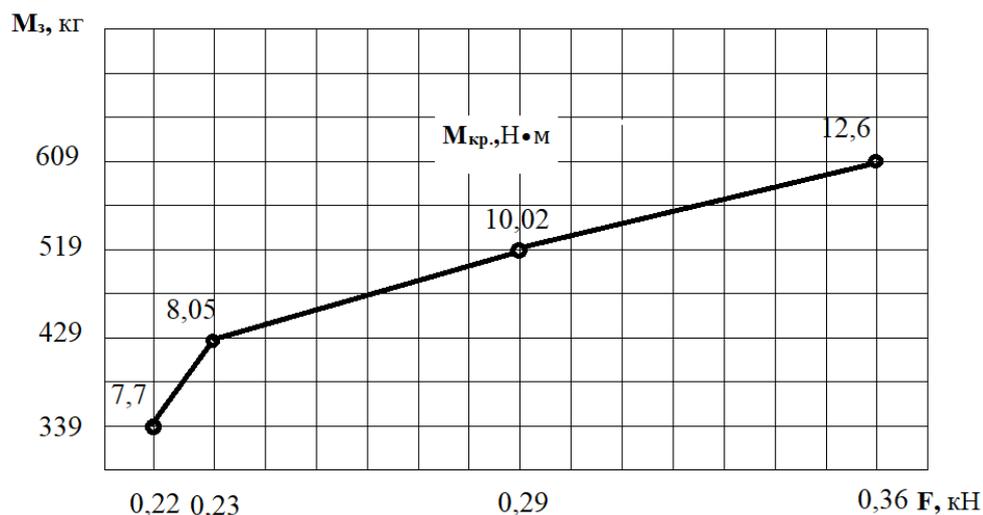


Рисунок 28 - График зависимости крутящего момента на валу электродвигателя от массы снаряженного электромобиля.

Момент полученный по результатам исследований (12,6 Н·м) при полной загрузке электромобиля практически совпадает с номинальным крутящим моментом развиваемый электродвигателем (12Н·м)

3.3 Исследование крутящих моментов развиваемых пневмомотором

Для проведения исследований воспользовались двумя слесарными тисками – в одни установили штырь и надели за проушину тензодатчик, а в другие закрепили конически-цилиндрический редуктор (Рисунок 29). Тросик закрепленный на шкиве выходного вала редуктора прикрепили к проушине тензодатчика.



Рисунок 29 – Схема замера крутящего момента создаваемого стартовым устройством с подключенным пневмомотором.

3.4 Методика проведения экспериментальных исследований по определению крутящих моментов развиваемых пневмомотором

Для проведения исследований по измерению крутящих моментов создаваемых стартовым устройством закачали в ресивер компрессора воздух под давлением 0,6 МПа. Поочередно переключая регулятор мощности пневмомотора с 1 по 5 позиции провели замеры крутящего момента создаваемого стартовым устройством. В каждой позиции проводили не менее пяти замеров с внесением в таблицу среднего арифметического.



Рисунок 30 - Момент фиксации крутящего момента (3-я позиция регулятора мощности)

Таблица 5 – Результаты замеров крутящего момента

№	Позиция регулятора мощности пневмомотора	Показания табло индикатора WI-19, F, кН	Крутящий момент, Нм $M_{кр} = FD/2$, где $D=0,07$ м – диаметр шкива
1	1	0,15	5,25
2	2	0,16	5,60
3	3	0,24	8,40
4	4	0,31	10,85
5	5	0,37	12,95

