

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электротрибова и автоматизации промышленности и транспорта

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой Д.Т.Н.  
профессор Сагитов П.Ч.  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Разработка энергосберегающего частотно-регулируемого электродвигателя.

Специальность 5В071800

Выполнил (а) Тен Б.А.  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Шагжин Ю.И.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Макунов А.А., к.т.н., профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 18 » мая 2016 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Дюсидиев С.К., д.т.н., профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 18 » мая 2016 г.  
(подпись)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Алматы 2016г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический  
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика  
Кафедра Электропривод и автоматизация пром. установок

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Тем Борис Антонович  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Разработка энергосберегающего гибридно-регулируемого электромобиля.

утверждена приказом ректора № 148 от «19» октября 2015 г.

Срок сдачи законченной работы «   »     20    г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

1. Полная масса автомобиля  $m = 1250 \text{ кг}$
2. коэффициент трения качения  $k_g = 0,08$
3. коэффициент полезности кузова  $k_0 = 0,32$
4. максимальная скорость  $v = 90 \text{ км/ч}$

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

1. Технические особенности электромобиля
2. Обоснование и выбор электродвигателя.
3. Математическое моделирование системы управления ПЧ-АЧ
4. Связь параметров системы управления
5. Безопасность функционирования
6. Технико-экономическое обоснование.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Функциональная схема электрооборудования;
2. Конструктивные особенности установки электропривода автомобиля;
3. Основание и вал двигателя;
4. Схема установки электропривода;
5. Выбор преобразователя частоты;
6. Математическая - структурная схема;
7. Сигнал паразитов;
8. Виртуальная схема силовой установки;
9. Устойчивость движения;
10. Экономическое обоснование электрооборудования;

Рекомендуемая основная литература

1. Бессекретский В.А., Галытов И.П., Рабрикант Е.А., Федоров С.М., Чинаев П.И., Сборник задач по теории автоматического регулирования - Питман-1983г.
2. Цобя Ю.А., Шахин Ю.И., Тойгосинов Р.С., Определение передаточной функции замкнутой системы ПЧ-АЧ в программном комплексе Matlab
3. Саитов П.И., Цобя Ю.А., Шахин Ю.И. Сигнал паразитов управляющего устройства двухдвигательного электропривода переменного тока. Вестник АУИС-2012г.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЭСД	Джедаев М.К.	18.04 - 18.05	
Экономическая часть	Касуров А.А.	18.04 - 18.05	
Служба	Шахин Ю.И.	09.03 - 22.05	



## Аннотация

Дипломный проект основан на разработке системы управления асинхронного двигателя с частотным регулированием для электромобиля. В проекте были рассмотрены все технологические, конструктивные и эксплуатационные вопросы. Сделан расчет мощности силовой установки и выбран соответствующий электродвигатель марки Siemens 1PV5135-4WS14 и преобразователь частоты серии MICROMASTER 440. Разработана математическая модель системы электропривода в программной среде Matlab.

Пункт безопасности жизнедеятельности описывает разработку тормозной системы электромобиля и дальность пути торможения.

В технико-экономической части сравниваются две разные системы управления «Преобразователь Частоты – Асинхронный Двигатель», и «тиристорный преобразователь – Двигатель Постоянного Тока» методом минимума предельных затрат. Этим же методом сравнили Двигатель внутреннего сгорания и электрическую силовую установку в данном проекте. Был произведен анализ и дано обоснование экономической эффективности электропривода.

## Аңдатпа

Дипломдық жоба электравтомобильдің жиіліктік реттеумен асинхронды қозғалтқышының басқару жүйесін әзірлеуге арналған. Жобада барлық технологиялық, конструктивтік және пайдалану мәселері қарастырылған. Күш қондырғысының қуаты есептелген, тиісті Siemens 1PV5135-4WS14 маркалы электрқозғалтқыш және MICROMASTER 440 сериялы жиілік түрлендіргіш таңдалған. Электр жетегі жүйесінің математикалық моделі Matlab бағдарламасында әзірленген.

«Өміртіршілік қауіпсіздігі» бөлімінде электравтомобильдің тежегіш жүйесі мен тежеу жолының қашықтығы әзірленген.

Техникалық-экономикалық бөлімінде төмен шекті шығындар әдісімен "Жиілік Түрлендіргіш – Асинхронды Қозғалтқыш" және "Тиристорлы түрлендіргіш – Тұрақты Ток Қозғалтқышы" екі түрлі басқару жүйесі салыстырылады. Дәл осы әдіспен іштен жанатын қозғалтқыш және электр күш қондырғысы салыстырылады. Электр жетегінің экономикалық тиімділігіне негіздеме және талдау беріледі.

## **Annotation**

The degree project is based on the development of an induction motor control system with frequency control for an electric vehicle. In the project all the technological, structural and operational issues were discussed. It is payment capacity of the power plant, and selected the appropriate motor brand Siemens 1PV5135-4WS14 and converter MICROMASTER 440. Frequency Series A mathematical model of the electric system in Matlab software environment.

Life safety item describes the development of an electric brake and the braking distance of the path.

The technical-economic section compares the two different systems of control "frequency converters – the asynchronous motor" and "thyristor Preobrazovatel - DC motors" by low marginal costs. The same method compared the internal combustion engine and an electric power plant in this project. analysis and the substantiation of the economic efficiency of the drive was performed.

## Содержание

Введение.....	16
1 Техническое описание функциональной схемы электромобиля. ....	18
1.2 Устройство электромобиля. ....	18
1.2 Электроснабжение электромобиля. Схема электромобиля .....	22
1.3 Выбор и подбор электродвигателя электромобиля. ....	26
1.4 Подбор и расчет тяговой аккумуляторной батареи. ....	29
1.5 Питание бортового и вспомогательного оборудования. ....	36
1.7 Способы отопления салона электромобиля. ....	37
2 Разработка системы управления частотно-регулируемого электропривода автомобиля. ....	40
2.1 Структурная схема системы управления частотно-регулируемого электропривода. ....	40
2.2 Математическое описание динамики движения асинхронного электропривода автомобиля. ....	42
2.3 Устойчивость движения асинхронного электропривода автомобиля. ....	45
2.4 Параметрический синтез системы ПЧ-АД автомобиля. ....	49
2.5 Исследование виртуальной модели системы ПЧ-АД в программе Matlab .	52
4 Безопасность жизнедеятельности.....	61
4.1 Анализ условий .....	61
4.2 Расчет нагрузок в элементах тормозной системы и параметров тормозной системы.....	63
4.3 Расчет остановочного пути .....	70
5 Экономическая часть. ....	71
5.1 Технико-экономическое обоснование использования электродвигателя с системой управления «Преобразователь частоты» на легковом автомобиле. .	71
Заключение .....	79

## Введение

В начале 19 века и в конце 20 интерес к электромобилям был настолько велик, что по производству и спросу электромобили выигрывали автомобили с обычным двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Электромобили были бесшумны, аккуратны, просты в использовании, отличались отсутствием выхлопных газов. Проблема величины хода на одной подзарядке не смущало покупателей. В основном это были представители аристократии, и электромобиль был для них всего лишь игрушкой. К концу 19 века количество электромобилей было в несколько раз больше, чем автомобилей с ДВС.

Первые электромобили были изобретены в период 1830-40-х годов. Как известно первый автомобиль на электрической тяге изобрели англичан Роберта Андерсона, Роберта Дэвидсона и американца Томаса Девенпорта. Но первопроходцем был Роберт Дэвидсон, он изобрел машину с электроприводом в 1838 году, после открытия Фарадеем явления электромагнитной индукции всего через шесть лет. Первые прототипы были медленные, громоздкие, и обладали совсем небольшой дальностью хода. Но скорость и дальность хода росли быстрыми темпами. В 1895 году был установлен рекорд скорости 63,15 км/час. В 1899 году электромобиль преодолел скоростной барьер 100 км/час. Рекорд установил бельгиец Камилем Женатци во французском городе Ашер на электромобиле "La Jamais Contente". У электромобиля был легкий, обтекаемый корпус из сплава алюминия и вольфрама. Корпус был похож на ракету. Вес был 1000 килограмм и автомобиль смог разогнаться до 105,88 км/час.

Изобретатель Уолтер Бейкер (1868-1955) считается основатель электромобильного бизнеса в Америке. Первый прототип Уолтера Бейкера по внешнему виду ничем не отличался от обычных автомобилей тех времен. Этот автомобиль напоминал тележку, с 4-мя велосипедными колесами. Так как на электромобиль приходилось ставить тяжелые свинцовые аккумуляторы, Бейкер оснастил подвеску мощными, но мягкими рессорами, для устойчивости и плавности хода. Так же на нем стояли фары, и электрический гудок, что было новинкой для тех времен.

В 1901 году этот электромобиль усовершенствовали. Он получил тентовую крышу, сиденья, руль. Аккумуляторы находились под сиденьями, и электродвигатель в 0,75 лошадиных сил крутил цепь, которая передавала крутящий момент на заднюю ось автомобиля. Машина разгонялась до 30 км/час и могла проехать 80 км.

В конце 20-ого века автомобили с двигателем внутреннего сгорания вытеснили электромобили. Основной причиной являлся малый запас хода, т.к. емкость аккумуляторов была мала и электромобиль, не мог проехать то расстояние, которое мог проехать автомобиль с ДВС.

В настоящее время электромобили используются только внутри города, и электромобиль позиционирует себя как внутригородской транспорт. По городу передвигаются электровелосипеды, платформы на электротяге,

электромобили, электроскутеры.

Преимущества электромобиля:

- электродвигатель экологически чистый;
- бесшумность;
- простота конструкции;
- нет отработанных выхлопных газов;
- высокий уровень надежности;
- проблема «энергетического пика» мегаполисов;
- возможность использования возобновляемых источников энергии;
- КПД электродвигателей (90-95%);
- намного меньше затрат на эксплуатацию.

Недостатки:

- относительно ограниченный пробег;
- большой вес аккумуляторов и их низкая энергоемкость;
- необходимость развития энергетики на альтернативных источниках энергии;
- утилизация аккумуляторов;
- стоимость ;
- при агрессивной езде повышенный расход энергии;
- отопление электромобиля;
- не развита инфраструктура зарядных станций.

Несмотря на недостатки, перспективы развития электромобилей очень большие.

## 1 Техническое описание функциональной схемы электромобиля.

### 1.1 Устройство электромобиля.

На сегодняшний день нет конечного определения понятия электромобиля. Иногда электромобили отличаются по роду силового агрегата, понимая при этом «безрельсовые транспортные средства с автономным электроприводом». К этому типу можно отнести промышленные и карьерные грузовики, у которых электропривод используется в качестве силового агрегата, но в них установлен и ДВС который работает в режиме генератора. В остальных случаях электромобили подразделяются по типу потребляемого топливного элемента. Тогда сюда могут быть отнесены и транспортные средства с двигателем внутреннего сгорания на борту или топливные элементы работающие на нефтепродуктах. Более доступных и внятных можно считать определение данное О.А.Ставровым, «Под термином электромобиль имеется ввиду автомобиль, у которого для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока» [1]. Более подробно рассматривая современное суждение определения электромобиль, необходимо выделить следующие пункты:

- независимость электрооборудования и самого автомобиля;
- использование в качестве энергии химического элемента источника тока.

Таким образом можем дать исчерпывающее определение электромобилю: Электромобиль – это безрельсовое транспортное движимое средство с независимым химическим элементом источника тока (напряжения) который используется в качестве источника энергии для передвижения электроустановки. Специфические свойства конструктивной особенности автомобиля на электрической тяге объясняется следующими вопросами:

- реализация баланса курсовой устойчивости относительной массы автомобиля при относительно большой массе источников энергии в виде тяговой аккумуляторной батареи;
- отопление салона;
- как разместить тяговую аккумуляторную батарею при относительно большом ее объеме, обеспечивающим приемлемые показатели конструкции электромобиля, при достаточном удобстве в эксплуатации.

Вопрос по поводу отопления салона электромобиля, в данный момент не привлекает особого внимание большого круга разработчиков. Однако для зимних экстремальных условий в нашей стране при общем дефиците энергии на электромобиле эта проблема оказывается весьма важной. Для реализации комфортных условий в салоне автомобиля и для необходимого размораживания лобового стекла нужна мощность порядка 3-6 кВт, которая соизмерима с мощностью, потребной для движения электромобиля, что уменьшает дальность пробега автомобиля на одной зарядке. Сейчас разрабатываются системы накопления энергии с высокими удельными

показателями накапливаемой энергии, что устранил вопрос отопления салона автомобиля как энергетическую проблему.

Другие конструктивные особенности электромобиля обуславливают специфическими возможностями с электрической силовой установкой, которые состоят в следующем:

—электродвигатели можно регулировать в большом диапазоне оборотов, так же в данном диапазоне оборотов крутящий момент почти максимален при любых скоростях, что позволяет в принципе получить требуемые пределы изменения скорости движения без коробки переключения передач;

—электродвигатель в значительной мере легок и компактен, следует что открывается возможность для компоновки привода ведущих колес;

—возможность использования электромагнитного тормозного момента, как помощник механическим тормозам.

Так же современный электромобиль позиционируется как внутригородской транспорт где ограничивается развиваемая скорость и относительно хорошее качество дорог, следует что можно снизить требования технико-конструктивных параметров узлов и агрегатов, что намного проще требований к двигателю внутреннего сгорания.

Основные технико-экономические показатели по которым электромобиль выгоднее перед простым автомобилем с двигателем внутреннего сгорания:

—эксплуатационные и текущие расходы электромобиля намного ниже, чем у автомобиля с ДВС. Например, небольшой автомобиль с ДВС объемом 1,2 литра и ручной коробкой переключения передач на легком топливе стоимостью 1 доллар проезжает около 50 км. Электромобиль при тарифе на электроэнергию 12 центов за 1 кВт • час (для США) проезжает за 1 доллар 120 км. Этот оптимистический расчет приведен в Американских СМИ. Так как в электродвигателе меньше подвижных частей, то и учитываются расходы на смазочный материал, сервисный ремонт;

Двигатель внутреннего сгорания работает при большом давлении и температурах, в нем большие вибрации, больше подвижных частей. Следует что электродвигатель служит намного дольше при должном обслуживании, практически его ресурс неограничен, против ДВС.

Аккумуляторная батарея — единственная проблемная часть электромобиля, так как нуждается в подзарядке, и интенсивном обслуживании и замене каждые 4—5 лет. При резких стартах и перегрузках, большой ток пагубно влияет на батарею.

Большинство современных электромобилей кузов, трансмиссия, подвеска, и другие технические агрегаты взяты с серийных автомобилей выпускаемых в наши дни. С самого начала не все электромобили проектировались как электромобили, в основном была модернизация серийных машин для города, но есть проекты которые с самого начала планировались как электрокар, например, GM EV1, Honda EV-plus. Но у тех и

других примерно аналогичный состав функциональных систем управления:

Зарядное устройство – представляет собой преобразователь переменного тока или напряжения внешней сети в постоянное для зарядки тяговых аккумуляторных батарей. В состав зарядного устройства входит цепь подключения к сети переменного тока, тиристорную схему выпрямителя, регулятор напряжения, для контроля уровня заряда используют систему управления, аварийная защита от замыканий.

Зарядное устройство может быть размещен на электрической плате. В этом случае, бортовой компьютер контролирует процесс зарядки и адаптер переменного тока подключен к электрической машине.

Устройство защиты (предохранителей и реле). Он состоит из переключателей, реле, предохранители, которые соединены между батареей и остальной схемы - потребителей. При возникновении неисправности, цепь переменного тока и батареи отключены. В электрической части тела металла используются в качестве проводника (масса), вся проводка изолирована от корпуса, колесные шины (шины) изолированы от корпуса дороги. Нарушение изоляции между электрической цепью и корпусом в одной точке не вызывает значительные токи могут привести к истощению батареи. Пробой во второй точке может привести к цепи батареи и опасно для пользователя.

Аккумуляторная батарея – которая обеспечивает энергией силовую установку электромобиля. На данный момент существует множество типов аккумуляторных батарей. Все они имеют свои плюсы и минусы, и отличаются между собой по основным параметрам: срок хранения, количество циклов подзарядки, емкость, размер, рабочая температура и т.д. Аккумуляторные батареи могут исполняться в виде одного элемента, или нескольких последовательно включенных. К сожалению на сегодняшний день ни одна из батарей не соответствует всем требованиям, нет совершенной аккумуляторной батареи.

Сейчас на современных электромобилях используется:

- свинцово - кислотные (СК);
- никель - кадмиевые (Ni-Cd);
- железно-никелевые (Ni-Fe);
- никель-металлгидридные (Ni-MH);
- натриево-серные (Na-S);
- никель-хлоридные (Ni-Cl).

Перспективные источники энергии для электромобилей:

- литий ионные сульфидные;
- литий-полимерные;
- жидкостные топливные элементы;
- инерционные маховики;
- конденсаторы сверхбольшой емкости.

Дополнительная аккумуляторная батарея, как вспомогательный источник питания (как правило используется обычная аккумуляторная батарея на 12 вольт). Которая служит для обеспечения энергоснабжения



## 1.2 Электроснабжение электромобиля. Схема электромобиля

На рисунке 1.2 мы можем увидеть функциональную схему электроснабжения электромобиля.

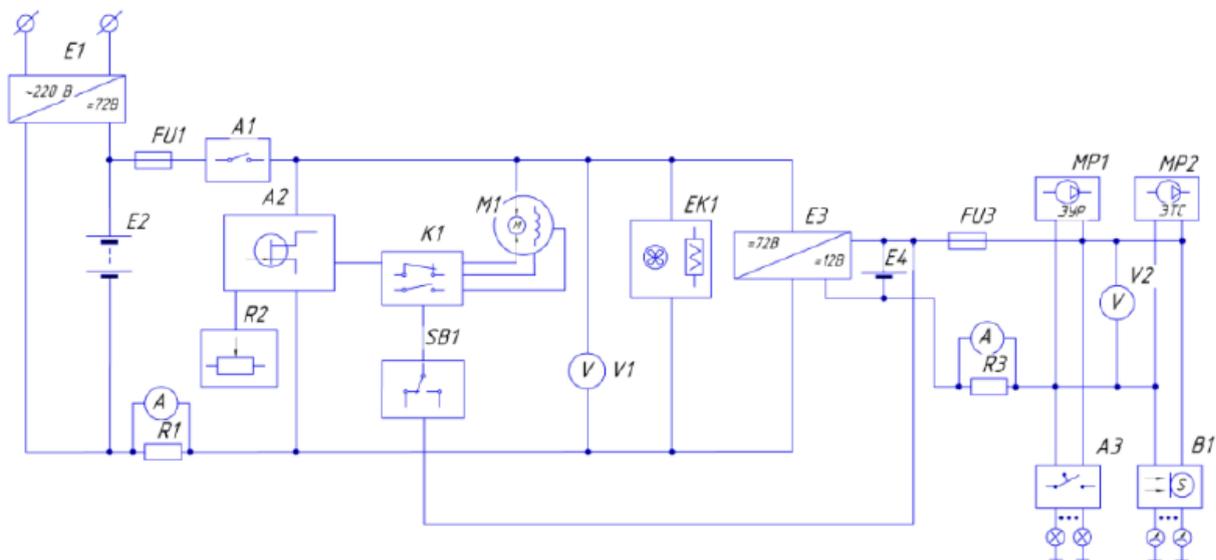


Рисунок 1.2 - Схема электрическая-функциональная электромобиля

Источником питания всех функциональных узлов электромобиля является аккумуляторная батарея (условное обозначение на схеме - E2), которая состоит из двух аккумуляторов подключенных последовательно, удельной емкостью 770 А/час. Возможно подключить в цепь дополнительные аккумуляторные батареи, для увеличения дальности хода, однако при этом увеличится и масса автомобиля. Две батареи емкостью 770 А/час обеспечивают выдачу энергии примерно 36.5 кВт/час. Данный тип батареи обеспечивает более оптимальные условия для передвижения электромобиля по городу, относительно сочетание мощности двигателя и веса энергоустановки. При таком сочетании езда будет комфортной. Конечно можно поставить аккумуляторные батареи и большей емкости, но тогда и увеличится вес автомобиля.

E1 – зарядное устройство, которое располагается или в конструкции автомобиля, или за его пределами. Основная функция зарядного устройства давать допустимый ток А за устраивающее время зарядки данной батареи. Однако для каждой аккумуляторных батарей разные методы зарядки, обычно их указывает завод изготовитель. Так как в электромобиле действует циклический режим работы АКБ, это самый суровый из всех режимов работы.

Так же в электромобиле предусмотрена системы защиты электрооборудования, FU1 – предохранитель (плавкая вставка) или автоматический выключатель.

Так же в схеме реализованы измерительные приборы для контроля

работоспособности электроустановки, R1 промышленный шунт 75ШСМ-200, который реализован в качестве амперметра. Милливольтметр реализован с помощью цифрового вольтметра высокой чувствительности, компании EKITS.

Так же в схеме присутствует система силовых контакторов А1, которые исполняют коммутацию цепей. Например педаль управления двигателем электромобиля, для увеличения оборотов. Когда водитель отпускает педаль акселератора с тягового электродвигателя снимается питание для предотвращения самопроизвольного ускорения автомобиля. Так же система силовых контакторов имитирует ключ зажигания на ДВС.

На схеме А2 регулятор оборотов, который управляет оборотами двигателя и крутящего момента электромобиля. Роль регулятора исполняет контроллер электродвигателя CURTIS. Контроллер имеет линейку модификаций для различных электродвигателей. Российская компания MoviCom разработала контроллер типа MoviCar – 1625 имеющий несколько модификаций для электродвигателей вплоть до 12 киловатт с напряжением питания до 120 вольт.

Резистор R2 представляет собой стандартный датчик положения дроссельной заслонки десятого семейства ВАЗ (TPS). Датчик резистор имеет сопротивление 7,5 кОм с встроенной цепи подвижный контакт потенциометра значение резистора 1,5 кОм. Кроме того, вы можете использовать специальный ускоритель резистивный MoviCar. На подвижный контакт при нажатии педали появляется напряжение, пропорциональное величине нажатия на педаль, которая определяет величину крутящего момента двигателя и, следовательно, скорость движения.

Блок контакторов К1 предназначен для установки направления вращения ротора электродвигателя М1 и, следовательно, направление электрического движения "вперед" или "назад". Чтобы изменить направление вращения двигателя ротора используется переключение одной из обмоток статора двигателя. Для получения дополнительной информации метод переключения рассматривается в описании схемы энергетического оборудования. В качестве блока контакторов применяются либо два контактора, либо один реверсивный.