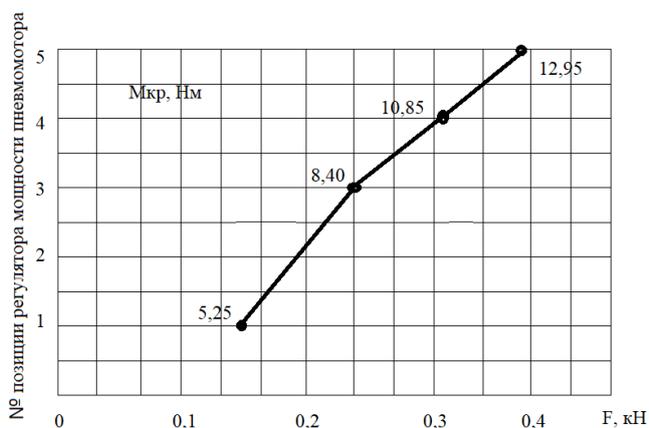


Рисунок 31 – График изменения крутящих моментов создаваемых стартовым устройством.

Анализ графиков показывает (рис.32), что уже начиная с 3-й позиции регулятора мощности пневмомотора, но при давлении в пневмомагистрали 0,6 МПа

стартовое устройство обеспечит плавный пуск главного электродвигателя электромобиля правда без пассажиров, с 4-й позиции с одним пассажиром, с 5-й позиции с двумя т.е максимальной загрузкой.

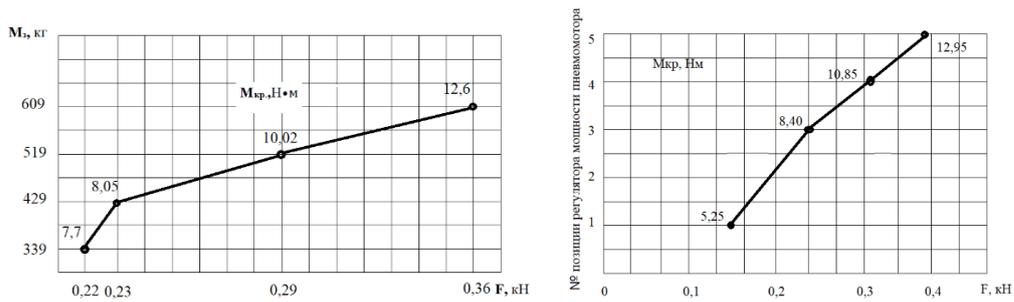


Рисунок 32 - Графики для сравнения возможностей.

3.5 Исследование влияния работы стартового устройства на пусковые токи электродвигателя

Процесс исследование влияния стартового устройства на пусковые токи провели в два этапа:

- на первом этапе определились с величиной пускового тока;
- на втором этапе измеряли пусковые токи на различных позициях регулятора мощности пневмомотора.

3.5.1 Измерение пускового тока без участия стартового устройства. Для измерения пусковых токов воспользовались цифровыми клещами (Fluke 325 30 мм+) рисунок 33.



Рисунок 33 – Цифровые клещи (Fluke 325 30 мм+).

Характеристики и описание

- размер зажима: 30 мм
- включен в госреестр: да
- функции: измерение переменного напряжения, измерение постоянного напряжения, измерение силы постоянного тока, измерение силы переменного тока, выявление повреждения проводки и соединения, измерение сопротивления
- размеры: 207 x 75 x 34

В таких клещах принцип их работы основан на эффекте Холла, когда параметры тока выводятся из параметров порождаемого им магнитного поля, воздействующего на полупроводник и инициирующего в нем эффект Холла.