Переключение контакторов блока контакторов К1 осуществляется переключателем SB1. С его помощью подается питание на одну из обмоток блока контакторов. А они в свою очередь меняют полярность управляющего тока в обмотках электродвигателя.

Предохранитель FU2 защищает цепь питания блока контакторов К1. В качестве предохранителя могут быть применены или плавкая вставка величиной 10 ампер, или автоматический выключатель на тот же ток срабатывания.

Электродвигатель М1 - это движитель электромобиля. Его крутящий момент определяется, как уже ранее упоминалось, регулируется контроллером А2, а направление вращения его ротора и направление хода электромобиля задает блок контакторов К1.

В качестве силовой установки для электромобиля применяются несколько типов электродвигателей. Это коллекторные двигатели постоянного тока (ДПТ), асинхронные двигатели переменного тока, синхронные двигатели переменного тока или современные типы двигателей переменного тока с вентильным управлением.

Наиболее широко используются двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением. Наряду с ними используются ДПТ с параллельным возбуждением, которые позволяют не трудно реализовать рекуперацию энергии при торможении, то есть возвращение энергии торможения к тяговой батарее. Восстановление с помощью последовательного возбуждения ДПТ, реализованный с использованием дополнительных генераторов, подключенных к коробке передач. Но чаще жертвуют режимом восстановления. Это оправдано в некоторых проектах, когда электрический коэффициент полезного действия (КПД), его использование не является существенным. Например, такие машины включают в себя электрические автомобили, спортивные автомобили, автомобили, которые используются для развлекательных аттракционов, гольф-кары, Исполнительный транспорт на официальных мероприятиях, дешевых городских электрических транспортных средств для ежедневных поездок на работу и обратно и др.

Но для таких двигателей контроллер управления несколько дороже, чем для ДПТ. Поэтому в единичных экземплярах электромобилей он применяется редко.

Синхронные электродвигатели возможно применить на электротранспорте, но реально применяется редко из за жесткости его пусковых (стартовых) электромеханических характеристик.

В последнее время много разрабатывается электродвигателей с вентильным управлением.

Они характеризуются мощным электронным устройством управления на основе микропроцессорных систем. Такие электродвигатели перспективны для применения в электродвигателях, но их применение сдерживает высокая стоимость. Эти двигатели характеризуются компактностью, высокой удельной мощностью на единицу веса.

Вольтметр V1 индицирует напряжение в силовой цепи. При достижении нижнего значения допустимого понижения напряжения тяговой батареи E2 необходимо принять меры к заряду батареи или прекращению его использованию. В связи с тем что целью дипломного проекта является разработка недорогого электромобиля, автоматика контроля напряжения тяговой батареи не предусмотрена.

Устройство климат-контроля EK1 состоит из обогревателя в зимний период и (или) кондиционера в летнее время. При создании нашего экономичного электромобиля функцией кондиционирования салона можно пренебречь. А вот обогреватель важен в холодное время года, когда просто необходим обогрев окон. В качестве обогревателя возможно применить

различные устройства: термообогреватель питающийся от тяговой батареи электромобиля, газовый обогреватель, жидкостный обогреватель с горючим в виде солянки или бензина. Из этих трёх устройств наиболее опасным является газовый обогреватель и применяется весьма редко. Другие легко приобрести как серийно выпускаемые промышленностью и не требуют изменения конструкции электромобиля при его применении.

Преобразователь напряжения E2 служит для подзаряда аккумуляторной батареи E3 напряжением 12 вольт. Батарея E3 служит для питания бортовых потребителей электрической энергии. Назначение преобразователя E2 заключается в преобразовании входного напряжения 72 вольта в выходное 12 вольт. В него не закладывается специфических функций зарядного устройства, т.к. в данном случае аккумуляторная батарея E3 выполняет функции буферного устройства. Этот режим батареи и определяет упрощённое устройство преобразователя E2.

Предохранитель FU3 защищает источники электроэнергии от перегрузок и коротких замыканий в электропроводке и приборах. В качестве предохранителя можно применить плавкую вставку или автоматический выключатель.

Амперметр R2 аналогичен амперметру R1 с меньшим диапазоном измерения. Перестройка диапазона измерений предусмотрена в большинстве электронных амперметров. В электротехнических амперметрах изменение диапазона решается путем замены шунта на соответствующий с необходимым током измерения.

Вольтметр V2 аналогичен вольтметру V1.

Электрический усилитель руля MP1 аналогичен по назначению гидроусилителю руля с той лишь разницей, что для вращения гидронасоса используется электродвигатель не большой мощности. Он включается в работу при повороте ключа зажигания и работает до отключения.

Электроусилитель тормозной системы MP2 также аналогичен вакуумному усилителю. Но здесь используется вакуумный насос, который поддерживает определенное значение разрежения в ресивере. Ресивер может быть внешний или встроенный в вакуумный насос.

Комплект коммутирующей аппаратуры управления световыми приборами A3 и световые приборы. В качестве коммутационной аппаратуры используются тумблеры, подрулевые переключатели, кнопки, промежуточные автомобильные реле. Под световыми приборами подразумеваются все световые устройства, предусмотренные техническими регламентами на изготавливаемый тип автомобиля (электромобиля).

Комплект приборов В1 предназначен для контроля основных параметров электромобиля. Это скорость движения, температура тяговой аккумуляторной батареи, температура тягового электродвигателя, величина давления в электроусилителе руля, разрежение в усилителе тормозной системе, индикация стояночного тормоза, не пристегнутого ремня безопасности, уровня жидкости в бачке тормозной системы, и др.

### 1.3 Выбор и подбор электродвигателя электромобиля.

Ранее на электромобилях использовались обычные электродвигатели постоянного или переменного тока. Т.е. электродвигатели которые использовались в промышленности. В наше время все чаще используют электродвигатели специально разработанные для электротранспорта. К данным двигателям предъявляются требования большой экономичности, в то же время электродвигатель не должен терять свои тяговые характеристики в широком диапазоне скоростей. Так же электродвигатель должен быть надежным, выдерживать перегрузки.

Согласно данным требованиям используются трехфазные электродвигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором, управляемые микроконтроллером путем применения преобразователя частоты (ПЧ). Данные двигатели надежны и просты в обслуживании. Так же их КПД сильно зависит от оборотов двигателя и может меняться от 82 до 97%. Одно из преимуществ, можно отнести возможность переключения с «звезды» на «треугольник».

Эффективность электродвигателей постоянного тока (ДПТ) можно увеличить при замене статорной обмотки на постоянные магниты. Применение постоянных магнитов в двигателях породило появление без коллекторных двигателей.

Электронный коммутатор подключает питание к одной из обмоток, получается бегущее электрическое поле. Ротор снабжается датчиками положения для определения его положения и соответственно своевременного переключения статорных обмоток. Такой электродвигатель проще, но усложнение контроллера делает его в целом дороже обычных коллекторных. Чаще его применяют для размещения в колесе (мотор-колесо). При этом магниты располагаются на ободе, обмотки на неподвижной ступице.

В последнее время за такими двигателями закрепилось название вентильных (ВД). Это в том числе и синхронные электродвигатели переменного тока с электромагнитным возбуждением от вентильного источника тока с контролем положения ротора специальными датчиками. Применяются чаще всего для скоростного транспорта, спортивных электромобилей, вращения тягового винта летательных аппаратов и снегоходов. КПД достигает величины 90% и выше. В то время как коллекторные электродвигатели могут иметь КПД менее 80%, а серийные асинхронные электродвигатели имеют максимум 87.5%. Таким образом вентильные электродвигатели имеют две модификации: питаемые переменным током и постоянным током.

Исходя из поставленной задачи получить в результате проектирования максимально экономичный проект в плане реализации выбираем для будущего электромобиля асинхронный электродвигатель переменного тока (АД).

Для расчета мощности электродвигателя зададимся исходными

данными электромобиля (Volkswagen golf 3 поколение) : полная масса – 1250 кг., коэффициент трения качения по асфальту – 0.018, коэффициент обтекаемости кузова – 0.32 , площадь лобового сопротивления – 1.8 кв.м., максимальная скорость движения 90 км/час.

Требуемая мощность электродвигателя автомобиля:

$$N = g \cdot F_{\text{тр}} \cdot m \cdot V + C_x \cdot S \cdot V^2 + g \cdot m \cdot \sin\alpha, \quad (1.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  
 $F_{\text{тр}}$  – трение качения по асфальту;  
 $m$  – полная масса транспортного средства;  
 $V$  – скорость движения, максимальная;  
 $C_x$  – коэффициент обтекаемости, мидель;  
 $S$  – лобовая площадь кузова;  
 $\alpha$  – угол наклона дорожного полотна.

Применив указанную формулу для нашего случая, имеем:

$$\begin{aligned} N &= 9.8 \cdot 0.018 \cdot 1250 \cdot 25 + 0.32 \cdot 1.8 \cdot (25)^2 + 9.8 \cdot 1250 \cdot \sin(20^\circ) \\ &= 5512.2 + 360 + 4189.74 = 10061.94 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Для движения электромобиля по асфальту со скоростью до 90 км/час и допустимых подъемах 20% дорожного полотна необходима мощность на колесах 10.1 кВт.

Необходимо учесть КПД узлов электромобиля. КПД двигателя 0.8, КПД редуктора главной передачи 0.9, КПД контроллера с потерями на проводах и контакторах – 0.9.

Итоговый КПД кинематики электромобиля имеем:

$$\text{КПД} = 0.8 \cdot 0.9 \cdot 0.9 = 0.65;$$

реальная необходимая мощность электродвигателя:

$$N_{\text{п}} = 10061.94 / 0.65 = 15479.9 \text{ Вт.}$$

Выбираю электродвигатель с мощностью не менее 20 кВт.

Место положения электродвигателя в трансмиссии автомобиля может быть исполнена в нескольких вариантах:

-электродвигатель подключается через первичный вал к коробке переключения передач;

-электродвигатель подключается непосредственно к ведущему колесу через карданную передачу;

-электродвигатель подключается к редуктору ведущего моста;

-электродвигатель-колесо, при подключении электродвигателя

непосредственно к ведущему колесу.

У разных вариантов установки двигателя имеются свои достоинства и недостатки. Если подключить электродвигатель напрямую к колесу гораздо упрощает конструкцию трансмиссии, но требует менее мощного электродвигателя, так как крутящий момент передается напрямую к колесу, требует запаса мощности для обеспечения резкого старта. Подключение электродвигателя к осевому дифференциалу не полностью решает проблему запаса мощности для осуществления быстрого старта. Несколько увеличивает массу трансмиссии по сравнению с предыдущим вариантом, но позволяет использовать более распространенные типы двигателей. Третий вариант - использование коробки перемены передач полностью решает задачу старта электромобиля с места, что позволяет использовать менее мощные электродвигатели, позволяет применять электромобиль для движения по пресеченной местности на низких скоростях. Значительно увеличивается масса трансмиссии за счет применения коробки передач, дифференциала моста и других деталей. Расширяет диапазон выбора электродвигателей.

В данном дипломном проекте, наиболее выигрышный вариант установки электродвигателя – через редуктор ведущего моста. Так же можно модифицировать трансмиссию моего автомобиля, используя привод и независимую подвеску. Электродвигатель будет передавать крутящий момент задним колесам через редуктор, наглядно показано на рисунке 1.3., 1.4



Рисунок 1.3 – Трансмиссия электромобиля

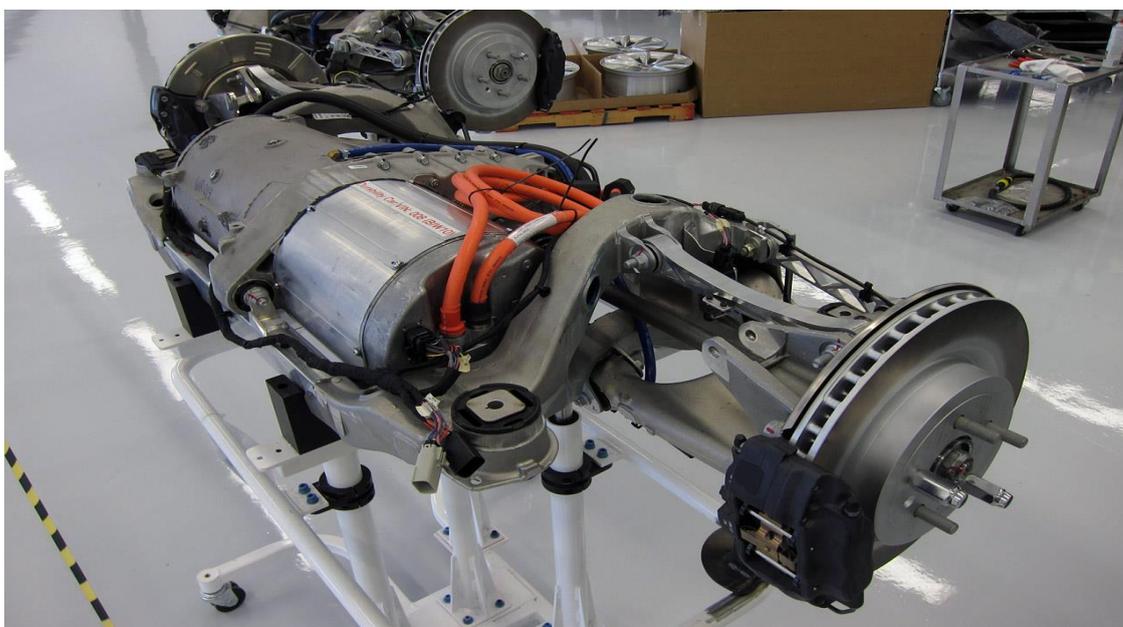


Рисунок 1.4 – Трансмиссия электромобиля.

Согласно нашим расчетам выберем асинхронный двигатель переменного тока компании Сименс - 1ПВ5135-4ВС14 , мощностью 37кВт. Характеристики которого представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Характеристики двигателя Сименс - 1ПВ5135-4ВС14 , мощностью 37кВт.

Тип	Асинхронный двигатель переменного тока
Охлаждение	Водяное
Номинальное напряжение постоянного тока	300 В
Номинальная мощность	37 кВт
Крутящий момент	160 Нм
Максимальный крутящий момент	200 Нм при 280А
Номинальный ток	248 А
Об/мин	10,000
Вес	90 кг
Размеры (д*ш*в)	425 x 245 x 245 mm
Рабочая температура	от -30 °С до 70 °С
Степень защиты	IP 65 / 9k

#### 1.4 Подбор и расчет тяговой аккумуляторной батареи.

В настоящее время для изготовления электромобилей используют следующие типы накопителей энергии:

-свинцово-кислотные батареи;

- литий ионные;
- натрий никель-хлоридные;
- никель-кадмиевые;
- щелочные;
- никель-металлогидридные;
- суперконденсаторы;
- топливные элементы.

Проблема при выборе аккумуляторной батареи для электромобиля является главным вопросом при его моделировании. Аккумулятор является чуть ли не самым главным расходным материалом в электромобиле. Нужно минимизировать расходы на АКБ.

Свинцово – кислотные аккумуляторы – первые аккумуляторы которые создавались человеком, на основе химических источников тока. Данный тип аккумуляторов до сих пор используются в разных целях и являются универсальными.

Свинцово – кислотные аккумуляторы были изобретены в 1859 году. Далее в 1890 году данные аккумуляторы стали выпускаться в промышленных масштабах. У свинцово – кислотных аккумуляторных есть один существенный минус – электроды под действием электролита окисляются и рассыпаются, чтобы компенсировать этот минус разработали гелевую основу для электролита, чтобы электроды не осыпались. Эту разработку придумали в 1957 году. Для прочности электродов в 1980 году появились разработки на основе свинца с кальцием.

В начале 1990-х появилась новая надежда на дешевые и, в то же время, более емкие аккумуляторные батареи, это технология аккумуляторных батарей с биполярными электродами. Биполярные электроды могут применяться не только для свинцово-кислотных батарей, эта технология может использоваться для объединения в батарею разных типов аккумуляторов. Что представляют собой биполярные батареи? – Идея заключается в том, что при соединении аккумуляторных элементов в стринг в качестве токопроводящих перемычек между банками используется соединение между собой разноименных электродов соседних элементов через токопроводящую стенку. Электроды уложенные таким образом образуют что то наподобие «сэндвича», первый электрод уложен в одной полярности, который вплотную примыкает к токопроводящей поверхности, и соединяет соседние банки, потом к той же поверхности примыкает электрод другой полярности из другой банки. «Сэндвич» соединяет в себе электроды разных полярностей, и общий объединенный электрод будет биполярным электродом. И данная аккумуляторная батарея – Биполярная.

В данном проекте Литий – ионные аккумуляторы самые перспективные в использовании. Их можно использовать в качестве силовых аккумуляторных батарей для электромобиля. В данное время литий – ионные аккумуляторные батареи широко применяются в разных отраслях, и они постоянно совершенствуются, уменьшается их себестоимость производства. Данный вид

аккумулятор является самым перспективным в применении в будущем. В настоящее время применение литий – ионных аккумуляторов достигло больших масштабов.

Первые эксперименты с литиевыми аккумуляторами относятся к 1912 году, но первые серийно произведенные литиевые батареи появились в 1970-х, они были непerezаряжаемые. В середине 1980-х появились серийные литиевые аккумуляторы, но их использование было ограничено из-за высокой взрывоопасности - при циклировании (процесс заряд-разряд) на литиевом аноде образовывались дендритообразные кристаллы лития, которые прорастали до катода и провоцировали внутриэлементное короткое замыкание и взрыв из-за перегрева, который запускал химическую реакцию между литием и органическим электролитом. С 1991 года началось коммерческое использование литий-ионных аккумуляторов, изготовленных фирмой Sony. В этих аккумуляторах использовался кобальтат лития ( $\text{LiCoO}_2$ ), адсорбируемый на коксовых аноде и катоде. В качестве электролита использовалась соль лития в органическом электролите. При соблюдении условий разряда/заряда данные элементы достаточно безопасны в плане взрыва. Литий-фосфатный аккумуляторы ( $\text{LiFePO}_4$ ) - одна из разновидностей перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов, которые используют  $\text{LiFePO}_4$  в качестве катода. В настоящее время не слишком широко распространены. Элементы  $\text{LiFePO}_4$  имеют более высокую разрядку и не взрываются в экстремальных условиях, но у них более низкое напряжение и плотность тока, чем у нормальных литий-ионных элементов.

Другой тип литиевых батарей - литий-полимерные батареи могут служить в качестве недорогой замены их литий-ионных аналогов. Они также обладают более высокой плотностью энергии ( $175 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$ ) и малый ток разряда, но их использование ограничено низкой токовой нагрузкой. Типичное число циклов заряда - разряда не превышает 150.

Натрий никель-хлоридные аккумуляторные батареи ( ZEBRA) были изобретены в конце 1980х годов специально для нужд электротранспорта. В настоящее время они доступны для покупки, и все больше производителей электромобилей предлагают установку аккумуляторных батарей ZEBRA в качестве более дешевой и практичной замены литий-ионным аккумуляторам. Аккумуляторы ZEBRA являются продолжателями идеи горячих натрий-серных аккумуляторов. Основной причиной отказа от натрий-серных аккумуляторов в пользу натрий никель-хлоридных явился факт высокой коррозии керамического твердого электролита в натрий серных аккумуляторах в процессе циклирования, что приводило к малому сроку жизни батарей. В натрий никель-хлоридных аккумуляторах используются дешевые составляющие – расплавленный натрий, хлорид никеля (II), керамический твердый электролит и расплавленный алюмохлорид натрия ( $\text{NaAlCl}_4$ ) в качестве жидкого электролита. Для работы этого аккумулятора необходимо поддерживать внутреннюю температуру на уровне  $270\text{-}350^\circ\text{C}$ . Поэтому аккумуляторные батареи ZEBRA имеют в своем составе нагреватель,

воздушный охладитель и упакованы в стальной двустенный термоизолирующий корпус, между стенками которого имеется вакуумная прослойка. Длительный срок жизни и хорошие показатели циклируемости с тавят натрий никель-хлоридные аккумуляторы на одно из первых мест среди существующих аккумуляторов. На данный момент единственной существенной преградой является цена данного типа батарей. Как только произойдет снижение цены одного киловатт-часа емкости батареи до уровня 300USD, что реально достижимо (себестоимость производства составляет меньше 150USD за 1кВт\*ч), то электромобили среднего радиуса действия станут широко используемой реальностью.

Исследования в области никель-металлгидридных батарей начались в 1970-х как совершенствование никель-водородных батарей, поскольку вес и объем никель-водородных батарей не удовлетворял производителей (водород в этих батареях находился под высоким давлением, что требовало прочного и тяжелого стального корпуса). Использование водорода в виде гидридов металлов позволило снизить вес и объем батарей, также снизилась и опасность взрыва батареи при перегреве. Начиная с 1980-х была существенно улучшена технология производства NiMH батарей и началось коммерческое использование в различных областях. Успеху NiMH батарей способствовала увеличенная емкость (на 40% по сравнению с NiCd), и использование материалов, годных к вторичной переработке. NiMH батареи могут выдерживать меньшие нагрузки по мощности по сравнению с NiCd батареями. Использование при высокой нагрузке и хранение при повышенной температуре ведет к уменьшению срока жизни батареи. NiMH батареи подвержены большему саморазряду, чем NiCd. Для создателей электромобилей есть ограничение: для использования в электромобилях NiMH батареи не продаются. Причина - корпорация Техасо выкупила патент на никель-металлгидридные батареи у General Motors и теперь объединенная Техасо/Chevron не дает лицензий на производство аккумуляторных элементов большого размера до конца 2014 года.

Изобретены шведом Вальдмаром Юнгнером (Waldmar Jungner) в 1899 году. В те времена материал для никель-кадмиевых аккумуляторных батарей был дорогим по сравнению с другими аккумуляторами и использование этого типа батарей ограничилось небольшим числом мест применения. Начало герметичным никель-кадмиевым батареям положило изыскание в 1932 году расположение активного материала внутри пористого никелевого электрода. С 1947 стали серийно выпускаться герметичные никель-кадмиевые батареи, не сильно отличающиеся от современных. В этих батареях образующиеся при зарядке газы рекомбинируют и не выходят за пределы батареи, что исключает необходимость слежения за уровнем и периодического долива электролита.

Для никель-кадмиевых батарей достаточно быстро, чем медленный пульс зарядки постоянным током. Эти батареи могут дать много энергии, которая определяет их выбор для погрузки мощности в качестве

электродвигателя. Никель-кадмиевые аккумуляторы являются единственным типом аккумулятора, который может выдержать полный разряд при высокой нагрузке без каких-либо последствий. Другие типы батарей требуют частичных разрядов при относительно низких нагрузках мощности.

Никель-кадмиевые аккумуляторы не любят длительной зарядки с эпизодической низкой нагрузкой. Периодический полный разряд необходима:

- при отсутствии полной разрядки на электродах образуются большие кристаллы металла (что приводит к проявлению так называемого "эффекта памяти") - аккумулятор скачкообразно теряет свою емкость. Для долгой и эффективной работы NiCd батарей необходимы циклы обслуживания батареи - полная разрядка с последующей полной зарядкой, исходя из большинства рекомендаций - раз в месяц, в крайнем случае раз в 2-3 месяца.

На данный момент есть варианты замены кадмиевого электрода на менее токсичные компоненты (например, никель-металгидридные батареи), но по сравнению с никель-кадмиевыми батареями они несут меньшую емкость и плотность мощности и более дороги.

Первая работа по исследованию химических конденсаторов были сделаны в середине 19-го века. В то же время они были теоретически было описано строение двойного электрического слоя на поверхности электрода и прогнозирования использования этого явления в энергии, сохранения энергии в устройстве.

Первые практические результаты научных работ, связанных с использованием суперконденсаторов является середины 20-го века, когда был широкий спектр материалов, чтобы реализовать идею почти суперконденсатор. С другой стороны, разработка новых типов конденсаторов стимулировало промышленности потребность в мощных, быстрых перезаряжаемых источников питания с большим ресурсом.

Работы по улучшению свойств электрохимических конденсаторов привели к появлению в конце 20 века суперконденсаторов с емкостью до  $10 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$ , что позволило использовать суперконденсаторы для нужд гибридного и электротранспорта. Лучшие характеристики из представленных промышленных образцов суперконденсаторов были заявлены российскими компаниями ЭСМА и ИНКАР-М. Также производятся суперконденсаторы для нужд автотранспорта в Германии компанией Epcos. Следует отметить продукты фирм Maxwell Technologies, NessCap, Panasonic. Интересные разработки ведутся фирмой Evans Capacitor, где создан новый тип суперконденсаторов - гибридные суперконденсаторы. Лучшие производимые суперконденсаторы имеют плотность энергии на уровне  $10-12 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$ , массовые -  $5-6 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$ . Большое падение напряжения при разряде и высокая стоимость, до USD10 за килоджоуль накопленной энергии при нынешнем мелкосерийном производства суперконденсаторов сдерживают применение суперконденсаторов При расширении производства стоимость может быть уменьшена в 7-10 раз.

Аккумуляторные батареи на основе Цинк уже давно известны и имеют

отношение к химическому топливного элемента. Преимущество позволяет занять эту нишу цинк-воздух первичных химических источников энергии была высокой емкости и длительного хранения в неактивном состоянии

Устройство механически аккумуляторные цинково-воздушные батареи проста: контейнер разделен на отсеки неотъемлемыми электроды вставлены, в котором адсорбированных воздуха, а кислород восстанавливается и съемные кассеты заполнены гранулами цинка (расходный анод). Электролит является гидроксид калия, между положительным и отрицательным электродами, сепаратор заключен. Для того, чтобы начать использовать ячейку цинк-воздух удаляется пробка, которая предотвращает доступ воздуха внутрь. В результате окисления цинка в окись цинка появляется ЭДС, равной 1,65V.

После того, выработки активного материала цинковые батарейки надо зарядить - заменить окисленных анодов цинка в анодной кассете на свежий цинк. Этот процесс похож на заправки транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания - для электрического из цинковых батарей потребуется большая структура цинкозаправок, цинкозы и предприятия по обработке цинка на котором цинк добывается электрохимическими методами извлечения оксида цинка из отработанных анодов, потому что по праву называют цинковые воздушные элементы "топливо". Причина для использования этой сложной технологии является то, что цинк-воздушные батареи имеют плотность энергии в 2-2,5 раза больше, чем самый емкий из самых распространенных в современных времени - литий-ионных батарей.

В связи с редким применением топливных элементов в промышленности, другие разработки рассматривать не будем.

В таблицу 1.2 сведены распространённые виды источников тока

Таблица 1.2 – Существующие виды источников тока

Источник тока	Энергетическая мощность Вт*час/кг	Срок службы (циклов заряда-разряда)
Свинцово-кислотные аккумуляторы	30	300
Никель-кадмиевые аккумуляторы	40 - 60	1500
Никель-металлогидридные	75	500
Ионно-литиевые аккумуляторы	100	500
Полимерно-литиевые аккумуляторы	175	150
Литий-фосфатные аккумуляторы	65	2000
Никель-марганцевые аккумуляторы	60-120	500
Никель-хлоридные аккумуляторы	85	Более 1000
Суперконденсаторы	10	неогранич
Цинк-воздушные топливные батареи	220	неогранич

В настоящее время наиболее распространенным выбором для конвертации автомобиля с ДВС в электромобиль является, проверенная

временем, герметизированная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея. На этом типе батарей остановимся для использования в проекте.

Для указания номинальной емкости производители используют расчет выдаваемого аккумулятором тока в течении стандартного времени (если не указано значение этого времени в спецификациях, то оно обычно равно 20 часам для больших аккумуляторов). То есть, если в маркировке аккумулятора указано, что его емкость равна  $100\text{А}\cdot\text{ч}$ , то это означает, что он может питать нагрузку током  $5\text{А}$  в течение 20 часов.

Все бы было хорошо, но имеется одна не очень приятная закономерность: чем больше нагрузка на аккумулятор, тем меньше процент отдаваемой емкости (аккумулятор  $100\text{А}\cdot\text{ч}$  может выдавать ток  $100\text{А}$  в течении менее 1 часа), т.е. реальная мощность аккумулятора уменьшается с увеличением тока нагрузки. Но при движении автомобиля с остановками происходит частичное восстановление емкости.

Причина этого явления связана с тем, что внутри аккумулятора ток течет благодаря ионной проводимости. Если ионная проводимость электролита достаточно высока и не несет особого значения, то процесс переноса ионов внутри пластин аккумулятора и преодоление ими фазового раздела поверхность электрода электролит происходит достаточно медленно. То есть при быстром разряде какая-то часть ионов не успевает выйти из электрода в электролит (или войти из электролита в электрод) за время разряда, что ограничивает выдаваемую аккумулятором емкость.

Математическая модель этого процесса была описана в 1897 году Пекертом (Peukert). Он эмпирически установил, что отношение между разрядным током  $I$  и временем разряда аккумулятора  $T$  (от полностью заряженного к полностью разряженному) представляет собой константное отношение, и может быть описано формулой:

$$C_p = I^n * T, \quad (1.2)$$

где  $C_p$  – емкость Пекерта (константное отношение для данного аккумулятора);

$n$  – экспонента Пекерта.

Экспонента Пекерта всегда больше единицы, чем больше  $n$ , тем меньше способность аккумулятора отдавать полную емкость при повышенной нагрузке. Наименьшее значение экспоненты Пекерта имеют литий-железные, литий-марганцевые, литий-полимерные и свинцово-кислотные аккумуляторы с электродами рулонного типа. Одно из самых больших значений  $n$  у недорогих тяговых свинцово-кислотных батарей.

Экспонента Пекерта обычно рассчитывается на основании измерения времени полного разряда ( $T_1$  и  $T_2$ ) для двух разных токов ( $I_1$  и  $I_2$ ). Для приблизительных расчетов можно использовать таблицы или графики разрядки, предоставляемые производителем аккумулятора. Так как  $C_p$  – константа, мы можем записать такое уравнение:

$$C_p = I^n * T = I^n * T; \quad (1.3)$$

преобразуя выражение, получаем формулу расчета экспоненты Пекерта:

$$n = \frac{\log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\log\left(\frac{I_1}{I_2}\right)}. \quad (1.4)$$

Основываясь на знании значений экспоненты Пекерта и емкости Пекерта можно рассчитывать время работы аккумулятора при определенной нагрузке:

$$T = \frac{C_p}{I}. \quad (1.5)$$

Для свинцово-кислотных аккумуляторов 1,3-1,6. Не определенность ее определяется качеством изготовления, возрастом батареи.

При расчете батареи будем исходить из-того, что электромобиль будет использоваться для внутригородских поездок с частыми остановками на светофорах, пробках и определим время поездки периодом 15 минут, это вполне реально для среднего российского города. При средней скорости 40 км/час и дальности хода 80 км требуемое время хода 2 часа чистого времени.

При среднем токе потребления электродвигателя 50 ампер рассчитаем емкость аккумулятора:

$$C_p = I^n * T = 0.4 * 50 = 2 * 50 = 100 \text{ А/час.}$$

Из предлагаемого ряда типовых батарей выберем для использования в проекте батареи емкостью 130 а/час.

Из имеющихся в продаже на российском рынке аккумуляторов наилучшую репутацию при оптимальной стоимости имеют аккумуляторы Минн Кота МК-31- AGM емкостью 130 А/час.

### **1.5 Питание бортового и вспомогательного оборудования.**

Устройство электроснабжения питания оборудования электромобиля предназначено для электро-обеспечения бортовых приборов и дополнительного оборудования.

Для данного электроснабжения используем обычную автомобильную аккумуляторную батарею с напряжением 12В, так как оборудование на электромобиле данного проекта используется серийное.

Используем серийный автомобильный аккумулятор емкость которого 60 А/час, он предусматривает 10% запаса энергии, и рассчитан в таблице показанной ниже. Количество потребляемой энергии всех электроприборов на борту показано в таблице 1.3.

Таблица 1.3- Потребление тока оборудованием электромобиля

Наименование	Потребление тока, А	Время непрерывной работы, час	Потребляемая от батареи емкость А/час
Фары	14	1	14
Приборы	2	1	2
Габаритные фонари	8	2	16
Прочие наружные	4	1	4
Обогреватель	15	0.5	7.5
Гидроусилитель	5	1	5
Насос тормозной	5	1	5
Электродвигатель	6	0.05	0.3
Итого	59	7.55	53.8

### 1.5 Решение вопроса отопления электромобиля

Отопление электромобиля актуально только зимой, запотевании, при резком перепаде температур, и замерзании лобового стекла нужен источник отопления, для его разморозки и отсыревания. Так же нужно реализовать вентиляционную систему для его обдува.

У автомобилей с двигателями внутреннего сгорания тепло берется от избыточного тепла с ДВС, т.к. ДВС работает при больших температурах. У электромобиля же тепло выделяемое электродвигателем недостаточно для отопления салона.

Источником электроснабжения электромобиля служит тяговая аккумуляторная батарея, но эту энергию нужно тратить для приведения в действие электродвигателя. Поэтому вопрос отопления является актуальным и по сей день.

Способы отопления салона электромобиля:

- электрическая печка работающая от аккумулятора;
- газовая печка, при наличии газового баллона на борту;
- на другом из известных видов топлива.

### 1.7 Способы отопления салона электромобиля.

Прежде чем определиться с типом обогревателя, посчитаем мощность, которая требуется для обогрева салона.

В соответствии с ГОСТ 30494-96 внутренняя атмосфера электромобиля подпадает под категорию 3б, что требует обеспечения температуры в диапазоне 13-17 гр.С. при влажности 30-60%. Процесс стационарной

теплопроводности описывается уравнением Фурье:

$$Q = -\frac{\lambda dt}{dx}; \quad (1.6)$$

где:  $Q$  – тепловой поток, проходящий через единицу перпендикулярной ему поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м\*°С);

$dt$  – температура изменяющаяся вдоль пути пересечения поверхности, °С;

$dx$  – толщина участка материала, м.

Отношение  $dt/dx$  называется градиентом температур ( $\text{grad } t$ ) и имеет размерность °С/м.

Для стенки толщиной  $\sigma$  формула примет вид:

$$Q = \frac{\lambda(t_1-t_2)}{\sigma}. \quad (1.7)$$

Соотношение  $\frac{\sigma}{\lambda} = R$ ; называется термическим сопротивлением материального слоя и имеет физическую размерность м<sup>2</sup>·°С/Вт. Термическое сопротивление слоя - это сопротивление теплопроводности, равное разности температур на противоположных поверхностях слоя при прохождении через него теплового потока с поверхностной плотностью 1 Вт/м<sup>2</sup>. Расход тепла:

$$Q_T = Q * A = A * \frac{t_1-t_2}{R}; \quad (1.8)$$

где,  $A$  – площадь поверхности, кв.м.

Кроме процесса теплопроводности в транспортном средстве существует еще и воздухопроницание (инфильтрация). Воздухопроницанием называют расход воздуха ( $G$ , кг) который проходит через 1 кв.м. ограждения за 1 час.

Воздухопроницаемость обусловлено движением электрического транспортного средства и расчет является условием создания перепада давления между наружным воздухом и внутренним, когда транспортное средство движется со скоростью 60 км/ч.

Расход тепла на нагревание инфильтрационного воздуха определяется по формуле:

$$Q_T = 0,28 * G * C * A(t_{вн} - t_{нар}) * K, \quad (1.9)$$

где  $C$  – теплоемкость воздуха, кДж/(кг\*°С),  $C=1,006$  кДж/(кг·°С);  $K$  – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях;

$A$  – площадь поверхности, кв.м.

Сведем в таблицу 1.3 данные известные из справочников для расчета

теплопотерь электромобиля

Таблица 1.3 – Теплопотери электрообита

Поверхность	Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Термич. сопротивление м <sup>2</sup> ·°C/Вт	Воздухопроницаемость G, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)
Окно	8.0	-	-
Крыша с	6.5		
Боковые стенки	5.5		
Дверь	12.0	-	1.5
Лобовое стекло	8.5	-	5.0

Теплопотери салона электромобиля складываются из потерь через стекла кузова, стенки кузова, отдельно выделим потери через лобовое стекло, инфильтрация через уплотнения. Нагрев приточного воздуха не рассматриваем в связи с тем, что приточный вентилятор должен быть снабжен собственным нагревателем.

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{ст}} + Q_k + Q_{\text{кр}} + Q_{\text{лоб}} + Q_{\text{и}}. \quad (1.10)$$

Расчет выполним для зимнего времени с температурой наружного воздуха – 20°C и температурой внутри салона 17°C.

а) Потери через остекление салона (кроме лобового окна), общей площадью 1.2 кв.м:

$$Q_{\text{ст}} = 1,2 \cdot 37 \cdot 8,0 = 355 \text{ Вт.}$$

б) Потери через лобовое стекло с площадью 0.65 кв.м.:

$$Q_{\text{лоб}} = 0,65 \cdot 37 \cdot 8,5 = 204 \text{ Вт.}$$

в) Потери через крышу салона площадью 3,52 кв.м.:

$$Q_{\text{кр}} = 3,52 \cdot 37 \cdot 6,5 = 846 \text{ Вт.}$$

г) Потери через поверхности кузова (стенки и двери). Площадь дверей 1.6 кв.м., площадь стенок 2.1 кв.м.:

$$Q_k = 1,6 \cdot 37 \cdot 12,0 + 2,1 \cdot 37 \cdot 5,5 = 710 + 427 = 1137 \text{ Вт.}$$

г) Инфильтрационные потери через окна и двери, в том числе и лобовое стекло:

$$Q_{\text{и}} = 0,28 \cdot G \cdot C \cdot A(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \cdot K = 0,28 \cdot 5 \cdot 1.006 \cdot 1,85 \cdot 37 \cdot 1 +$$

$$+0,28 \cdot 1,5 \cdot 1.006 \cdot 1,6 \cdot 37 \cdot 1 = 96 + 25 = 121 \text{ Вт.}$$

Итого общие потери тепла через кузов электромобиля:

$$Q_{\text{общ}} = 355 + 204 + 846 + 1137 + 121 = 2663 \text{ Вт.}$$

Тепловые потери возможно уменьшать путем использования современных изоляционных материалов.

При первом прогреве электромобиля в начале рабочей смены происходит нагрев воздуха в салоне электромобиля. Ориентировочный объем воздуха составляет 2 – 2.5 куб.м. (2.8 кг). Применяв формулу теплоемкости тела:

$$Q = C \cdot m \cdot \Delta t, \quad (1.11)$$

где  $\Delta t$  - разность температур внутри салона и снаружи;

$m$  – масса;

$C$  – теплоемкость воздуха.

Определим требуемое количество энергии:

$$Q = 0,716 \cdot 2,8 \cdot 37 = 74,2 \text{ Кдж.}$$

Следовательно при мощности нагревателя 2,663 Квт воздух внутри салона возможно нагреть за 28 секунд. Расчет показывает, что для обеспечения комфорта внутри салона электромобиля необходимо подобрать нагревательное устройство мощностью 2,6 – 3 кВт. Наш расчет хорошо подтверждается практикой. Недавно анонсированный электромобиль BMW Mini E имеет электрический отопитель салона мощностью 3 киловатта питаемый от тяговой батареи.

## **2 Разработка системы управления частотно-регулируемого электропривода автомобиля.**

### **2.1 Структурная схема системы управления частотно-регулируемого электропривода.**

Одно из основных требований предъявляемых к электроприводу автомобиля является, безусловно, энергосберегающий режим работы электропривода. Это требование может быть воплощено с использованием в качестве силового агрегата, регулируемый асинхронный двигатель. [2]

Асинхронный электродвигатель обладает рядом преимуществ перед всеми другими силовыми установками. Это во первых меньше стоимость данного электропривода и надежность. Надежность обуславливается меньшим количеством деталей. Так же при использовании Асинхронной машины

можно использовать его генераторный режим для рекуперации энергии и отдачи ее в АКБ.

Однако сложность регулирования данного электропривода могут оттолкнуть от его использования. Для этого разработали систему управления основанного на частотном регулировании силовой установки.

Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода представлена на рисунке 2.1.

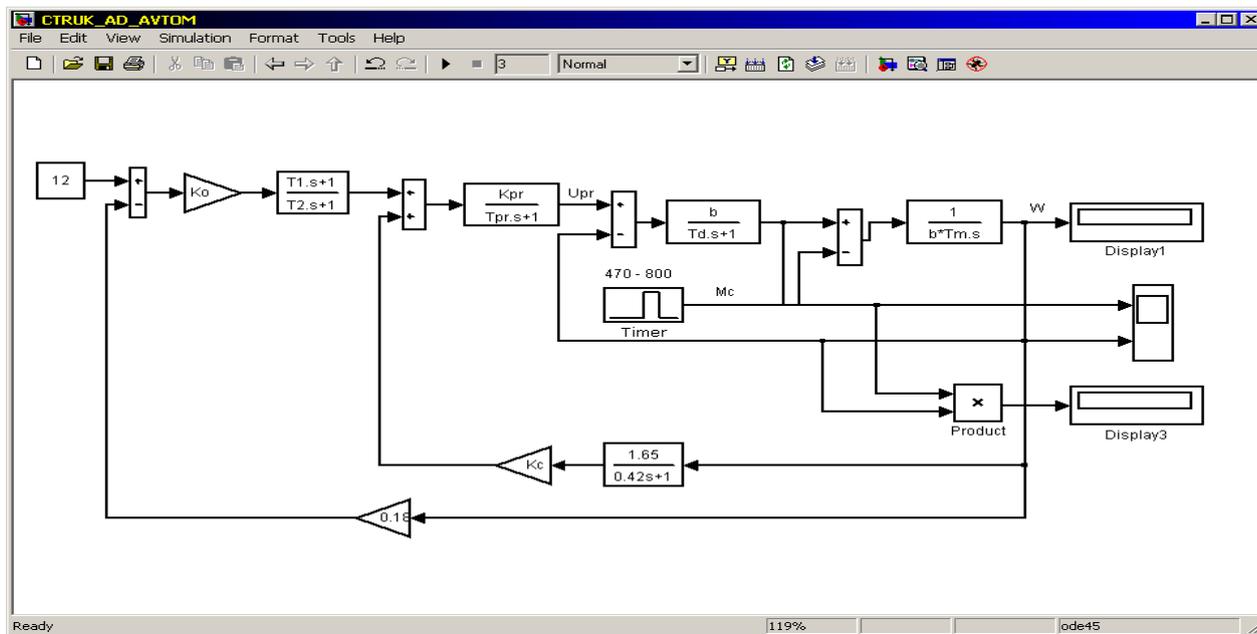


Рисунок 2.1 – Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода

Структурная схема асинхронного двигателя представлена двумя динамическими звеньями с передаточными функциями:

$$W1 = \frac{1}{g \cdot Tm \cdot s}, \quad (2.1)$$

$$W2 = \frac{1}{Tc \cdot s + 1}, \quad (2.2)$$

где  $g$  - жесткость механической характеристики асинхронного двигателя;

$Tm$  - электромеханическая постоянная времени асинхронного двигателя;

$Tc$  - электромагнитная постоянная времени асинхронного двигателя;

Динамические звенья асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором охвачены жесткой отрицательной обратной связью. Преобразователь частоты (ПЧ) на рисунке 2.1. представлен инерциальным звеном с

передаточной функцией:

$$W3 = \frac{K_{пч}}{T_{пч} \cdot s + 1}, \quad (2.3)$$

где  $K_{пч}$ - передаточный коэффициент ПЧ;

$T_{пч}$ - постоянная времени ПЧ;

Регулятор скорости (П – регулятор) системы асинхронный двигатель – преобразователь частоты (АД - ПЧ) представлен на рисунке 2.1 как безынерционное звено с коэффициентом передачи  $W4 = Kpc$ ;

В целом структурная схема замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель является линеаризованной системой с обратной связью по скорости [ $T_{ср}$ ]. Кроме этого следует отметить, что колебательное звено с передаточной функцией:

$$W4 = \frac{K}{a_1^2 \cdot p^2 + a_2 \cdot p + 1}, \quad (2.4)$$

где  $K$ - коэффициент передачи;

$a_1, a_2$ - постоянная времени;

Является математической моделью генератора постоянного тока.

Генератор постоянного тока электромобиля предназначен для подзарядки аккумулятора и используется одновременно как датчик обратной связи (положительной) в системе ПЧ-АД с целью обеспечения ограничения электромагнитного момента асинхронного двигателя.

Отметим также, что передаточная функция генератора постоянного тока выбрана на основании [3].

## 2.2 Математическое описание динамики движения асинхронного электропривода автомобиля.

Математическое описание замкнутой системы ПЧ-АД рассматривается на основе передаточных функций системы. Так как передаточная функция интегрирующего звена структурной схемы АД имеет вид:

$$W1 = \frac{1}{T_B \cdot s + 1} = \frac{\dot{\omega}}{M - Mc};$$

То дифференциальное уравнение этого звена запишется следующим образом:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{1}{gTm} (M - Mc); \quad (2.5)$$

где  $\omega$ - угловая скорость двигателя;

$M$ - электромагнитный момент двигателя;

Мс- статический момент двигателя;

Второе звено асинхронного двигателя (инерционное звено) с передаточной функцией:

$$W1 = \frac{g}{T_B \cdot S + 1} = \frac{M}{U_{ПЧ} - \dot{\omega}}; \quad (2.6)$$

описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dM}{dt} = \left(\frac{g}{T_c}\right) (U_{пр} - \dot{\omega}) - \left(\frac{1}{T_c}\right) M; \quad (2.7)$$

здесь  $U_{пр}$  – напряжение на выходе преобразователя частоты.