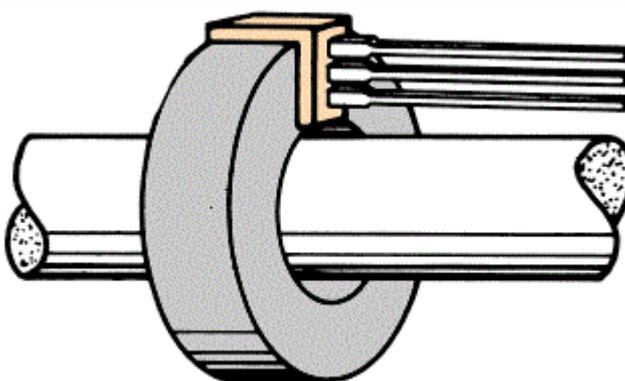


Рисунок 34 – К схеме замера постоянного тока клещами на основе эффекта Холла

Тонкая пластинка полупроводника устанавливается перпендикулярно магнитному полю тока, который требуется измерить. На пластинку в определенном направлении (допустим вдоль нее) подается ток возбуждения, который отклоняется во внешнем магнитном поле под действием силы Лоренца в поперечном направлении, и тогда в этом направлении на краях пластинки можно измерить ЭДС (напряжение Холла).

При постоянном токе возбуждения через пластинку, ЭДС Холла, как и индукция магнитного поля измеряемого тока, будут пропорциональны измеряемому току. То есть напряжение Холла соответствует току в проводнике, который проходит внутри магнитопровода датчика. Такая схема имеет большие преимущества перед устройствами на базе трансформатора тока.

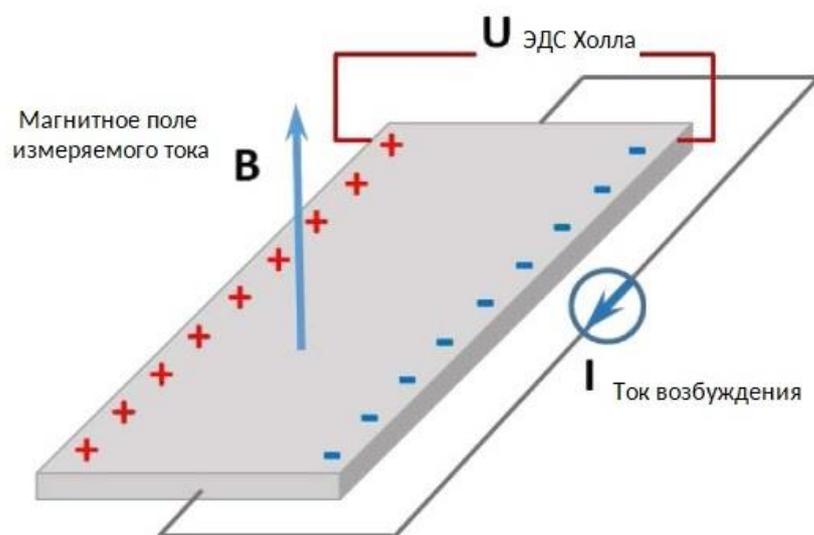


Рисунок 35 – К схеме замера постоянного тока клещами на основе эффекта Холла

Поскольку генерация ЭДС Холла не зависит от направления вектора магнитной индукции, а зависит только от его величины, датчик на основе эффекта Холла измеряет как переменный, так и постоянный ток. К тому же датчик абсолютно точно фиксирует фазу изменения (направления) магнитного поля, а значит пригоден для наблюдения формы тока.

Клещи с датчиком Холла бывают с одним либо с двумя встроенными датчиками. Различные модели клещей обладают широким динамическим диапазоном и частотной характеристикой, линейностью сигнала и высокой точностью.

Область применения таких клещей охватывает всё оборудование с постоянным током до 1500 А без необходимости встраивания дорогих шунтов. Переменный ток частотой в десятки килогерц также измерим при помощи клещей на базе эффекта Холла, причем форма тока может быть самой разной, среднеквадратичное значение будет найдено.

Выходной сигнал в милливольтках, пропорциональный измеренному току, может быть легко воспринят большинством мультиметров, осциллографов и самописцев

Далее определившись с плюсовым проводом на вводах в электродвигатель раскрыли и замкнули клещи на этом проводе. Убедившись в том, что аккумуляторная батарея зряжена полностью (по экрану индикатора (Рисунок 36) нажали на педаль газа до момента трогания электромобиля. На экране цифровых клещей должны появиться цифры показывающие величину пускового тока, если правильно выбран диапазон значений (Рисунок 37).