Дифференциальное уравнение преобразователя частоты, согласно передаточной функции ПЧ:

$$\frac{U_{пр}}{U_{рс} + U_q} = \frac{K_{рч}}{T_{рч} + 1}; \quad (2.8)$$

имеет вид:

$$\frac{dU_{рч}}{dt} = \left(\frac{K_{рч}}{T_{рч}}\right) (U_{пр} + U_q) - \left(\frac{1}{T_{рч}}\right) U_{рч}; \quad (2.9)$$

где  $U_{рс}$  – напряжение на выходе регулятора скорости;

$U_q$  – напряжение с выхода генератора постоянного тока.

На основе передаточной функции генератора постоянного тока:

$$\frac{U}{U_w} = \frac{K_v}{(1 + T_{сP})(1 + T_{gP})}. \quad (2.10)$$

Дифференциальное уравнение генератора имеет вид:

$$\frac{d^2 U}{dt^2} = \frac{K_v}{T_B T_{гЯ}} U \omega - \frac{T_{гЯ} + T_B}{T_B T_{гЯ}} \cdot \frac{dU}{dt} - \frac{1}{T_B T_{гЯ}};$$

или

$$\frac{dU}{dt} = y;$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K_v}{T_B T_{гЯ}} U_T - \frac{T_{гЯ} + T_B}{T_B T_{гЯ}} \cdot y - \frac{1}{T_B T_{гЯ}} \cdot U;$$

где  $U$  – напряжение на выходе генератора постоянного тока;

$U \omega$  – напряжение на выходе обмотки возбуждения генератора;

$T_B$ ,  $T_g$  – соответственно постоянная времени обмотки возбуждения и якорной цепи генератора.

Уравнение одного из входных напряжений подаваемое на ПЧ можно записать в следующем виде:

$$Uq = kU. \quad (2.11)$$

Регулятор скорости описывается уравнением:

$$U_{pc} = U_z - K_{\omega} \cdot \omega, \quad (2.12)$$

где  $U_z$  – задающее воздействие;

$K_{\omega}$  – коэффициент обратной связи скорости АД.

На основании формул 2.6-2.12 математическое описание динамики движения асинхронного двигателя автомобиля будет иметь вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{g \cdot T_m} \cdot M - \frac{1}{g \cdot T_m} \cdot M_c;$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{g}{T_c} U_{pr} - \frac{G}{T_c} \omega - \frac{1}{T_c} M;$$

$$\frac{dU_{pr}}{dt} = \frac{K_{pr}}{T_{pr}} (U_z - K_{\omega} \omega) + \frac{K K_{pr}}{T_{pr}} U_y - \frac{1}{T_{pr}} U_{pr}; \quad (2.13)$$

$$\frac{dU_y}{dt} = y;$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K_v}{T_B T_A} U_T - \frac{T_B + T_A}{T_B T_A} y - \frac{1}{T_B T_A} U_y;$$

или:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 x_2 - a_1 M_c;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_3 x_3 - a_4 x_1 - a_5 x_2;$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_6 U_z - a_7 x_1 + a_8 x_4 - a_3 x_3;$$

$$\frac{dx_4}{dt} = X_5;$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_{10}x_1 - a_{11}x_5 - a_{12}x_4.$$

### 2.3 Устойчивость движения асинхронного электропривода автомобиля.

В процессе проектирования системы управления асинхронного электропривода автомобиля исследование устойчивости движения является весьма необходимой задачей проектирования системы.

Условия устойчивости формулируются в виде алгебраических и частотных критериев устойчивости. Одним из наиболее удобным методом исследования устойчивости системы является алгебраический критерий Гурвица, который позволяет применить для решения задачи устойчивости ЭВМ. Но для использования метода Гурвица необходимо определить характеристическое уравнение замкнутой системы ПЧ-АД автомобиля. Определение передаточной функции, с целью нахождения характеристического уравнения системы согласно [4].

Линейные уравнения асинхронного двигателя получаем на основании передаточных функций двигателя, т.е. исходя из передаточной функции первого звена  $W_1 = \frac{0.28}{p}$ ; имеем линейное уравнение:

$$x_1 - x_1 \cdot x_2 = 0. \quad (2.14)$$

По второй передаточной функции  $W_2 = \frac{22.5}{0.04p+1}$ ; получаем следующее уравнение:

$$x_2 = w_2(x_3 - x_1);$$

или:

$$x_1 + \frac{1}{w_2} \cdot x_2 - x_3 = 0. \quad (2.15)$$

В уравнениях (2.13) и (2.14) переменные:  $x_1 = \omega$ ;  $x_2 = M$ ;  $x_3 = U_{рч}$ .

Линейное уравнения преобразователя частоты запишется, согласно передаточной функции  $w_3 = \frac{15}{0.001p+1}$ ; уравнением:

$$x_3 = w_3(x_5 + x_4);$$

или:

$$\frac{1}{w_3} x_3 - x_4 - x_5 = 0; \quad (2.16)$$

где  $x_3 = U_{пч}$  (напряжение преобразователя частоты);  $x_4 = U_g$  (напряжение генератора постоянного тока);  $x_5$  – напряжение регулятора скорости.

Передаточная функция генератора постоянного тока с независимым возбуждением [3.2]  $W_4 = \frac{1.65}{0.42p+1}$ ; (инерционное звено) описывается следующим линейным уравнением:

$$x_4 = 0.1 \cdot w_4 x_1;$$

или:

$$-0.1 \cdot w_4 x_1 + x_4 = 0. \quad (2.17)$$

Регулятор скорости с передаточной функцией  $W_5 = \frac{0.1p+1}{0.7p+1}$ ; описывается уравнением

$$X_5 = w_5 \cdot (3 \cdot U_z - 0.54 \cdot x_1); \quad (2.18)$$

где  $U_z$  – задающее воздействие (напряжение аккумулятора);

$X_5$  – напряжение с выхода регулятора скорости;

Уравнение (2.17) можно записать в следующем виде

$$0.54 \cdot x_1 + \frac{1}{w_5} x_5 - 3U_z = 0. \quad (2.19)$$

Матлаб системно-объектное программирование позволяющее описать систему управления алгоритмом, который определяет передаточную функцию.

Условия устойчивости формулируются в виде алгебраических и частотных критериев устойчивости.

Одним из наиболее удобным методом исследования устойчивости системы является алгебраический критерий Гурвица, который позволяет применить для решения задачи устойчивости ЭВМ.

Данный алгоритм позволяет определить передаточную функцию замкнутой системы.

Программа определения передаточной функции замкнутой системы ПЧ-АД представлена на рисунке 2.2.

В программе в строке 14 находится выражение передаточной функции, которая определяется в результате счета строки 4 с функцией МАТЛАБ «solve». В строке 2 расположены передаточные функции системы ПЧ-АД в

символьном виде. Программа определения передаточной функции замкнутой системы ПЧ-АД составлена на основании [5]

```

1 function PERED_FUN_AUTO
2 syms w1 w2 w3 w4 w5
3 clc
4 [x1,x2,x3,x4,x5]=solve('x1-w1*x2+0*x3+0*x4+0*x5',...
5                       'x1+(1/w2)*x2-x3+0*x4+0*x5',...
6                       '0*x1+0*x2+(1/w3)*x4-x5',...
7                       'w4*x1+0*x2+0*x3+10*x4+0*x5',...
8                       '0.54*x1+0*x2+0*x3+0*x4+(1/w5)*x5-30');
9 w1=tf(0.28,[1 0]);
10 w2=tf(22.5,[0.04 1]);
11 w3=tf(15,[0.001 1]);
12 w4=tf(1.65,[0.42 1]);
13 w5=tf([0.2 1],[0.45 1]);
14 Wc=-(1500.0*w3*w5)/(5.0*w4-27.0*w3*w5);
15 Ws=minreal(Wc);
16 grid
  
```

Рисунок 2.2- Программа определения передаточной функции замкнутой системы ПЧ-АД

При введении в процедуру функции «pole()» определяются корни знаменателя (корни характеристического уравнения передаточной функции системы). Программа с функцией МАТЛАБ «pole()» представлена на рисунке 2.3 с численными значениями корней характеристического уравнения передаточной функции системы.

```
Command Window

55.56 s^2 + 410.1 s + 661.4
-----
s^2 + 7.272 s + 11.66

Continuous-time transfer function.

P =

-4.8845
-2.3879

fx >>
```

Рисунок 2.3 – Программа с функцией МАТЛАБ «pole()»

В результате счета программы на дисплей ЭВМ выводятся передаточная функция системы ПЧ-АД, корни характеристического уравнения и график переходного процесса скорости асинхронного двигателя. Передаточная функция системы и корни характеристического уравнения представлена на рисунке 2.3. График переходного процесса скорости движения на рисунке 2.4.

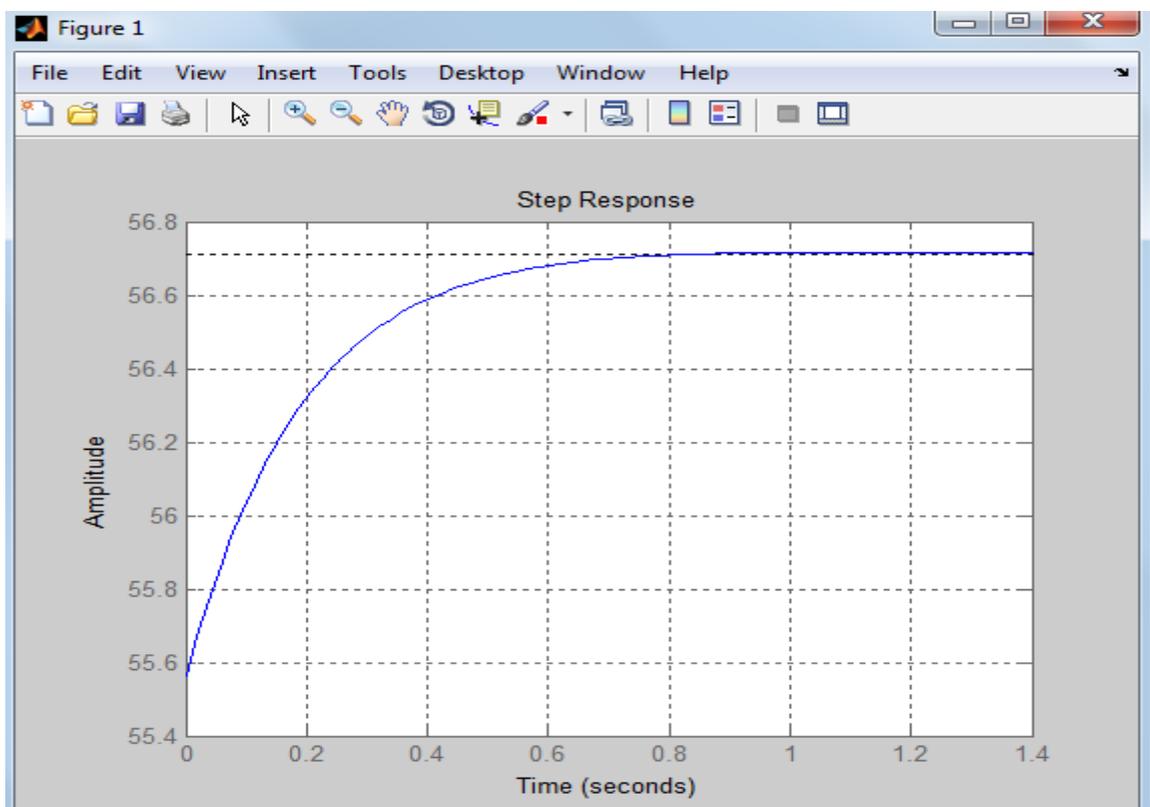


Рисунок 2.4 – График переходного процесса скорости движения

В рисунке 2.3 численные значения корней характеристического уравнения передаточной функции Transfer function равен  $P1=-4,8845$ ,  $P2=-2,3879$ . Так как корни характеристического уравнения передаточной функции системы ПЧ-АД отрицательные и вещественные, то система устойчивая [asd]. Это так же подтверждается графиком переходного процесса показаного на рисунке 2.4.

## 2.4 Параметрический синтез системы ПЧ-АД автомобиля.

Одним из важнейших этапов проектирования систем управления электропривода автомобиля является этап синтеза параметров системы.

Синтез параметров систем управления, как правило, в настоящее время осуществляется с применением программ ЭВМ и при известном математическом описании динамики движения электропривода. [5] Математическое описание замкнутой системы ПЧ-АД после несложных преобразований можно записывать в следующем виде:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_m} M - \frac{1}{\beta T_m} M c;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\beta}{T_d} U_{пч} - \frac{\beta}{T_d} \omega - \frac{1}{T_d} M; \quad (2.20)$$

$$\frac{dU_{пч}}{dt} = y;$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K_{пч} \cdot K_0}{T_{пч} \cdot T_2} U_z - \frac{K_{пч} \cdot K_0 \cdot K_{\omega} \cdot T_1}{T_{пч} \cdot T_2 \cdot \beta \cdot T_2} M - \frac{K_{пч} \cdot K_0 \cdot K_{\omega}}{T_{пч} \cdot T_2} \omega - \frac{K_{пч}}{T_{пч} \cdot T_2} U_{рc} + \frac{K_{пч} + K_c \cdot K_{пч} \cdot K_3}{T_{пч} \cdot T_g} - \frac{T_{пч} + T_g}{T_{пч} \cdot T_g} y - \frac{1}{T_{пч} \cdot T_g} U_{пч};$$

$$\frac{dU_{рc}}{dt} = \frac{K_0}{T_2} U_z - \frac{K_0 K_{\omega} T_1}{T_2 \beta T_m} M - \frac{K_0 K_{\omega}}{T_2} \omega - \frac{1}{T_2} U_{рc},$$

где  $\beta$  – жесткость механической характеристики АД;  
 $T_m$  – электромеханическая постоянная времени;  
 $T_d$  – электромагнитная постоянная времени;  
 $T_1$  и  $T_2$  – постоянные времени регулятора скорости;  
 $K_{\omega}$  – коэффициент передачи обратной связи по скорости;  
 $K_{пч}$  – коэффициент передачи преобразования частоты;  
 $K_0$  – коэффициент усиления;  
 $K_c$  – коэффициент усиления генератора постоянного тока;  
 $T_{пч}$  – постоянная времени преобразователя частоты;

$T_g$  – постоянная времени области возбуждения генератора постоянного тока.

Для удобства решения системы дифференциальных уравнений (2.20) преобразуем эту систему к следующему виду при  $M_c=0$ :

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1x_2;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_3x_3 - a_3x_1 - a_4x_2;$$

$$\frac{dx_3}{dt} = x_4;$$

$$\frac{dx_4}{dt} = aU_z - a_6x_2 - a_7x_1 - a_8x_5 + b - a_9x_4 - a_{10}x_3;$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_{11}U_z - a_{12}x_2 - a_{13}x_1 - a_{15}x_5,$$

где  $U_z$  – задающее воздействие на входе системы ПЧ-АД.

Следует что на основе алгоритма [6], программа синтеза параметров замкнутой системы ПЧ-АД представлена в приложении 1.

В результате счета программы (программа составлена на алгоритмическом языке Matlab) полученные параметры, также как  $K_{пч}$ ,  $K_0$ ,  $K_c$ ,  $T_1$  и  $T_2$  (параметры синтеза) были введены в программу решения дифференциальных уравнений (2.20), с целью получения переходных процессов скорости и момента асинхронного двигателя автомобиля.

Эта методика расчетов параметров управляющего устройства и системы управления полностью отвечает всем режимам работы системы управления Преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Так же плавный пуск и торможение являются одним из необходимых режимов работы асинхронного электропривода.

Эта методика расчетов параметров управляющего устройства и системы управления полностью отвечает всем режимам работы системы управления Преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Так же плавный пуск и торможение являются одним из необходимых режимов работы асинхронного электропривода.

Программа решения дифференциального уравнения (2.20) представлена на рисунке 2.5. График переходных процессов скорости и момента двигателя представлена на рисунке 2.6. Качественные показатели переходных процессов отвечают требованиям режима работы электропривода.

Если система устойчива, то данный электропривод можно использовать как силовую установку, в электромобиле. Программа решения

дифференциального уравнения (2.20) представлена на рисунке 2.5

```
Editor - C:\Users\гггг\Desktop\MMZSAU.m
Untitled
PERED_FUN_AUTO.m
MMZSAU.m
+
1 function MMZSAU
2 x0=[0;0;0;0;0];
3 interval=[0 3];
4 [T,X]=ode45(@systn,interval,x0);
5 plot(T,X(:,1)*10,'k.-',T,X(:,2),'r.-');
6 grid
7 function dx=systn(t,x)
8 dx=zeros(5,1);
9 dx(1)=0.28*x(2);
10 dx(2)=562.5*x(3)-562.5*x(1)-25*x(2);
11 dx(3)=x(4);
12 dx(4)=42857.14*12-214.28*x(2)-7714.28*x(1)-...
13 14285.7*x(5)+27738.095-1002.38*x(4)-2380.95*x(3);
14 dx(5)=4.28*10-0.02*x(2)-0.77*x(1)-1.43*x(5);
15 end
16 end
17
```

Рисунок 2.5 – Программа решения дифференциального уравнения

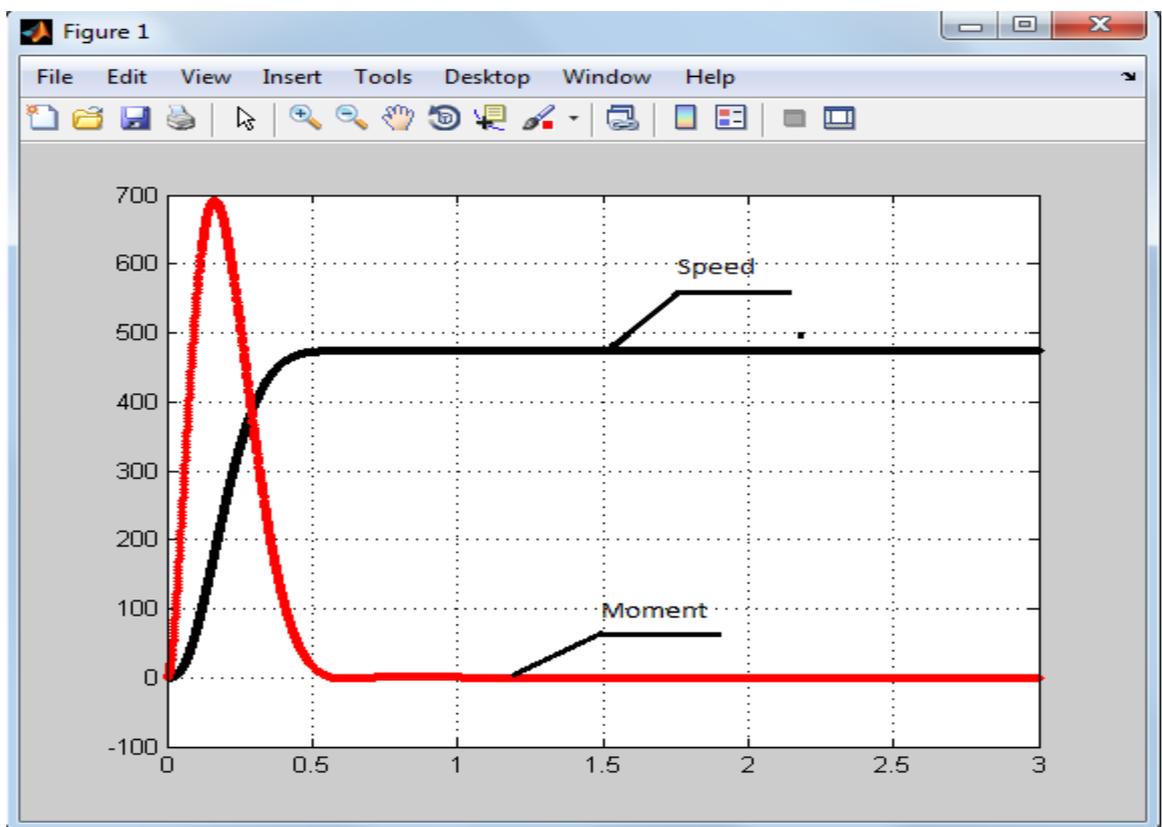


Рисунок 2.6 – График переходных процессов скорости и момента двигателя.

## 2.5 Исследование виртуальной модели системы ПЧ-АД в программе Matlab

Переходные процессы системы ПЧ-АД рассматриваются с помощью математической модели трёхфазной асинхронной машины, собранной в среде Matlab. Модель представлена на рисунке 2.7.