Рисунок 36 – Индикатор заряда АБ электромобиля

Проведя серию замеров находим среднее арифметическое пускового тока $I_{п} = 19\text{А}$.

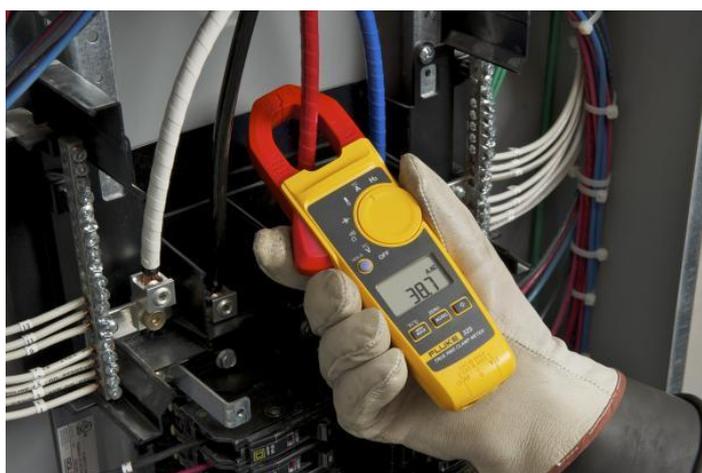


Рисунок 37– Схема замера пускового тока цифровыми клещами

Для записи пусковых токов в движении совместно со стартовым устройством использовали регистратор электрических параметров РПМ-416. Архивирование данных выполняется на сменную карту памяти (SD / MMC), с последующим анализом при помощи программного обеспечения RPM-416 Data Analysis.

Для тарировки графика со значениями пускового тока на РПМ-416 на этот же провод «+» устанавливаем измерительный трансформатор тока ИПТ-01 (Рисунок 38).

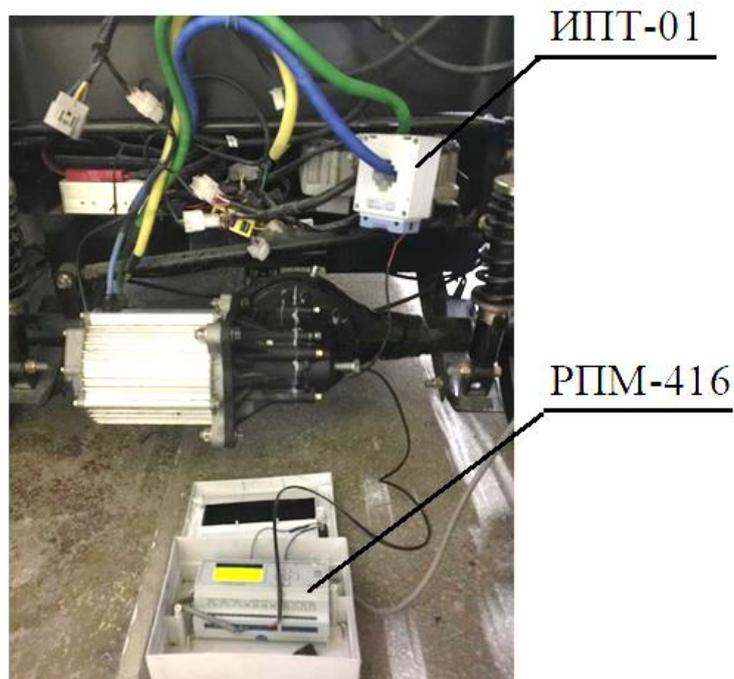


Рисунок 38 – Схема замера токов с использованием измерительного трансформатора тока ИПТ-01 и РПМ-416

После нажатия на педаль газа фиксируем всплески на графиках пусковые токи. Соответственно максимальный всплеск и будет соответствовать $I_{\text{п}} = 19 \text{ А}$.