Three-Phase Asynchronous Machine

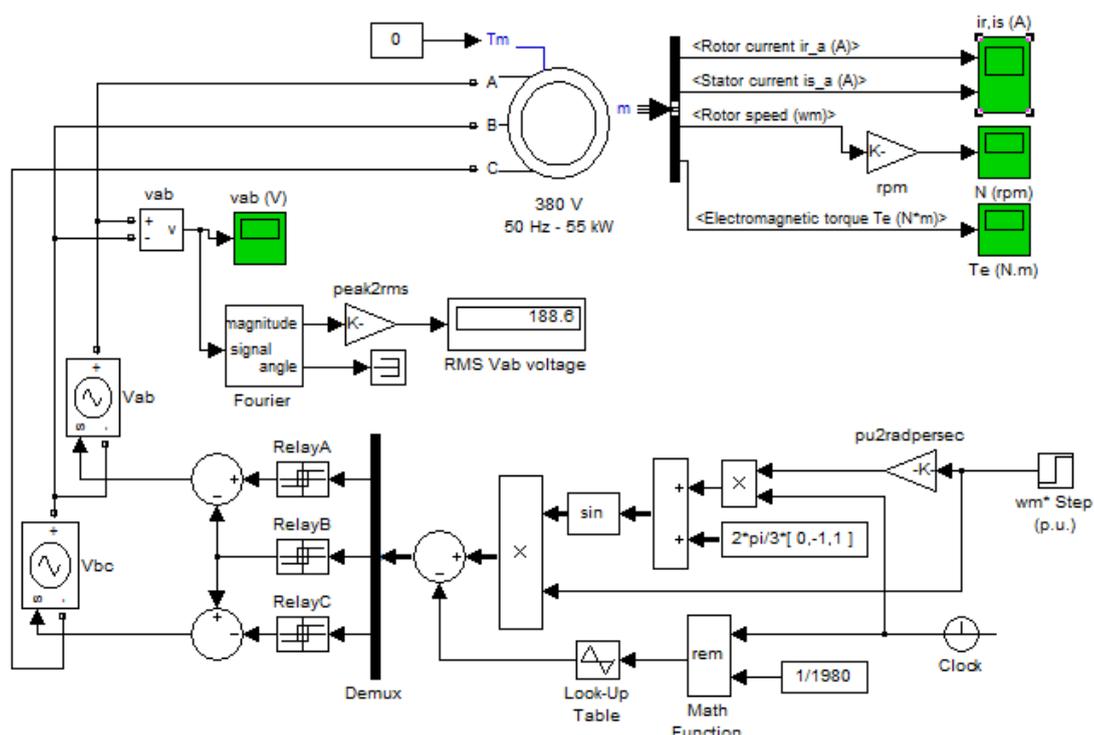


Рисунок 2.7 – Виртуальная модель электропривода в программе Matlab

Модель состоит из следующих основных блоков:

- источники переменного однофазного напряжения  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ;
- исследуемая трёхфазная асинхронная машина *Asynchronous*;
- блок *Moment* для чтобы задать механический момента на валу двигателя *Simulink*;
- блок *Display* для вывода изменения характеристики;
- блок *Step* осуществляет скачкообразное изменение нагрузки по окончании пуска;
- блок *Scope* для наблюдения токов статора и ротора, а также скорости и момента асинхронного двигателя, построение осциллограмм.

Амплитуда напряжения задаётся блоками  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  и равна  $220\sqrt{2}$ . Значения асинхронной машины с короткозамкнутым ротором берутся из паспортных данных асинхронного двигателя.

Параметры напряжения и параметров исследуемой асинхронной машины приведены на рисунках 2.8-2.9.

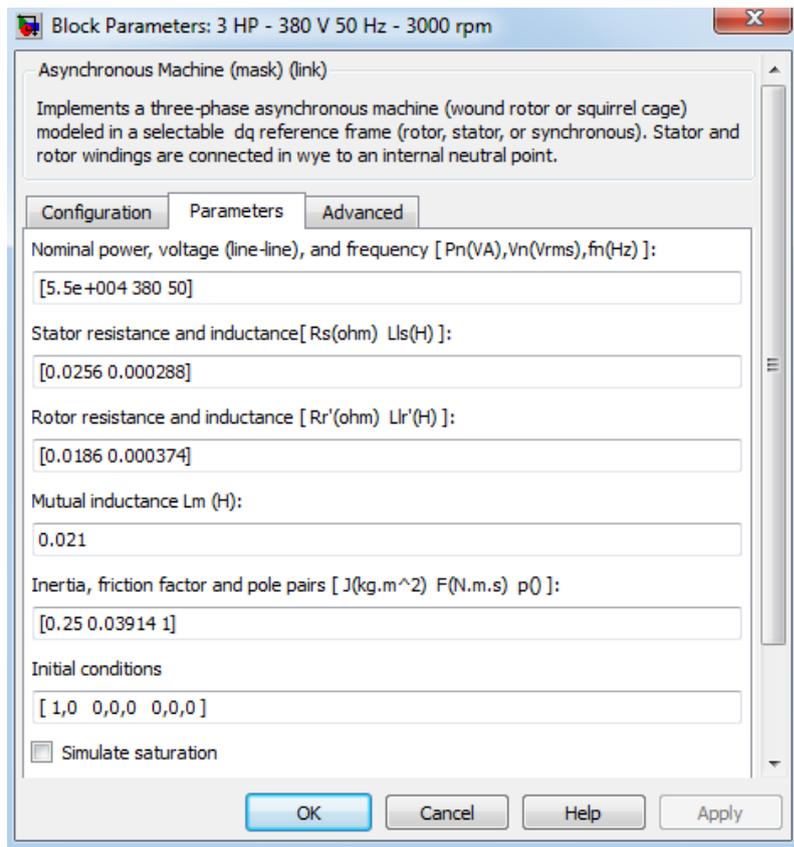


Рисунок 2.8 – Параметры блока Асинхронного двигателя

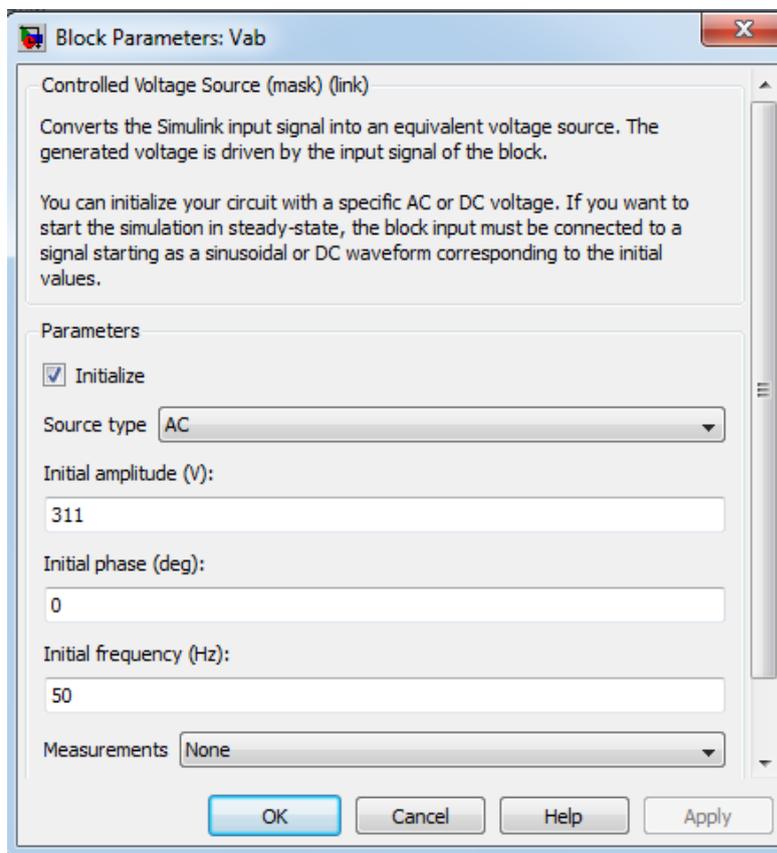


Рисунок 2.9 – Параметры блока задания напряжения

При рассмотрении режима холостого хода при моменте  $M=0$ , значение частоты напряжения  $f=50$  Гц. На рисунках 2.10 – 2.13 характеристики при частотном пуске АД.

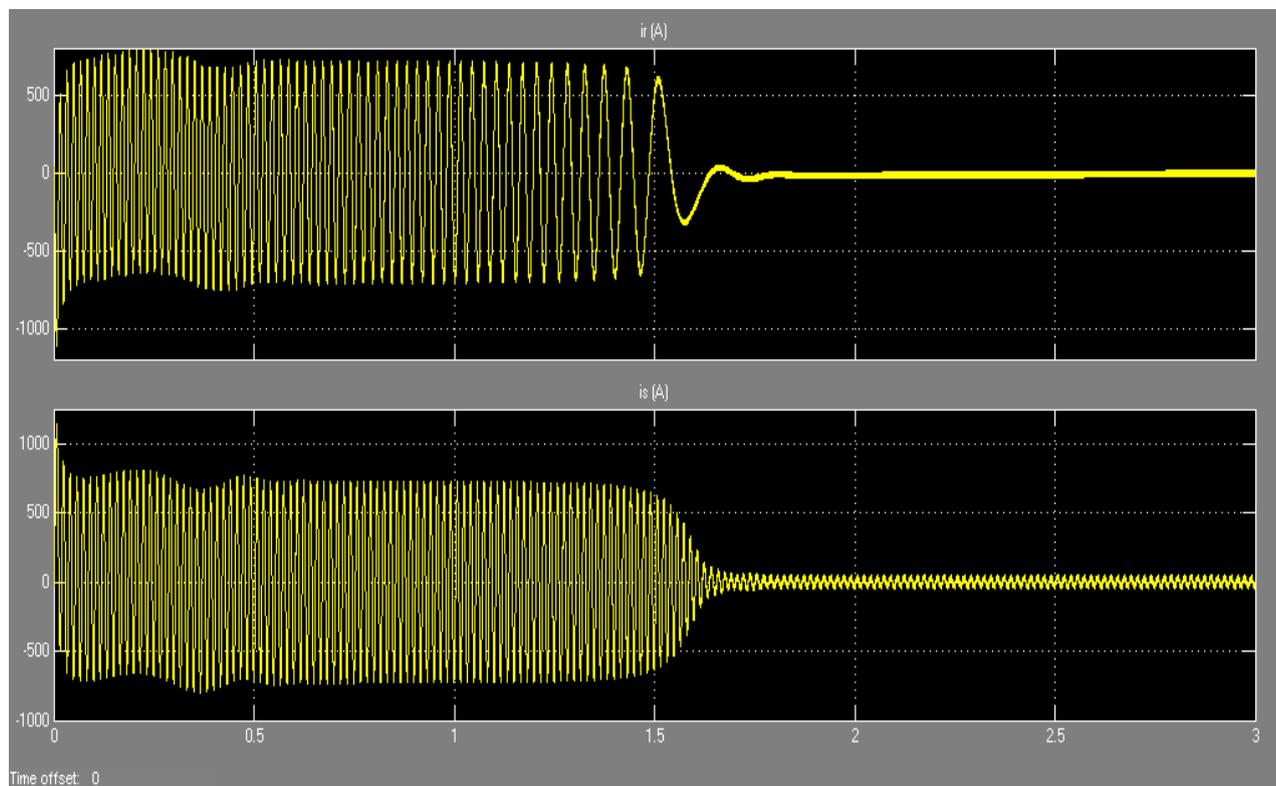


Рисунок 2.10 – Графики тока ротора  $I_r(t)$  и статора  $I_s(t)$  при частотном пуске

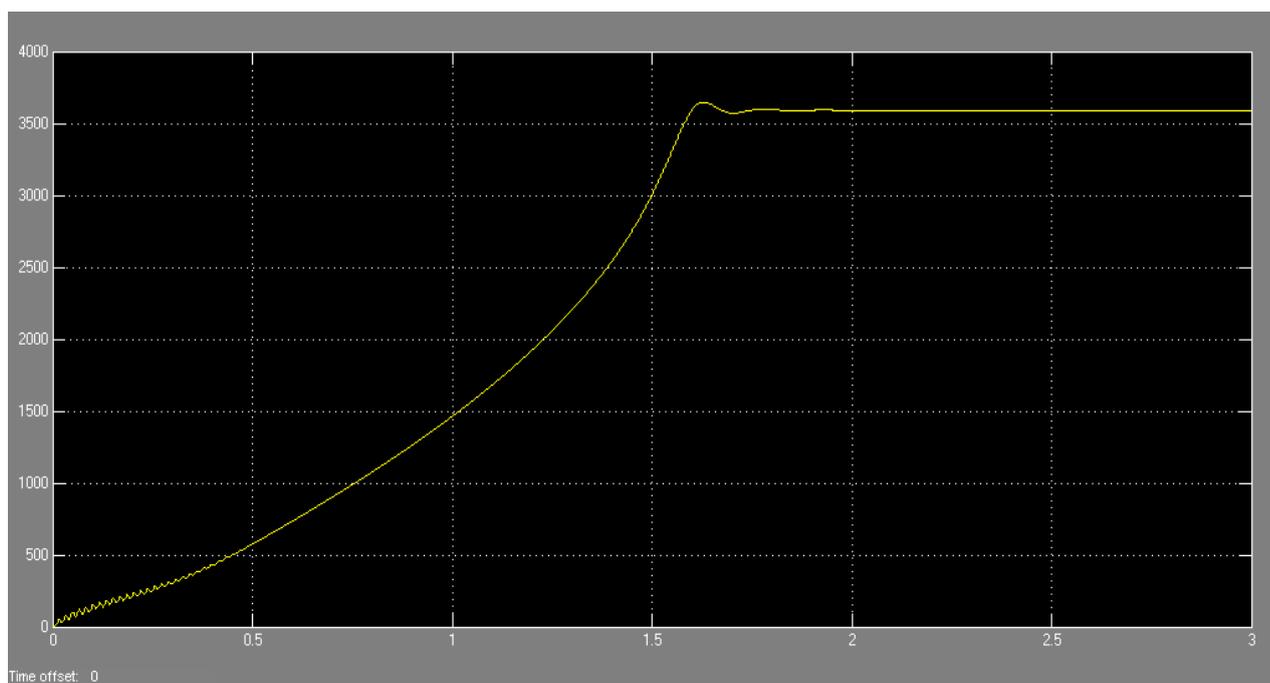


Рисунок 2.11– График угловой скорости  $\omega(t)$  при частотном пуске

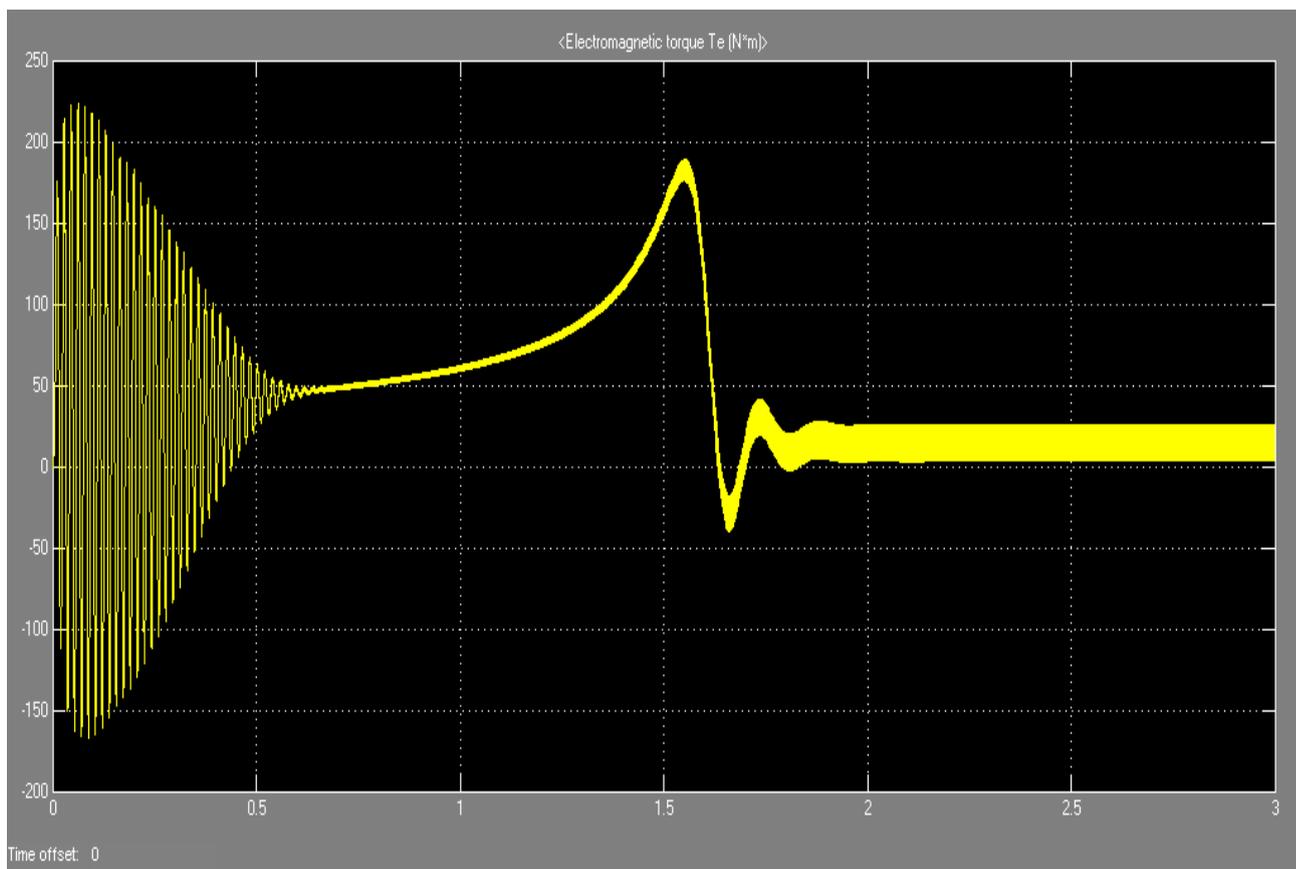


Рисунок 2.12 – График электромагнитного момента  $T_e(t)$  при частотном пуске

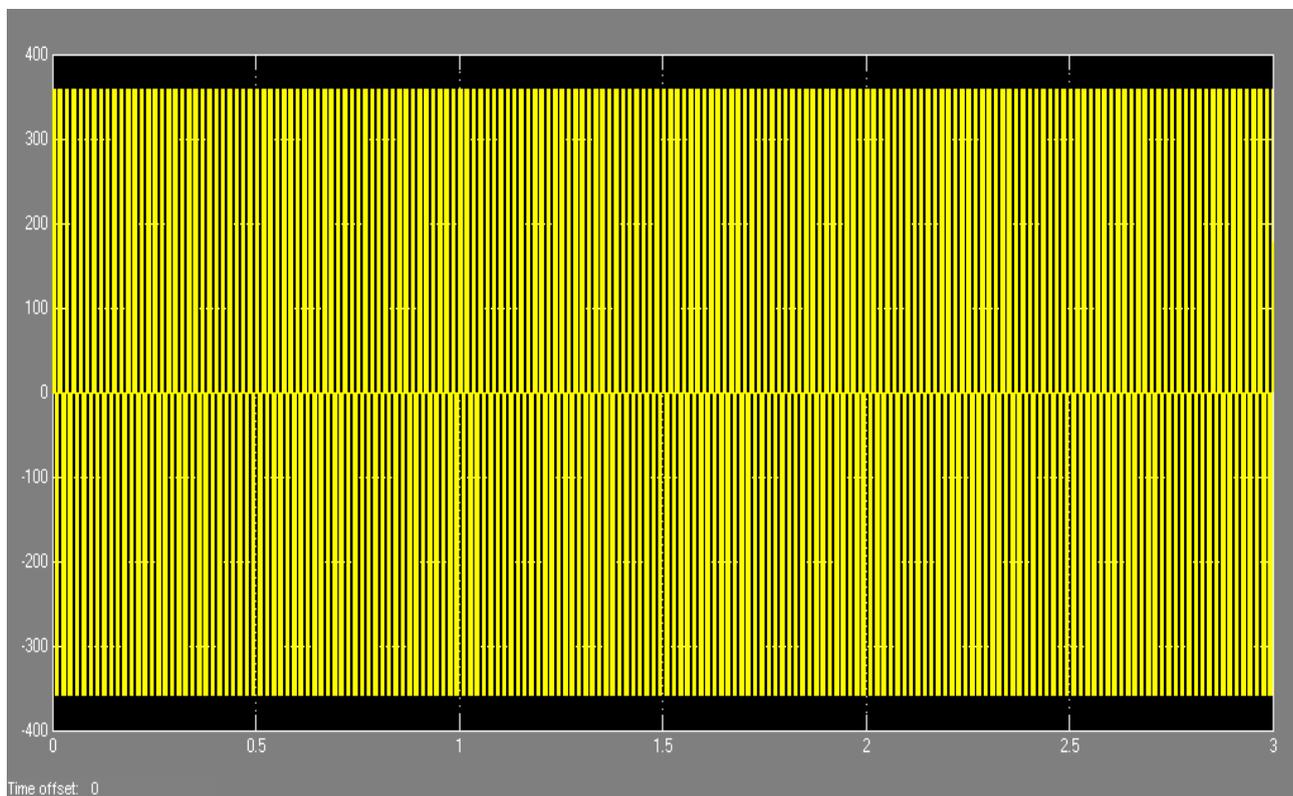


Рисунок 2.13 – Экспоненциальный закон изменения напряжения при

частотном пуске АД

б) При рассмотрении режима холостого хода при моменте нагрузки  $M=0$ , значение частоты  $f=30$  Гц. Рисунки 2.14 – 2.17

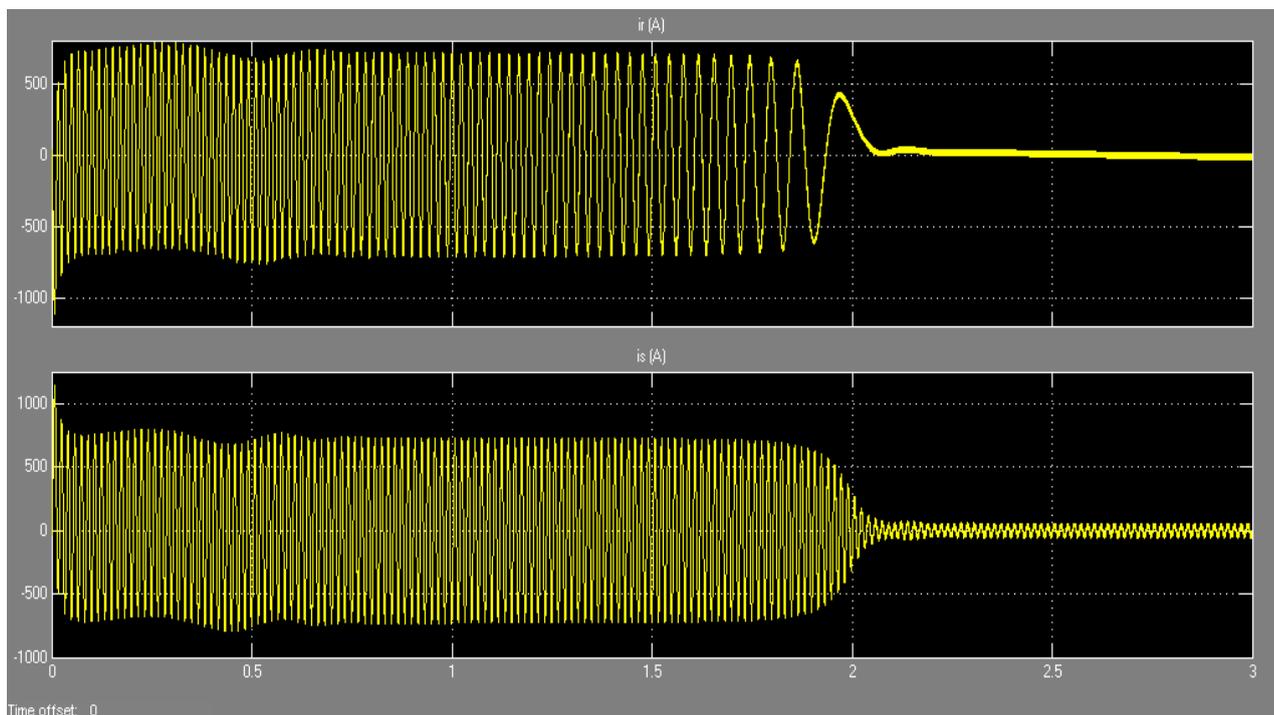


Рисунок 2.14 – Графики тока ротора  $I_r(t)$  и статора  $I_s(t)$  при частотном пуске

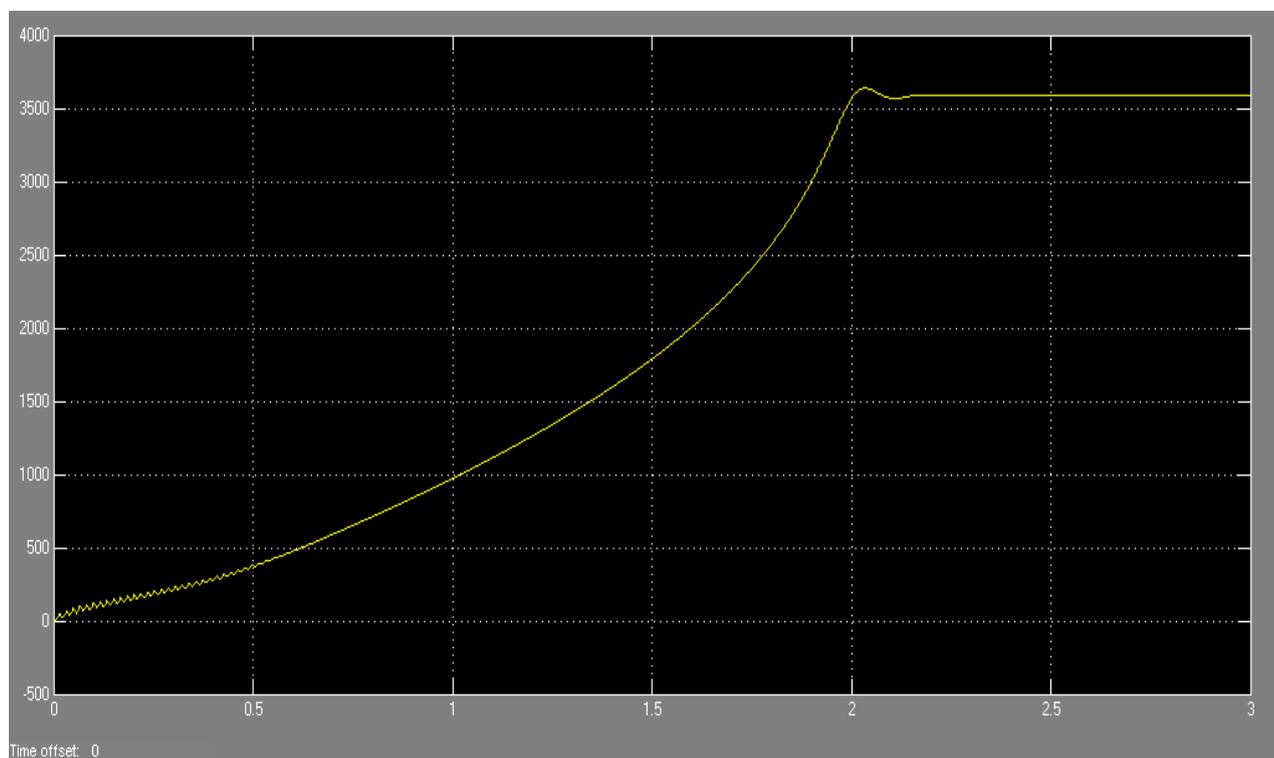


Рисунок 2.15 – График угловой скорости  $\omega(t)$  при частотном пуске

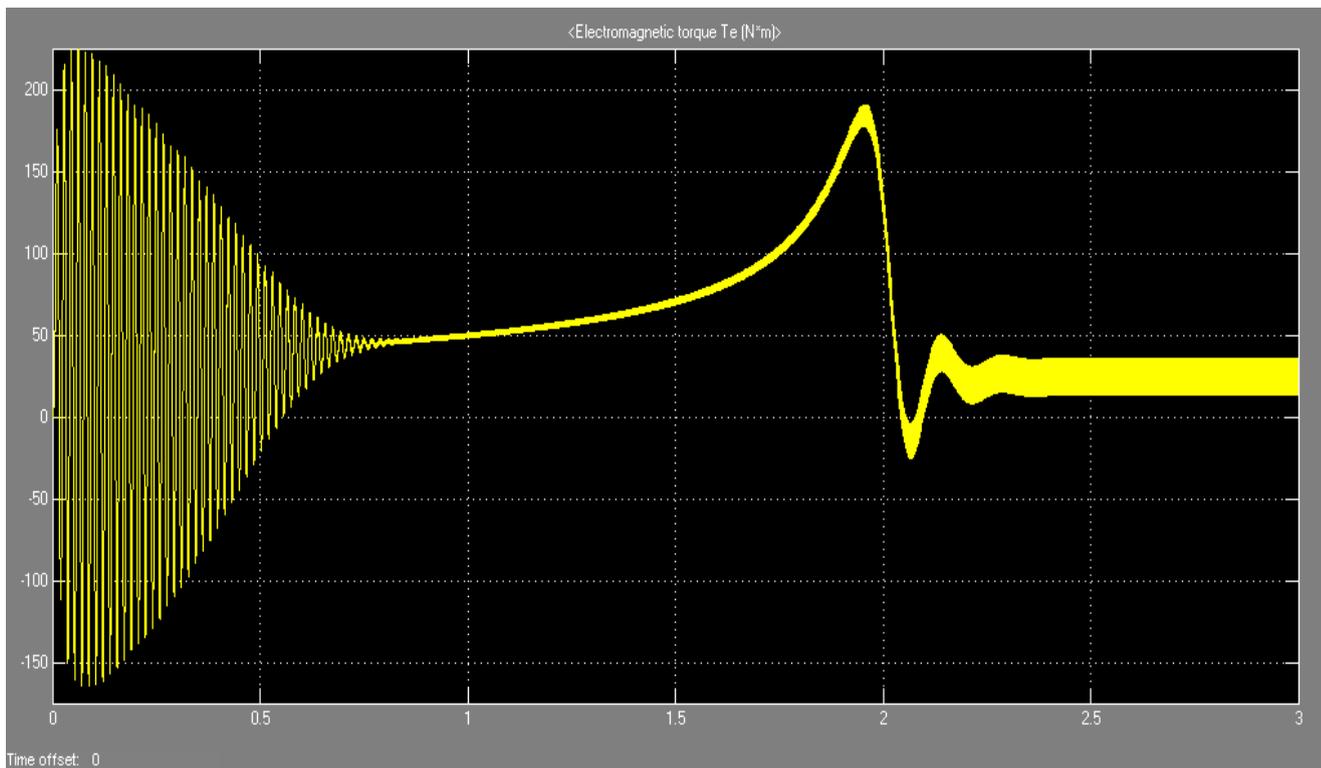


Рисунок 2.16 – График электромагнитного момента  $T_e(t)$  при частотном пуске

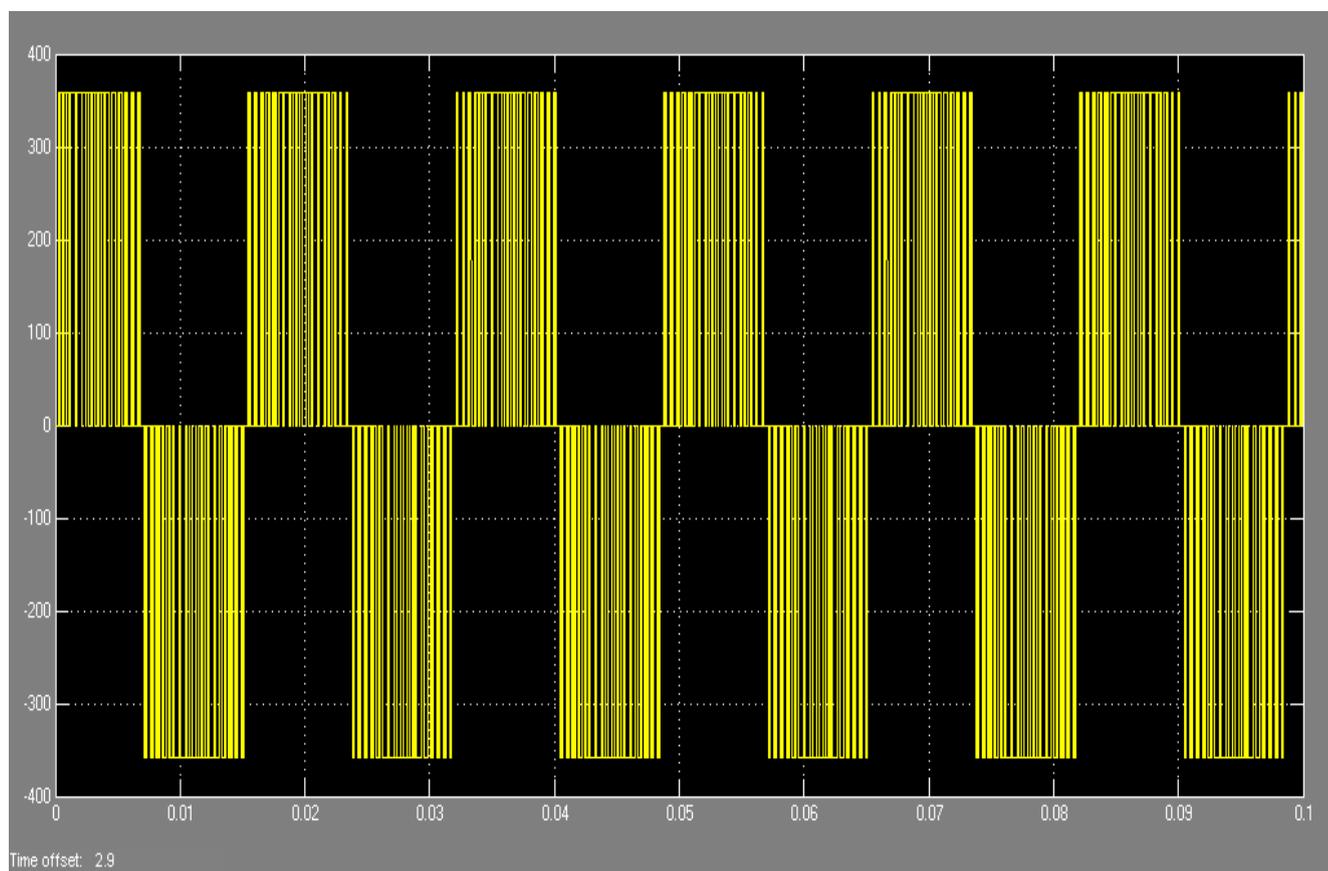


Рисунок 2.17 – Экспоненциальный закон изменения напряжения при

частотном пуске АД

в) При рассмотрении режима модели при значении момента  $M=10$  и значении частоты питающего напряжения  $f=30$  Гц. Рисунки 2.18 – 2.21

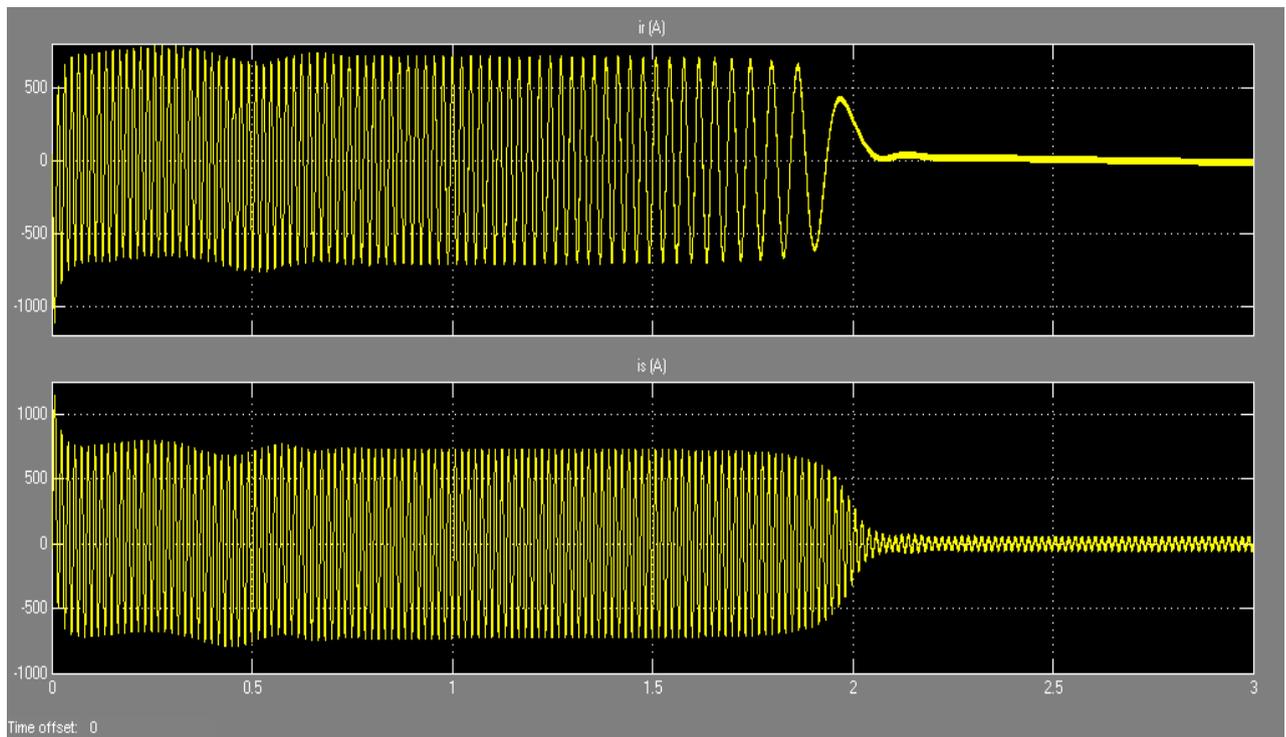


Рисунок 2.18 – Графики тока ротора  $I_r(t)$  и статора  $I_s(t)$  при частотном пуске

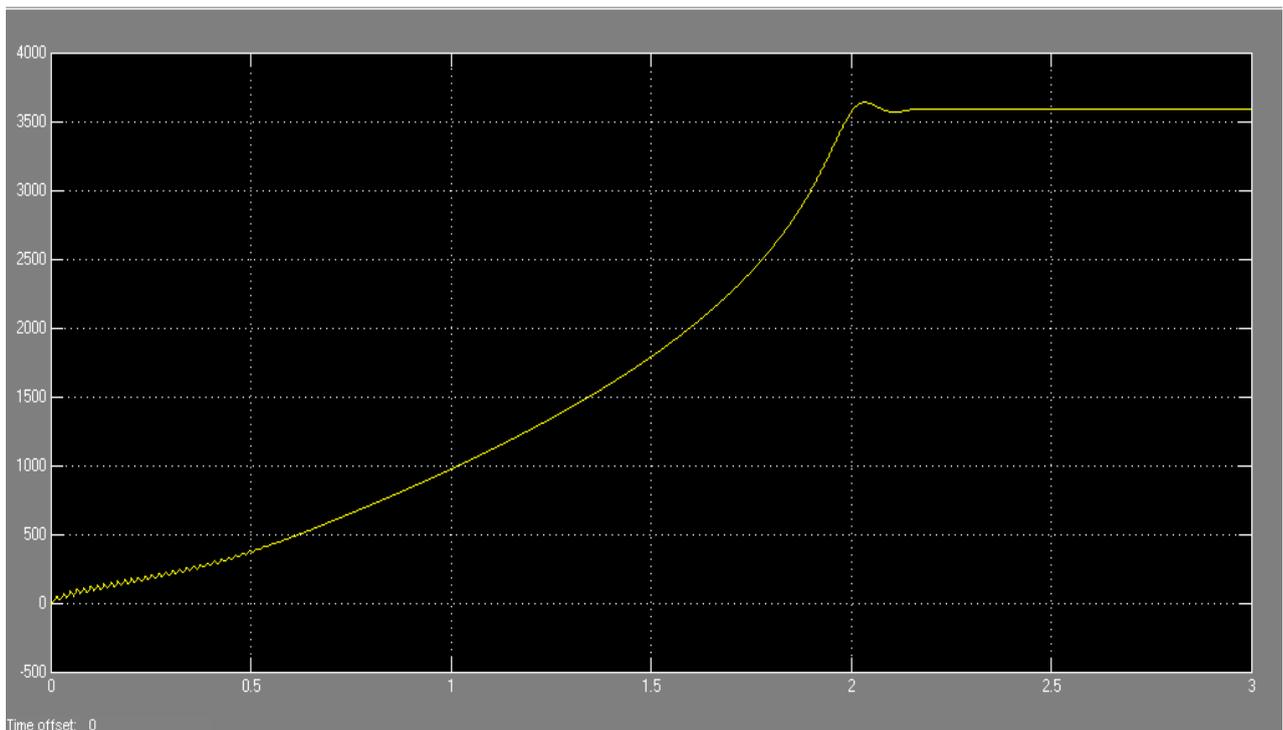


Рисунок 2.19 – График угловой скорости  $\omega(t)$  при частотном пуске

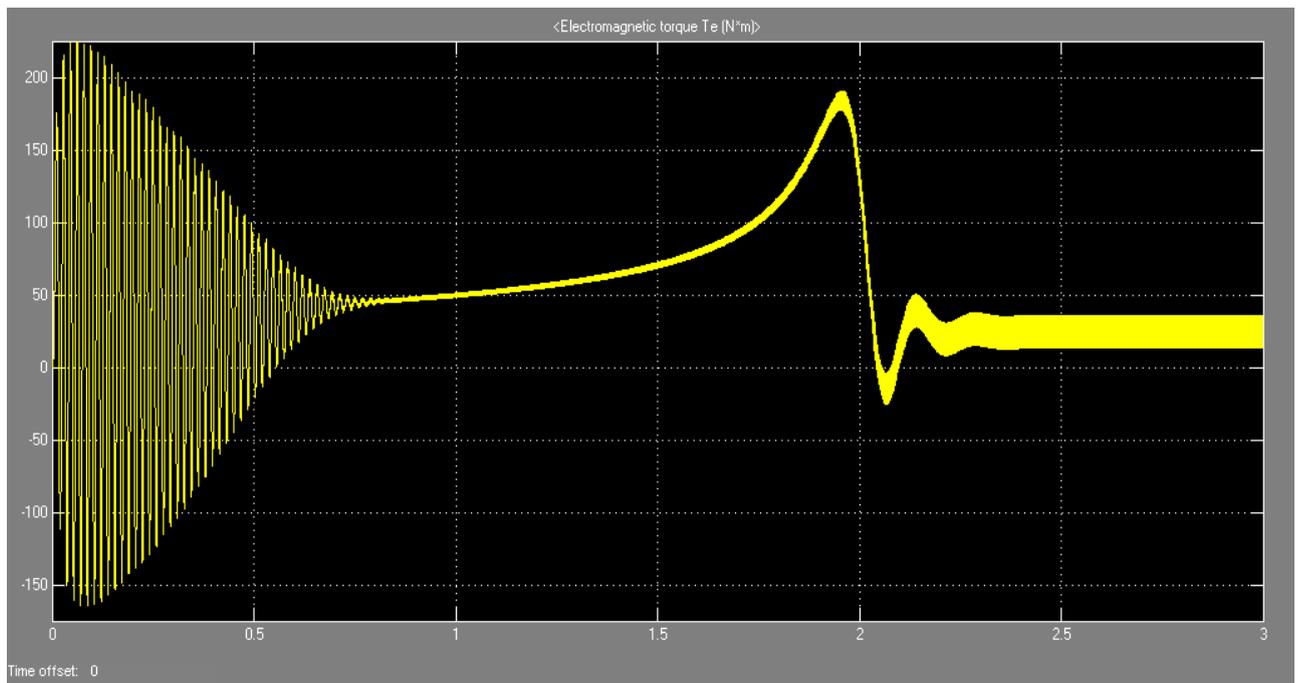


Рисунок 2.20 – График момента  $T_e(t)$  при частотном пуске

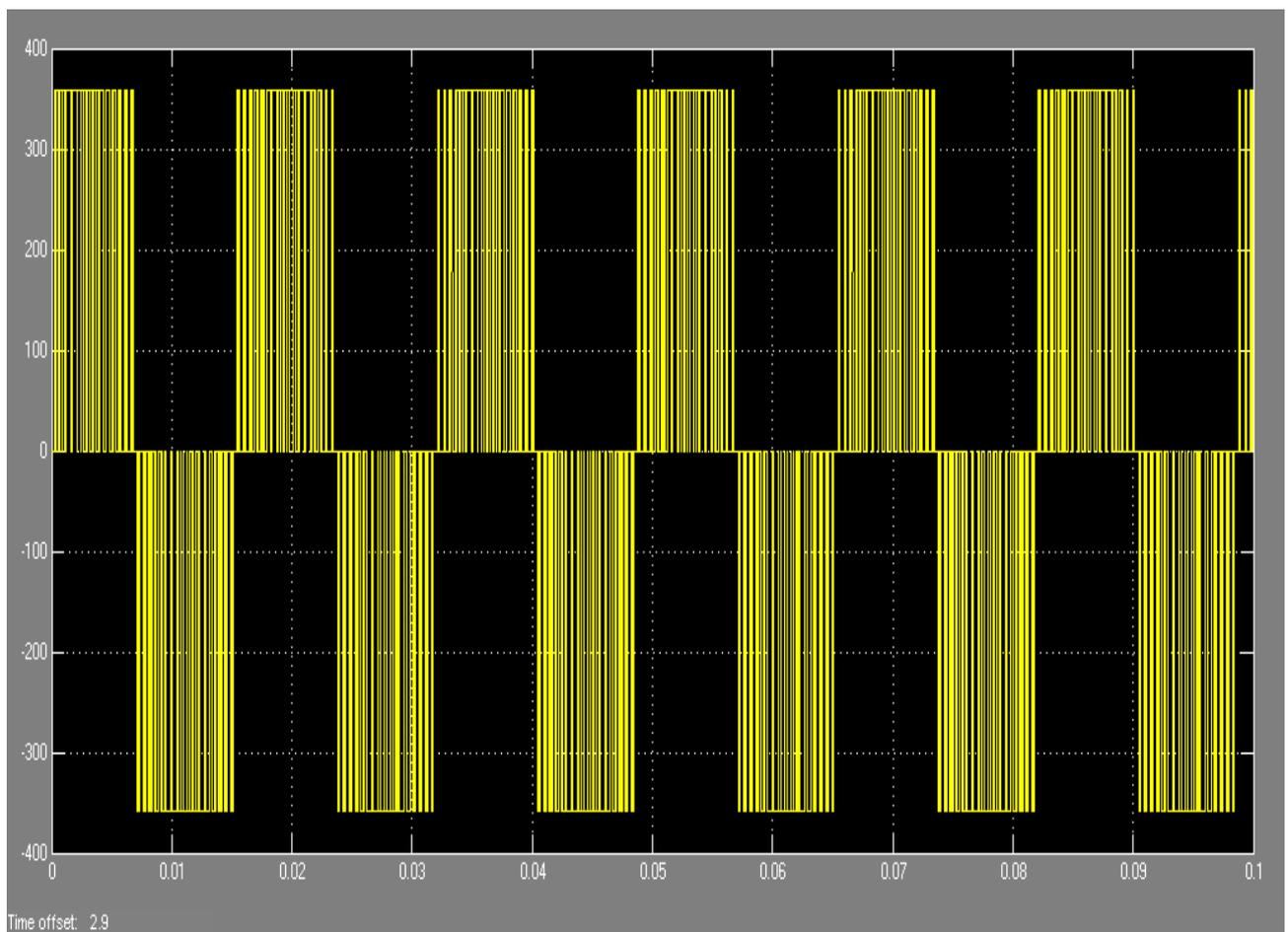


Рисунок 2.21 – Экспоненциальный закон изменения напряжения при частотном пуске АД