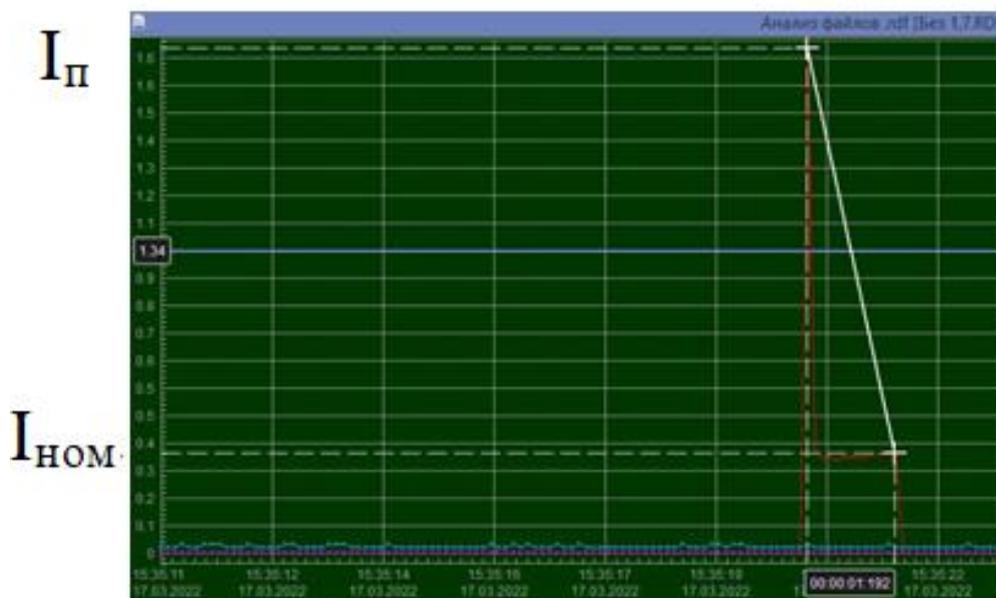


Рисунок 39– График с записью пускового тока.

Также по этому графику также узнали величину номинального тока $I_{\text{НОМ}} = 7 \text{ А}$.

3.5.2 *Измерение пускового тока с участием стартового устройства.* Для проведения экспериментов по определению влияния крутящего момента стартового устройства на пусковые токи электродвигателя на удлинитель моторного вала редуктора (продолжение вала ротора электродвигателя) с шестигранной головкой установили стартовое устройство, прикрепив кронштейн на котором собрано стартовое устройство к нижней опоре амортизатора (Рисунок 40).