г) Рассматривается модель при значении момента  $M=10$  и значении частоты питающего напряжения  $f=20$  Гц. Рисунки 2.22 – 2.25

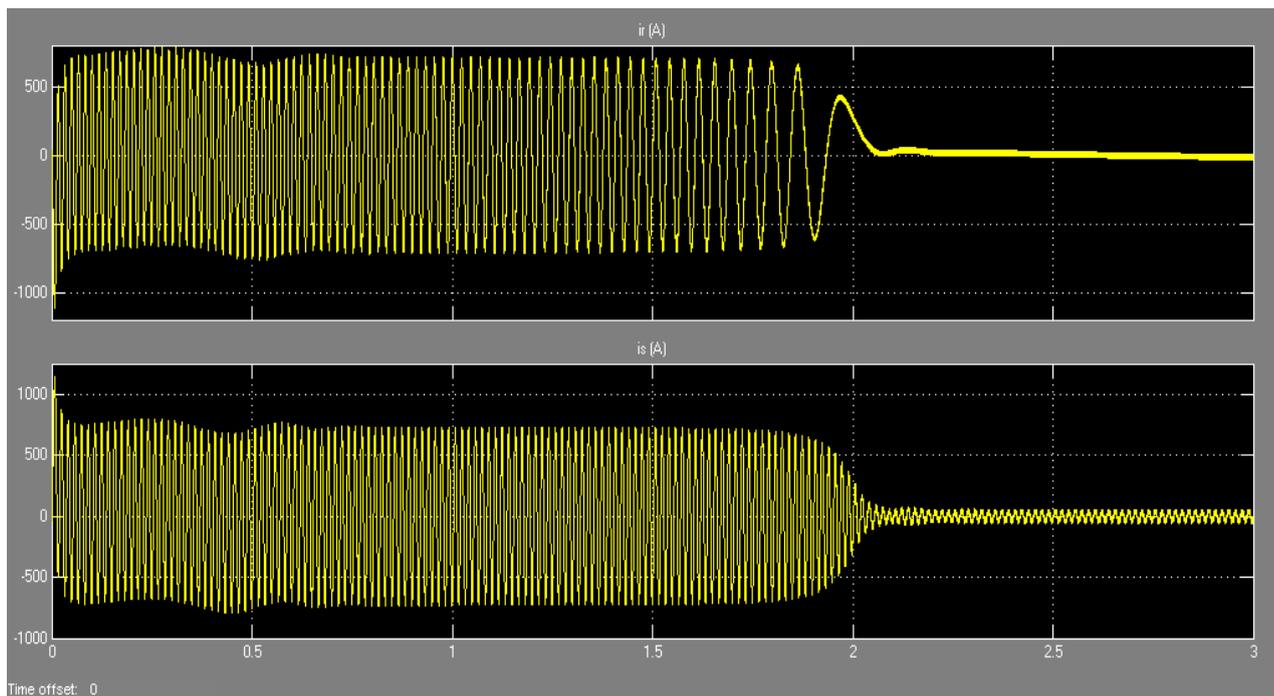


Рисунок 2.22 – Графики тока ротора  $I_r(t)$  и статора  $I_s(t)$  при частотном пуске

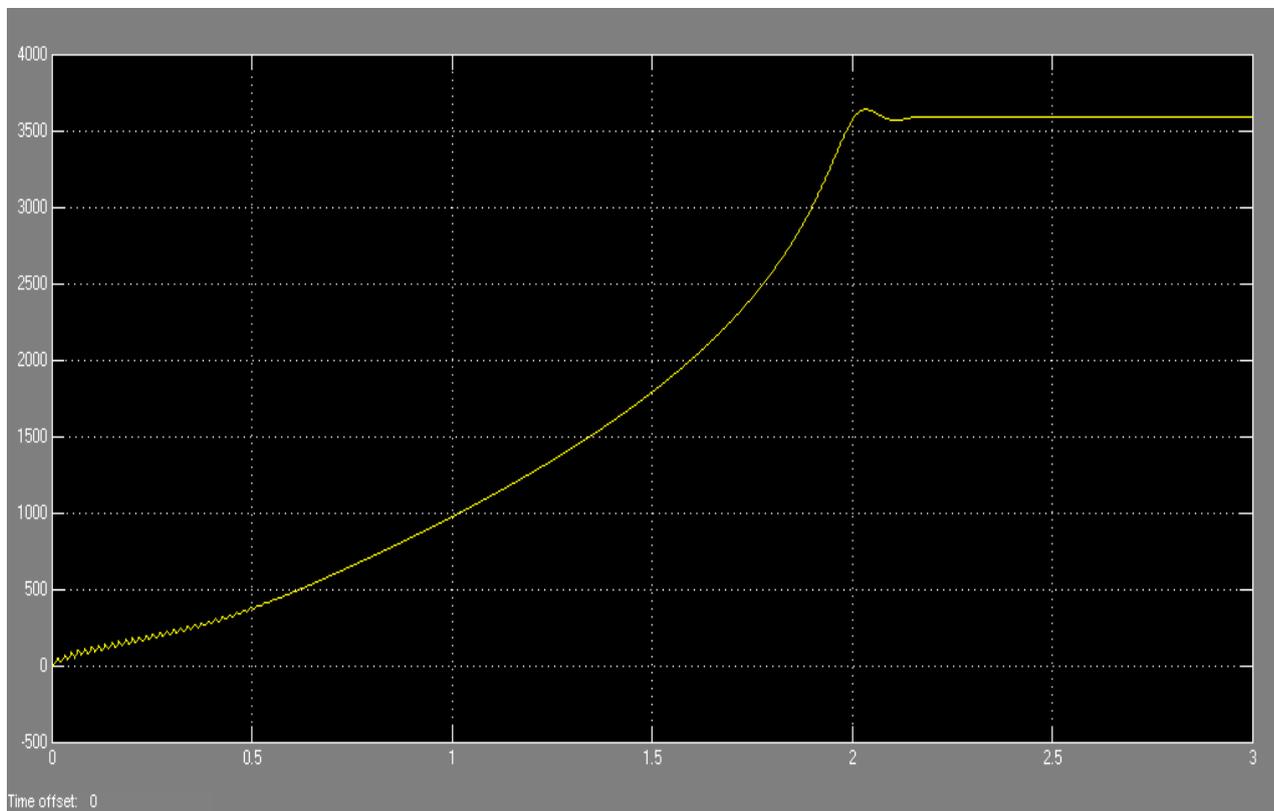


Рисунок 2.23 – График угловой скорости  $\omega(t)$  при частотном пуске

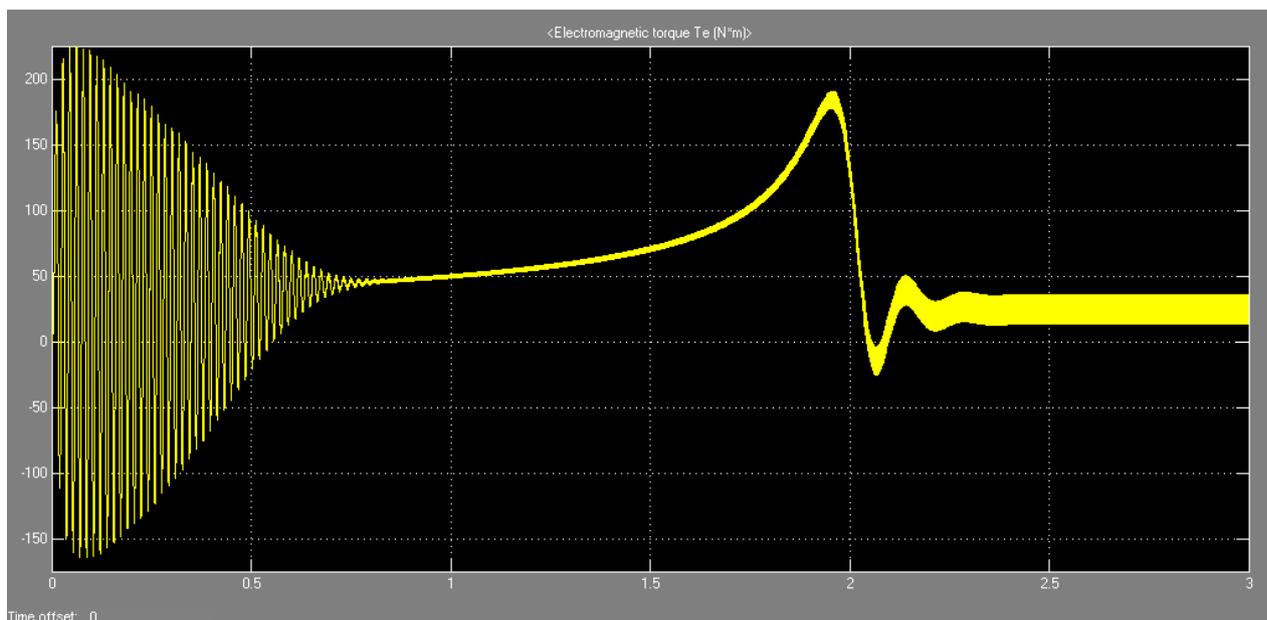


Рисунок 2.24 – График момента  $T_e(t)$  при частотном пуске

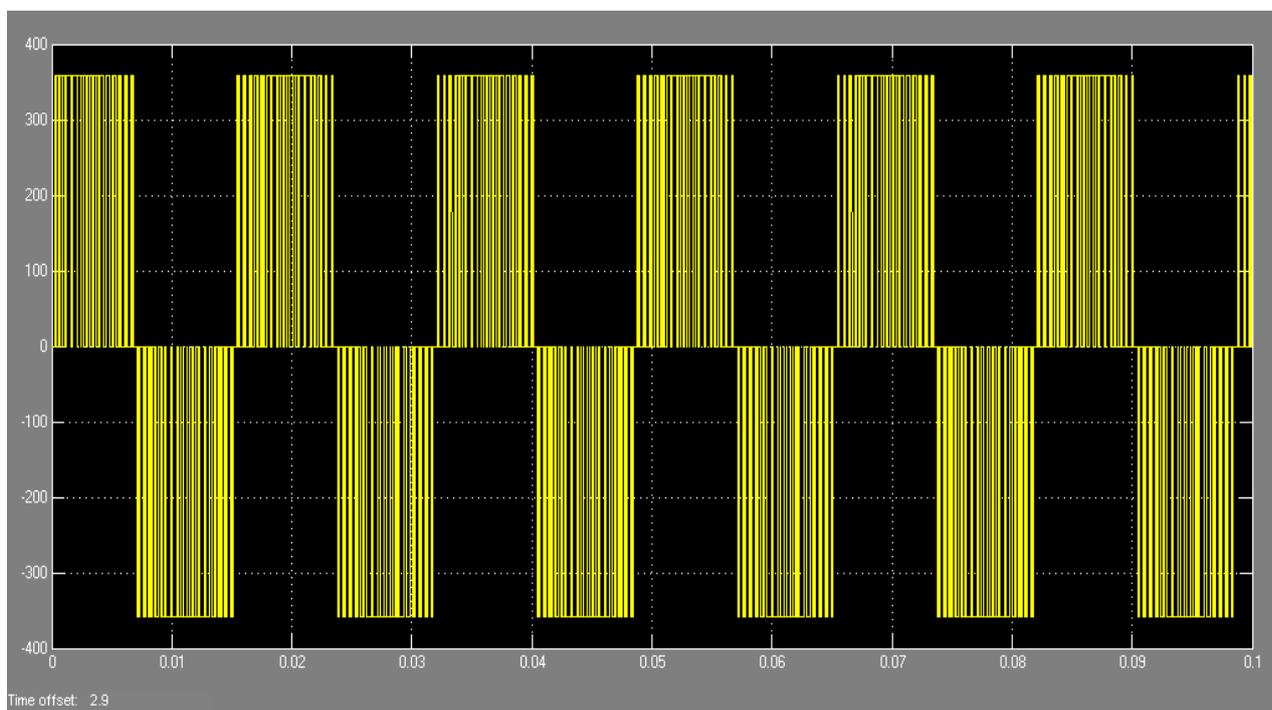


Рисунок 2.25 – Экспоненциальный закон изменения напряжения при частотном пуске АД

## 4 Безопасность жизнедеятельности

### 4.1 Анализ условий

Проблема повышения безопасности движения транспортного средства, решаемая в данной работе в результате применения на автомобиле тормозной системы, обладающей повышенными технико-эксплуатационными и

экономико-стоимостными показателями - проблема «вечная», а, следовательно, ее актуальность и значимость выражается жизнями не погибших и не изувеченных на дороге людей.

Таким образом, выше предусматривает, что исследования и разработка тормозной системы с электрическим приводом, способность интегрировать работу в сложной информационной среде автомобиля - актуально и необходимо.

Цель состоит в том, чтобы установить связи и процессы, происходящие в автомобильной тормозной системе с электрическим приводом, встроенным в мультиплексной электрической архитектуры, будет стремиться к его аппаратной реализации и создания автомобиля с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Для достижения этой цели и решены следующие задачи:

1. анализ тенденций в развитии тормозных систем и перспективы дальнейшего развития отечественных и зарубежных автомобилей, оказалось, что перспектива распределяется электромеханическую систему торможения (EMT), обеспечивая увеличенную технические и эксплуатационные характеристики;

2. исследовали электромеханические дисковые тормоза, определенные требования к каждому из его подразделений, а также внутренних и внешних отношений в ней;

3. Установлено, что протокол "жесткого" реального времени отвечает всем требованиям распределенной электромеханической тормозной системы и повысить ее эффективность в переходной плате 42В напряжения.

4. Разработанный алгоритм управления электромеханический дисковый тормоз механизм качестве одного из условий мультиплексной электрической архитектуры;

5. исследовали взаимосвязь электромеханической тормозной системы с другими системами, узлов и технических и эксплуатационных параметров автомобиля в целом, определяет требования к наиболее рациональным их конструкции;

6. Доказательство обоснованности и достоверности событий и адекватности предложенной модели;

7. Практические рекомендации по созданию электромеханической тормозной системы интегрированы в электрическую архитектуру автомобиля мультиплекса.

Методология исследования зависимостей и определить процессы, происходящие в тормозной системе, Электронная интегрированная мультиплекс архитектура, электрический, основанный на использовании методов теории распределенных мехатронных систем, теории управления, прочности материалов, теории механизмов и машин, детали машин, теория автомобиля, электрический привод и теория передачи данных.

Исследование, моделирование и решение теоретических проблем требуют использования компьютеров, как для прямых расчетов и

моделирования, а также для обработки статистической информации.

## 4.2 Расчет нагрузок в элементах тормозной системы и параметров тормозной системы.

Параметры по которым оценивают совокупность тормозных механизмов рабочей тормозной системы и тормозные механизмы отдельно:

- удельная нагрузка на тормозные накладки.
- удельная работа трения.

Удельная нагрузка на тормозные накладки:

$$P_{\max} = G_0 / \sum F_{\text{нак}}; \quad (4.1.)$$

где:  $\sum F_{\text{нак}}$  - суммарная площадь тормозных накладок рабочей системы,

$G_0$  - вес автомобиля.

Среднее значение удельной нагрузки, по статистическим данным, составляет для легковых автомобилей 10...20 Н/см<sup>2</sup> ; для грузовых автомобилей 20...40 Н/см<sup>2</sup> ; для автобусов 25..40 Н/см<sup>2</sup>

Эти данные относятся к автомобилям с барабанными тормозными механизмами.

Для автомобилей с дисковыми тормозными механизмами эти нагрузки соответственно выше.

1. Удельная работа трения:

$$g_0 = A / \sum F_{\max}, \quad (4.2.)$$

где:  $A = m_0 V^2 / 2$  – кинетическая энергия автомобиля при максимальной скорости начала торможения, считая, что она полностью поглощается тормозными механизмами.

Среднее значение удельной работы:

- для легковых автомобилей – 1...2 Дж/см<sup>2</sup> .(большее значение для дисковых тормозных механизмов).

- Для грузовых автомобилей и автобусов – 0,6...0,8 Дж/см<sup>2</sup> .

От удельной работы зависит износ и нагрев элементов тормозного механизма: тормозного барабана (диска) и тормозных накладок.

Для уменьшения удельной работы необходимо увеличить площадь тормозных накладок и соответственно ширину тормозных барабанов и их диаметр.

При увеличении размеров тормозного барабана является увеличение охлаждающей поверхности, что благоприятно сказывается на режиме торможения.

Это объясняет, в последнее время тенденция увеличения размера колес

автомобилей (особенно автомобилей), чтобы иметь возможность приспособить увеличен размер тормозных барабанов.

Нагрев тормозного барабана (диска) за одно торможение:

$$T = m'_0 V^2 / 2 m_6 C, \quad (4.3)$$

где:  $m'_0$  – масса автомобиля, приходящаяся на тормозящее колесо

$m_6$  – масса тормозного барабана

$C \approx 500$  Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость чугуна или стали.

По требованиям к тормозным механизмам нагрев тормозного диска за одно торможение не должен превышать  $20^\circ\text{C}$ .

Экспериментально мы получили следующие данные: расстояние между остановками, общее время движения между остановками (проезд тралений), время разгона до постоянной скоростью, в то время как тяга, время остановки, время торможения на более низкую скорость при движении на низкой скорости, при торможении в полной остановки, и время, потраченное на посадку и посадки пассажиров.

Рассчитаем статическую силу для передвижения по горизонтальному участку дороги:

$$F_c = \frac{m * g * (\mu * r + f)}{R_k}, \quad (4.4)$$

где  $m$  – полная масса  $m=1500$  кг;

$\mu$  – коэффициент трения скольжения в подшипниках ступицы (для подшипников качения  $\mu=0,015$ );

$r$  – радиус ступицы ходового колеса  $r=110$  мм;

$f$  – коэффициент трения качения ходовых колес; принимаем движение по асфальтированному шоссе  $f=0,014$ ;

$R_k$  – радиус ходового колеса  $R_k=447$  мм.

Таким образом статическая сила для передвижения по горизонтальному участку будет равна:

$$F_c = \frac{1500 * 9,81 * (0,015 * 0,11 + 0,014)}{0,447} = 9788,602 \text{ Н};$$

При отношении тормозного пути, нужно учитывать следующие параметры, время реакции водителя, состояние дорожного полотна, освещение.

Произведем расчет статических моментов механизма.

Статический момент механизма при работе в двигательном режиме

находим по формуле:

$$M_{c, \partial} = \frac{F_c * R_k}{j * \eta}; \quad (4.5)$$

где:  $j$  – передаточное число ведущего моста;  
 $j=5,78$ ;  
 $\eta$  – КПД трансмиссии а;  
 $\eta=0,9$ .

$$M_{c, \partial} = \frac{9788,602 * 0,447}{5,78 * 0,9} = 841,1198 \text{ Н*м.}$$

На рисунке 4.1 изображено отношение тормозного пути к скорости автомобиля.

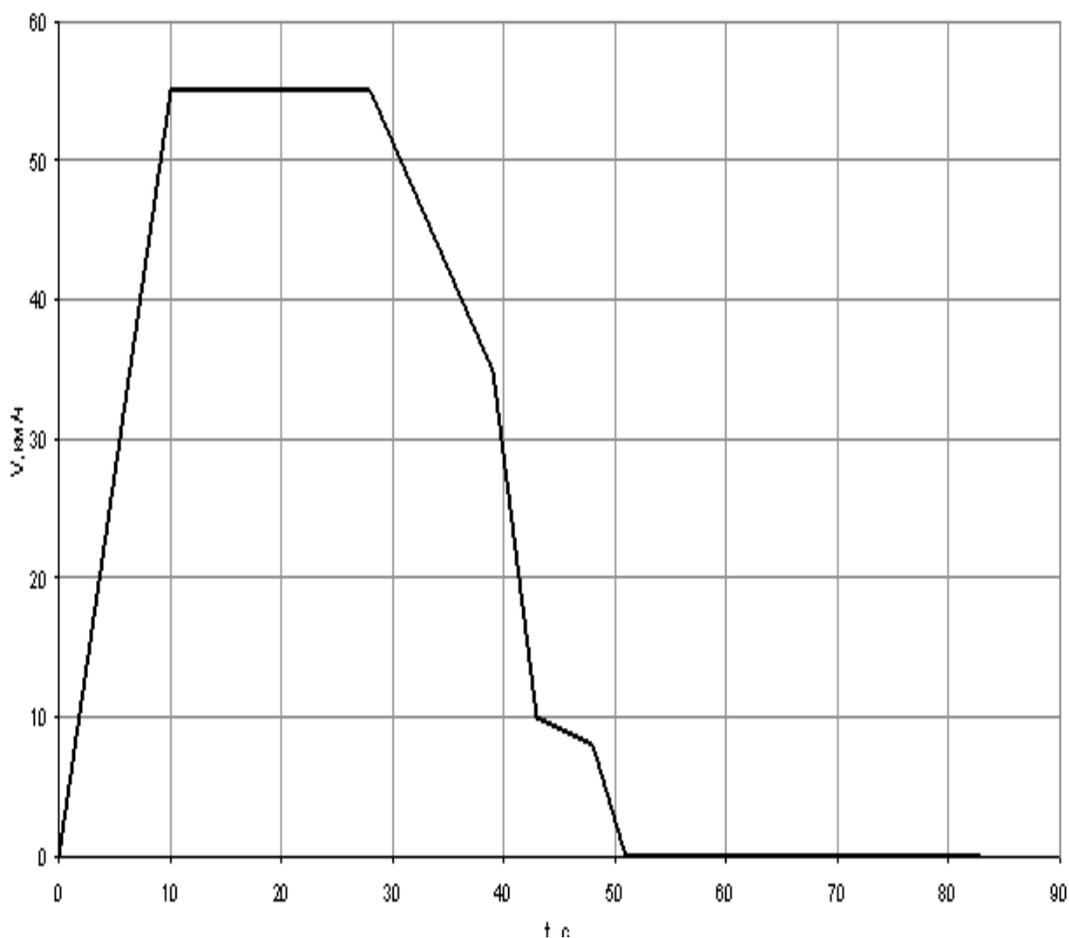


Рисунок 4.1 - Скоростная диаграмма

Произведем расчет статических моментов механизма.