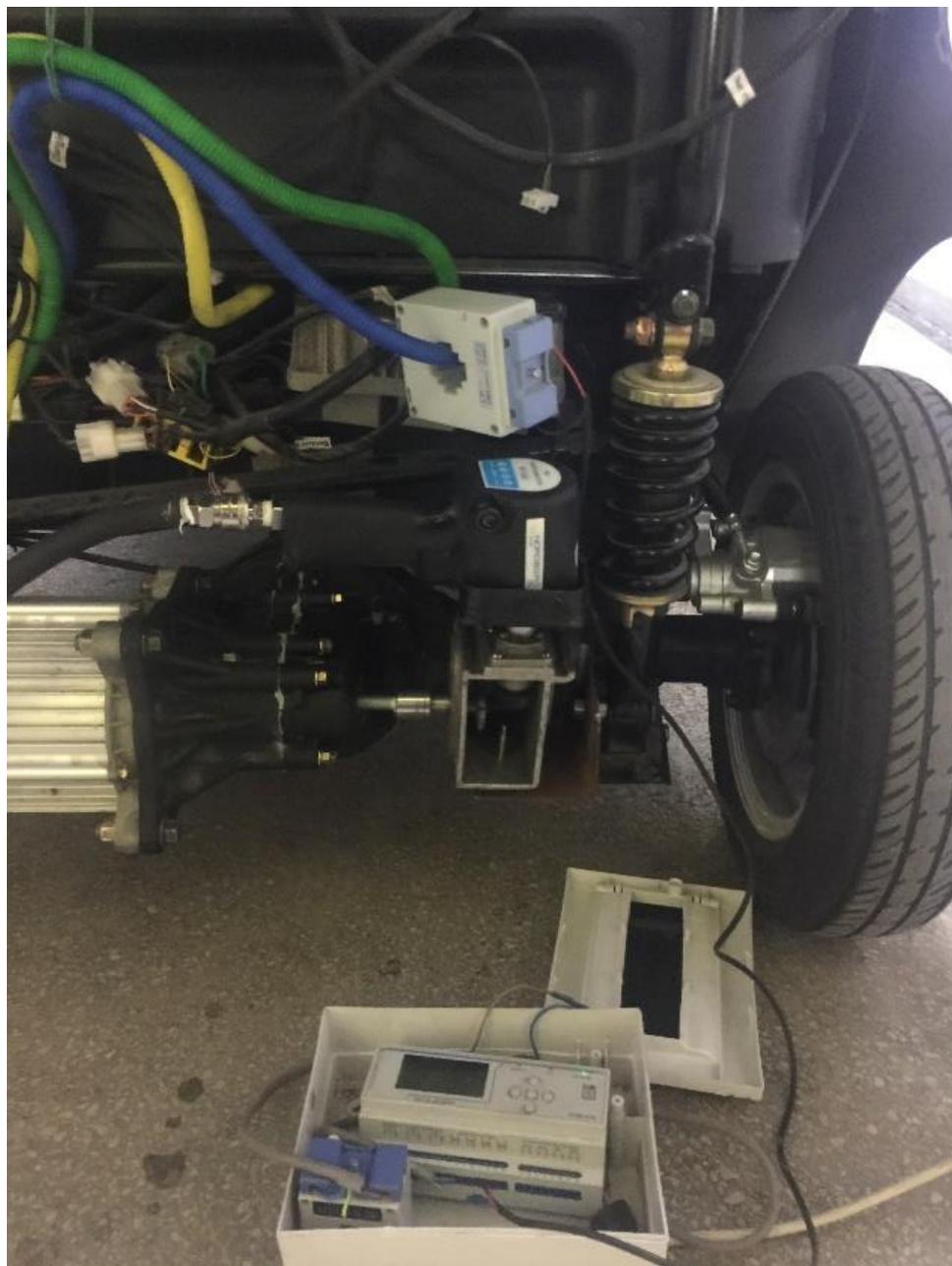


Рисунок 40 – Схема установки стартового устройства

Перед началом испытаний закачали в ресивер компрессора воздух под давлением 0,6 МПа. Установили флешку в РПМ-416 и подготовились к записи. Регулятор мощности пневмотора установили в 3-е положение.

На первом этапе запуск стартового устройства (нажатием на курок запуска пневмотора) производили вручную по команде «старт» после чего водитель должен был нажать на педаль газа и начать движение.

Записав момент пуска на карту памяти (SD / MMC) установленную в РПМ-416 перенесли данные в ноутбук в котором программой Data Analysis обработали записи. Осциллограмма записи представлена рисунке 41.

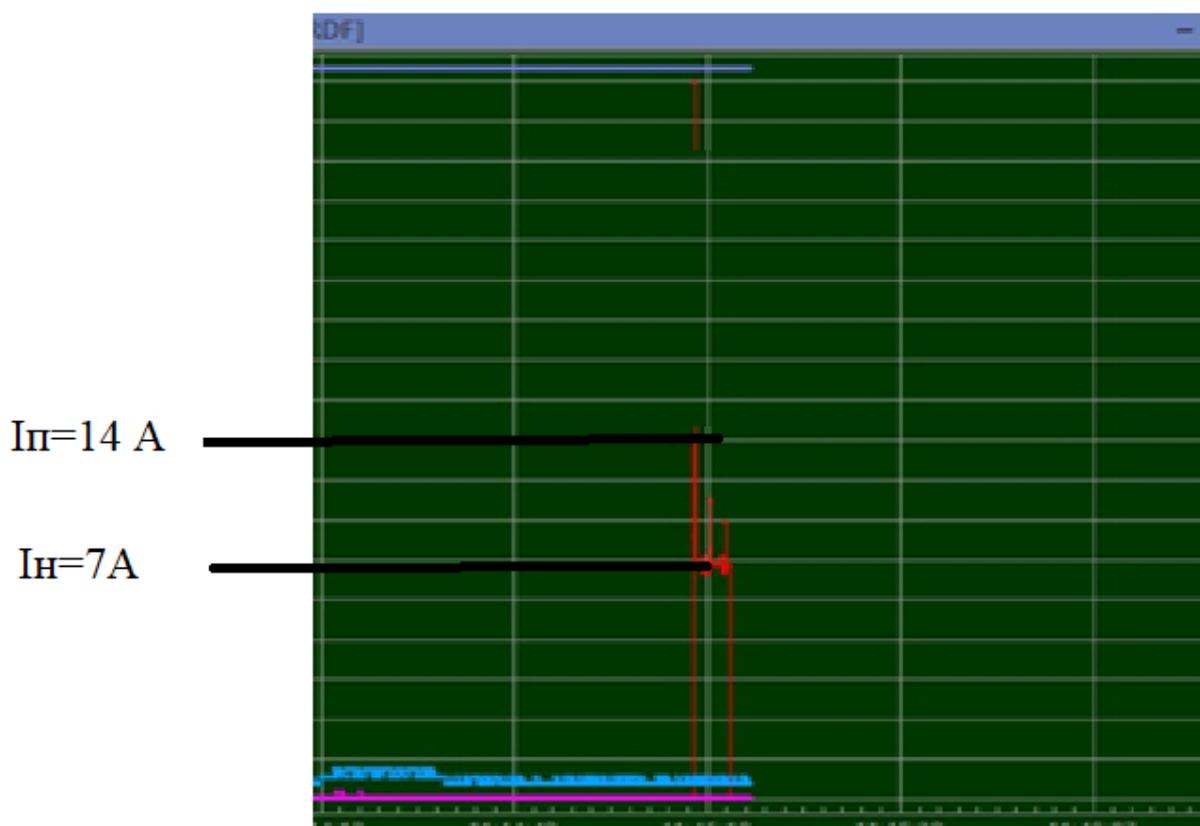


Рисунок 41 – Осциллограмма записи пускового тока.

Анализ осциллограммы показал, что пусковой ток снизился почти на 30% и составил порядка 14 А.

К сожалению следующие эксперименты пришлось прервать по причине выхода из строя конически-цилиндрического редуктора.

Эксперименты будут продолжены после установки более надежного редуктора.

3.6 К вопросу о влиянии пускового тока на емкость АБ

Сила разрядного тока оказывает значительное влияние на емкость аккумуляторной батареи. При увеличении силы разрядного тока, особенно при старте, внутри пор активной массы положительных пластин быстро образуется большое количество воды, поэтому плотность электролита в порах значительно снижается. Следовательно, поверхностные слои активной массы пластин будут омываться более плотным электролитом и вследствие более интенсивного участия их в химических процессах разряжаются быстрее, а образующийся при этом сернокислый свинец закупоривает поры активной массы, уменьшая поступление свежего электролита внутрь пластин. Кроме того, кристаллы $PbSO_4$ покрывают стенки пор активной массы. Вследствие этого затрудняется использование химической энергии, запасенной во внутренних слоях активной массы пластин, и ее преобразование в электрическую энергию, что приводит к уменьшению разрядной емкости батареи.

Этот фактор нужно учитывать при решении возникновения вопроса – нужно ли стартовое устройство, позволяющее снизить пусковой ток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Эксперименты с установкой на электромобиль пускового стартового устройства с использованием энергии сжатого воздуха доказали актуальность использования его в составе привода.

2) Показано, что предложенный вариант стартового устройства вполне может обеспечить существенное снижение пусковых токов, а это приведет к экономии заряда АБ.

Оценка полноты решения поставленных задач. Все поставленные в данной работе задачи выполнены в полном объеме.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию полученных результатов. Результаты данной магистерской работы были использованы для разработки ТЗ (технического задания) на разработку и модернизацию привода электромобилей.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Предварительная оценка себестоимости модернизации существующих приводов показала, что она будет незначительной. На базе представленного варианта стартового устройства можно будет модернизировать существующие приводы электромобилей малого класса и проектировать новые, а также наладить контрактное производство на машиностроительных предприятиях РК и малым бизнесом. Решение проблемы не будет дорогим и трудозатратным. Наш устройство будет стоить не более 100 тыс.тенге..

Оценка научно-технического уровня выполненной работы. Научно-технический уровень выполненной научно-исследовательской работы соответствует современным требованиям

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Джутон, Бету, Сабер: Электромобиль. Устройство, принцип работы, инфраструктура ; Издательство · ДМК-Пресс, 2022.
- 2 Кошкарлов А.П. Современные электромобили. Устройство, отличия, выбор для российских дорог. ДМК-Пресс, 2018.
- 3 Б. П. Бусыгин «Электромобили. Учебное пособие.» МАДИ, 1979.
- 4 Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей и электромобилей. Учебник для вузов. 2022.
- 5 Либерман Б.Д. Расчет параметров беспоршневых объемных пневмодвигателей на стадии проектирования //Надежность и оптимизация параметров горных машин. Сб. научн.тр./ ИГД им.А.А. Скочинского. М.: 1987. - с. 83-92,
- 6 Ярмоленко Г.З. Пневматический привод горных машин. Изд-во «Недра», 1967. 162с.
- 7 Сидорова, С.Н. Обоснование выбора способа передвижения населения в условиях города / С.Н. Сидорова // Вестник КузГТУ. Серия «Социология». – 2015. – №6. – С. 243–247.
- 8 Ляпкало, А.А. Динамика интенсивности движения городского автомобильного транспорта и загрязнения атмосферного воздуха его выбросами / А.А. Ляпкало, А.А. Дементьев, А.М. Цурган // Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова, Серия «Оригинальные исследования». – 2012. – №4. – С. 58–62.
- 9 Азаров, В.К. О выбросе твердых частиц автомобильным транспортом / В.К. Азаров, В.Ф. Кутенев, В.В. Степанов // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – №6 (77). – С. 55–58.
- 10 Loek marquenie, Design of an energy efficient high performance drive train // Eindhoven university of technology. – 2010. – 115 p.
- 11 Слепцов М.А. Основы электрического транспорта / М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В.Прокопович, Т.И. Савинова, В.Д. Тулупов. – М: Издательский центр “Академия”, 2006. – 464 с.
- 12 Чернышев, А.Д. Сравнительный анализ различных типов электрических двигателей в составе тягового привода электрической трансмиссии / А.Д. Чернышев // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2016. – Том. 3. – №3. С. 47–54.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ахметов Адиль Бауржанович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Разработка и исследование параметров трансмиссии электромобиля с пневматическим стартовым устройством

Научный руководитель: Бауржан Бейсенов

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 152

Интервалы: 0

Белые знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

14.05.23

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ахметов Адиль Бауржанович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Разработка и исследование параметров трансмиссии электромобиля с пневматическим стартовым устройством

Научный руководитель: Бауржан Бейсенов

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 152

Интервалы: 0

Белые знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата


14.06.23

проверяющий эксперт