Статический момент механизма при работе в двигательном режиме находим по формуле:

$$M_{c,\partial} = \frac{F_c * R_k}{j * \eta}; \quad (4.5)$$

где  $j$  – передаточное число ведущего моста;  
 $j=5,78$ ;  
 $\eta$  – КПД трансмиссии а;  
 $\eta=0,9$ ;

$$M_{c,\partial} = \frac{9788,602 * 0,447}{5,78 * 0,9} = 841,1198 \text{ Н*м.}$$

Статический момент механизма при работе в тормозном режиме находим по формуле:

$$M_{c,m} = \frac{F_c * R_k}{j} * \eta = \frac{9788,602 * 0,447}{5,78} * 0,9 = 681,307 \text{ Н*м.}$$

По рассчитанным значениям статических моментов построим диаграмму нагрузки механизма  $M_c=f(t)$  для первого перегона. Данная диаграмма показана на рисунке 4.2.

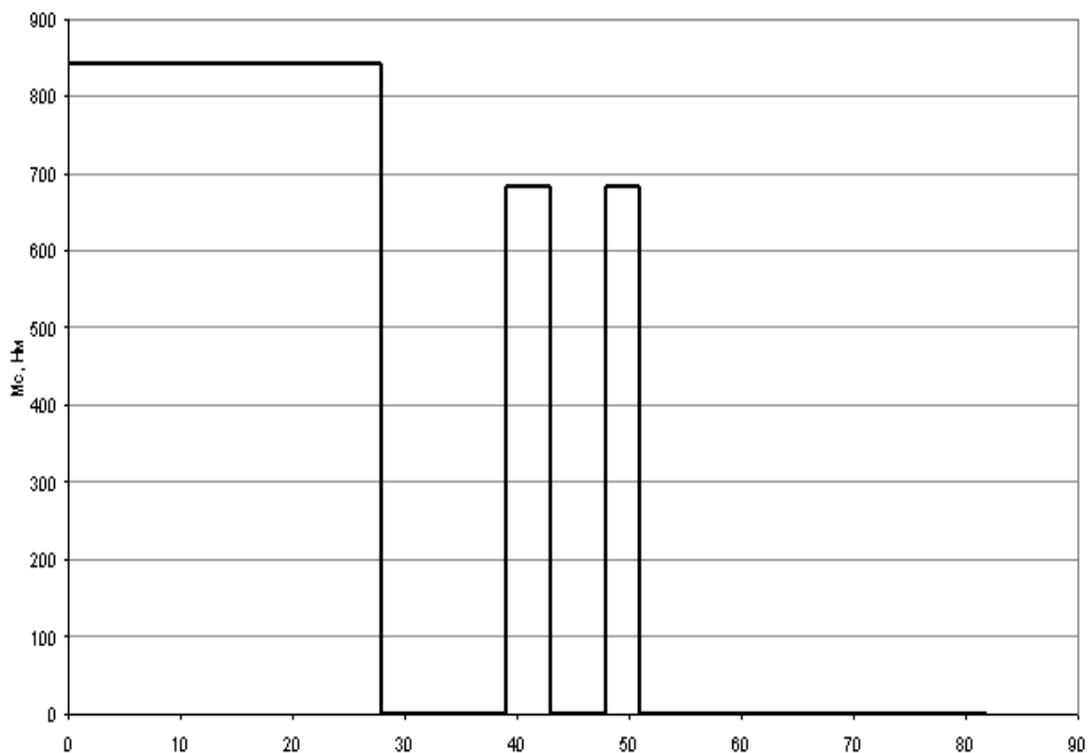


Рисунок 4.2- Диаграмма нагрузки механизма  $M_c=f(t)$   
 Рассчитаем эквивалентный статический момент механизма:

$$M_{c,\vartheta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{c,i}^2 * t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} ; \quad (4.6)$$

где:  $M_{c,i}$  – статический момент на  $i$ -ом интервале времени;  
 $t_i$  – интервал времени  $i$ -го участка.

Таким образом эквивалентный статический механизма момент будет равен:

$$M_{c,\vartheta} = \sqrt{\frac{841,1198^2 * 28 + 681.307^2 * 4 + 681.307^2 * 3}{28 + 4 + 3}} = 818.2404 \text{ Н*м.}$$

Найдем необходимую угловую скорость двигателя:

$$\omega = \frac{\vartheta}{R_k} * j ; \quad (4.6)$$

где:  $v$  – установившаяся скорость движения  $v=15,3$  м/с;  
угловая скорость будет равна:

$$\omega = \frac{15,3}{0,447} * 5,78 = 197,8389 \text{ рад/с.}$$

Рассчитаем требуемую частоту вращения двигателя:

$$n = \frac{\omega * 30}{\pi} = \frac{197.8389 * 30}{\pi} = 1889.2 \text{ об/мин.}$$

Найдем расчетную эквивалентную мощность на валу двигателя по которой будем производить выбор тягового электродвигателя.

$$P_{c,\vartheta} = M_{c,\vartheta} * \omega = 818,2404 * 197,8389 = 161879,8 \text{ Вт.}$$

Рассчитаем момент инерции механизма приведенный к валу двигателя:

$$J_M = m * \rho^2 ; \quad (4.7)$$

где  $m$  – полная масса;

$\rho$  – радиус приведения

$$\rho = \frac{g}{\omega} = \frac{15,3}{197,8389} = 0,0773 \text{ м}; \quad (4.8)$$

тогда момент инерции будет равен:

$$J_M = 1500 * 0,0773 = 170 \text{ кг*м}^2.$$

Определим угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{a}{\rho};$$

где  $a$  – ускорение при разгоне  $a = 1.53 \text{ м/с}^2$ ,  
получаем:

$$\varepsilon = \frac{1,53}{0,0773} = 19,78 \text{ рад/с}^2.$$

Рассчитаем динамический момент двигателя:

$$M_d = J_M * \varepsilon = 170 * 19,78 = 3362,6 \text{ Н*м}. \quad (4.9)$$

Найдем момент двигателя при разгоне до установившегося значения скорости:

$$M_1 = M_{c, д} + M_d; \quad (4.10)$$

где  $M_{c, д}$  – статический момент в двигательном режиме.

$$M_1 = 841,1198 + 3362,6 = 4203,72 \text{ Н*м}.$$

В режиме тяги момент двигателя будет равен статическому моменту в двигательном режиме:

$$M_2 = M_{c, д} = 4203,72 \text{ Н*м}.$$

При торможении до пониженной скорости момент на валу двигателя будет равен:

$$M_3 = M_{c, т} - M_d; \quad (4.11)$$

где  $M_{c, т}$  – статический момент в тормозном режиме;

$$M_3 = 681,307 - 3362,6 = -2681,29 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

При торможении до полной остановки момент двигателя будет равен:

$$M_4 = M_{c, \tau} - M_d = 681,307 - 3362,6 = -2681,29 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По полученным значениям моментов строится нагрузочная диаграмма двигателя  $M=f(t)$  для данного перегона (рисунок 4.3).

Для остальных участков цикла (перегонов) моменты двигателя рассчитываются аналогично по тем же формулам и строятся нагрузочные диаграммы тормозного момента.

Следует что по формуле:

$$T_n = \frac{m_a (v_1^2 - v_2^2)}{8m_0 c} = \frac{1550(16.7^2 - 0^2)}{4.5 * 500 * 8} = 30.2 \text{ с}$$

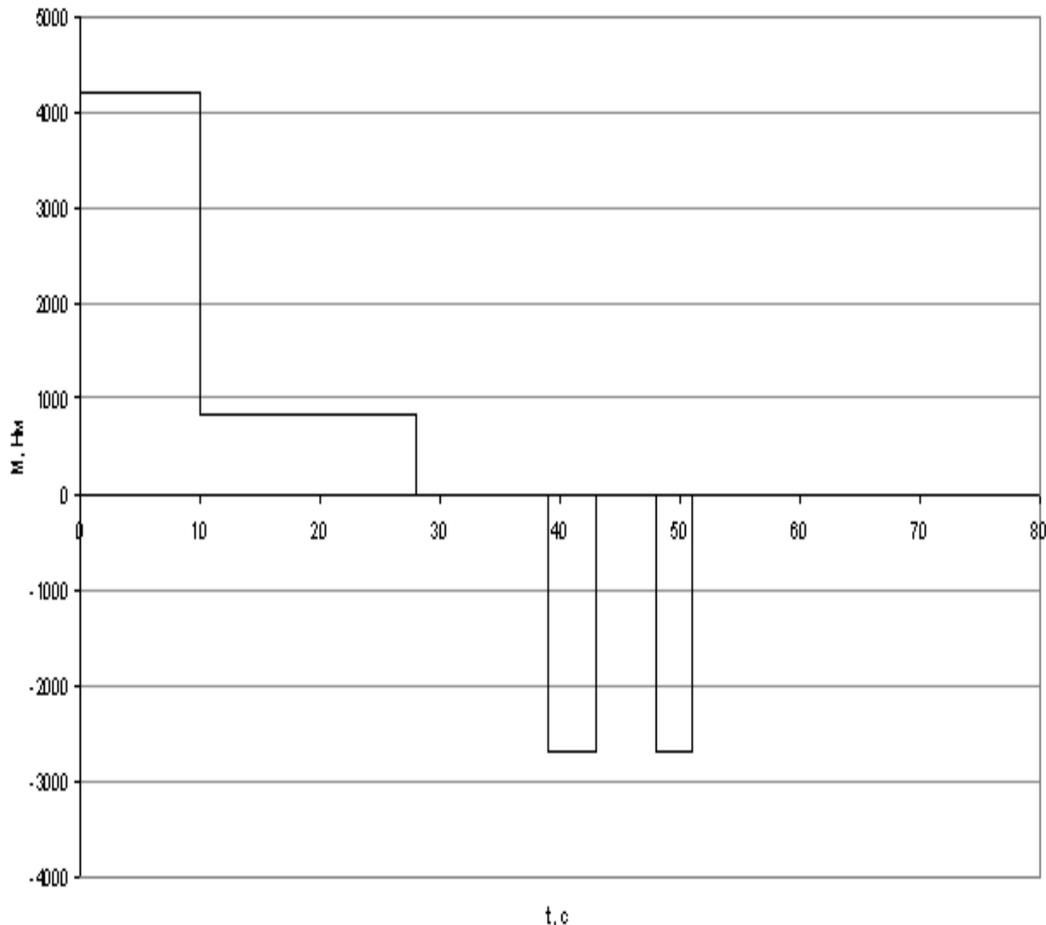


Рисунок 4.3 - Нагрузочная диаграмма двигателя  $M=f(t)$

Так как  $m_a/F_{\Sigma} = 1.4 * 10^4 \text{ кг/м}^2$  найдем площадь всех тормозных колодок автомобиля.

$$F_{\Sigma} = m_a / 1.4 \cdot 10^4 = 1550 / 1.4 \cdot 10^4 = 0,11 \text{ м}^2$$

Найду площадь 1 колодки, длину барабана, длину охвата колодки и ширину колодки соответственно.

$$F_{1\text{колодки}} = F_{\Sigma} / 8 = 0,11 / 8 = 0,0125 \text{ м}^2.$$

$$L_{\text{барабана}} = 2\pi r_6 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 = 0,95 \text{ м}.$$

$$L_{1\text{колодки}} = L_{\text{барабана}} \cdot \alpha / 360^\circ = 0,95 \cdot 120 / 360 = 0,32 \text{ м}.$$

$$d = F_{1\text{колодки}} / L_{1\text{колодки}} = 0,0125 / 0,32 = 0,04 \text{ м}.$$

### 4.3. Расчет остановочного пути

При расчете тормозного пути нужно учитывать начальную скорость автомобиля, и время реакции водителя, а так же ускорение замедления, установившиеся ускорение:

$$S_o = S_t + v_o \cdot t; \quad (4.12)$$

где  $S_t$  - тормозной путь;  
 $v_o$  - начальная скорость автомобиля;  
 $t_{рв}$  - время реакции водителя.

Расчет тормозного пути:

$$S_t = (v_o^2 - v_{о\text{вс}}^2) / (2 \cdot j_3) + (v_{о\text{вс}}^2 - v_k^2) / (2 \cdot j_{\text{вс}}); \quad (4.13)$$

где  $v_{о\text{вс}}$  - начальная установившееся скорость;  
 $j_3$  - ускорение замедления;  
 $j_{\text{вс}}$  - установившееся ускорение.

Ускорение замедления:

$$j_3 = g \cdot \psi + \frac{P_a}{m_a \cdot g} = 9,8 \cdot 0,7 + \frac{825}{1550 \cdot 9,8} = 6,915 \text{ м/с}^2$$

где:  $\psi$  - коэффициент сцепления с дорогой;  
 $P_a$  - нагрузка на заднюю ось автомобиля;  
 $m_a$  - масса автомобиля.

Начальная установившаяся скорость определяется по формуле которая представлена ниже:

$$v_{о\text{вс}} = v_o - j_3 \cdot (t_3 + 0,5 \cdot t_H) = 8,3 - 6,915 \cdot (0,2 + 0,5 \cdot 0,1) = 6,5772 \text{ м/с};$$

где:  $t_3$  - время запаздывания;  
 $t_H$  - время нарастания замедления.

$$S_t = (8,3^2 + 6,5772^2)/(2 \cdot 6,915) + (6,5772^2 + 0)/(2 \cdot 6,8) = 11,79 м.$$

$$S_o = 11,79 + 8,3 \cdot 0,4 = 14,61 м.$$

## **5 Экономическая часть**

### **5.1 Технико-экономическое обоснование использования электродвигателя с системой управления «Преобразователь частоты» на легковом автомобиле**

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным двигателем может заменить двигатель постоянного тока. Двигатель системы контроля скорости постоянного тока достаточно просты, но слабым местом электропривода является двигатель. На работе есть искрение щеток, под действием электро-коллектор приходит в негодность. Этот двигатель не может быть использован в пыльных и взрывоопасных средах. Асинхронные двигатели имеют преимущества по сравнению с двигателями постоянного тока во многих отношениях: они проще и надежнее устройство, так как оно не имеет подвижных контактов. Они меньше по сравнению с ДС размера двигателя, вес и стоимость при той же мощности. Асинхронные двигатели просты в изготовлении и использовании.

Основной трудностью системы управления электродвигателями – невозможность регулирования их скорости обычными методами (путем изменения напряжения питания, дополнительными резисторами в цепи обмоток)

Теория управления двигателем в частотном режиме, до недавнего времени, не было большой проблемой, хотя теория управления частотой была разработана в тридцатых годах. Развитие системы управления с регулируемой частотой вращения препятствует - высокая стоимость преобразователей частоты. Появление силовых цепей с IGBT-транзисторов, разработка микропроцессорных систем управления высокопроизводительными позволило различным фирмам в Европе, США и Японии, чтобы создать современные преобразователи частоты доступной цене.

Известно, что регулирование скорости вращения исполнительных механизмов могут быть выполнены с использованием различных устройств: механические вариаторы, гидравлические муфты, дополнительно вводят в статор или ротор резисторами электромеханический преобразователь частоты преобразователи статические частоты.

В дипломной работе рассматривается проектирование электромобиля,

посредством внедрения индивидуального электропривода с системой управления «Преобразователь Частоты – Асинхронный двигатель».

Для сравнения легковой автомобиль данный прототип дипломного проекта. Сравним асинхронный двигатель 1PV5135-4WS14 и преобразователь частоты 6SE6440-2UD38-8FA1 (37 кВт X 380 В) MICROMASTER 440 фирмы Siemens.

Применение силовой установки на основе электропривода может повлиять на решение повышения экологической безопасности. Основным недостатком более широкого внедрения массового выпуска электромобилей является несовершенная система источника энергии который использует электропривод. При поиске технологий развития источника энергии требует больших материальных и финансовых затрат, при малой отдаче. В наше время ведется поиск решений для реализации новых видов энергии и новых автомобильных силовых установок.

В этой ситуации потребность в новых экономических механизмов стимулирования их практической реализации. Достигнутые результаты ведущих зарубежных фирм позволило решить концептуальные технические проблемы электропривода. Достоверная информация, материальные и финансовые затраты представляют собой стратегические бизнес-секреты. Там пришло важное коммерческое этап практической реализации электропривода, связанного с переходом от метода затрат к механизму финансирования, по центру возврата инвестиций.

Промышленность и крупные частные компании проявляют повышенный интерес к фундаментальным разработкам в автомобильной промышленности, значительно повысить конкурентоспособность электропривода на автомобильном транспорте.

Широкое внедрение электропривода на АО, который имеет стратегическое значение для современного индустриального социального развития предполагает высокий уровень финансовых и материальных затрат индивидуального потребителя высокотехнологичной продукции.

Актуальной задачей на данном этапе является разработка метода оценки социально-экономической и экологической эффективности результатов использования электрического автомобильного транспорта.

Для сравнения используем прототип установки с системой управления Тиристорный Преобразователь напряжения – Двигатель Постоянного Тока» и «Преобразователь Частоты – Асинхронный двигатель». ДПТ - ДК-210А-3 и тиристорный преобразователь ПТП-150-600-0.

Сравниваем предлагаемые версии модернизации на базе метода минимума предельных затрат :

$$P_3 = I + E \cdot K, \quad (5.4)$$

где  $I$  – эксплуатационные издержки,  $K$  – капитальные вложения,  $E$  – нормативный коэффициент эффективности ( $E=0,15$ ) или нормированная

ставка дисконтирования. Которая показывает насколько рентабелен проект для предпринимателя.

### 5.1.2 Расчет капитальных затрат

Капитальные затраты – это список затрат на изменение узлов и агрегатов (модернизация) и реконструкцию основных активов предприятия, при которых достигается экономический эффект в виде экономии средств, мощность или качество использования. При этом экономический эффект может обосновываться только затратами предприятия, тогда данную ставку дисконтирования считают по эксплуатационным затратам. Расчет капитальных вложений рассматривается в таблицах 5.1-5.2.

Таблица 5.1 – Затраты прежней первой версии модернизации

Название оборудования	Количество	Стоимость, тыс. тенге
Двигатель ДК-210А-3,	1	1410,4
Тиристорный преобразователь ПТП-150-600-0	1	100
Итого по оборудованию, тыс. тенге		1510,4
Итого по капитальным затратам, тыс. тенге		1510,4

Таблица 5.2 – Затраты новой второй версии модернизации

Название оборудования	Количество	Стоимость, тыс. тенге
Двигатель Siemens 1PV5135-4WS14, 37кВт	1	1000
Частотный преобразователь	1	130
Итого по оборудованию, тыс. тенге		1130
Итого по капитальным затратам, тыс. тенге		1130

### 5.1.3 Расчет амортизационных отчислений.

Норма годовых амортизационных отчислений каждого из вариантов вычисляются по формуле:

$$Ca = \frac{Na \cdot K}{100}, \quad (5.5)$$

где  $N_a$  – норма амортизационных отчислений;

$K$  – стоимость объекта в денежном измерении.

Принимаем усредненную норму амортизационных отчислений равную 8%

Тогда амортизационные отчисления по первому варианту:

$$Ca1 = \frac{Na \cdot K}{100} = \frac{8 \cdot 1\,510\,400}{100} = 120\,832 \text{ тенге,}$$

по второму варианту:

$$Ca2 = \frac{Na \cdot K}{100} = \frac{8 \cdot 1\,130\,000}{100} = 90\,400 \text{ тенге.}$$

#### 5.1.4 Затраты на текущий ремонт.

Для обеспечения безотказной работы автомобиля служит система планово-предупредительного ремонта (ППР). Это связано с тем, что преждевременный износ деталей и электрических частей выше допустимого может привести к случайным повреждениям. Таким образом, основной задачей обслуживания электрооборудования должен держаться его в постоянном рабочем состоянии.

Планово – предупредительный ремонт – это периодическое обслуживание электроавтомобиля и проведение планового технического осмотра. Данный ремонт состоит из капитального и текущего ремонта электроавтомобиля.

Текущий ремонт представляет из себя минимальное техническое обслуживание которое необходимо при плановом ремонте.

При текущем ремонте электродвигателя очищают узлы и агрегаты от грязи и пыли, заменяют или делают восстановление отдельных частей установки, делают диагностику оборудования, восстанавливают поврежденную электрическую проводку, заменяют пришедшие в негодность контакты и т.д.

Минимальные затраты на ремонт электрооборудования вычисляется из:

- заработной платы рабочих с учетом ремонтосложности оборудования;
- стоимости узлов и агрегатов;
- дополнительная премиальная часть заработной платы;
- затраты на дополнительные материалы
- прочие затраты.

Затраты на починку электрооборудования представлены в таблицах 5.3 – 5.4

Таблица 5.3 – График ремонтосложности в первом варианте

Название оборудования	Количество, шт	Трудоемкость, чел. час
Двигатель постоянного тока	1	19
Гирсторный преобразователь	1	5
Общая трудоемкость		89
Примечание – Принятые величины трудоемкости взяты из учебных справочников		

Таблица 5.4 – График ремонтосложности во втором варианте

Название оборудования	Количество, шт	Трудоемкость, чел. час
Асинхронный двигатель	1	16
Преобразователь частоты	1	4
Общая трудоемкость		105
Примечание – Принятые величины трудоемкости взяты из учебных справочников		

Плату за сервисный ремонт рассчитывается, используя трудоемкость ремонтов и почасовую ставку ремонтника, 500 тенге/час, которую можно представить по формуле:

$$C_3 = S \cdot T. \quad (5.6)$$

Тарифная заработная плата за ремонт по первому варианту:

$$C_{\text{тз}}^1 = S \cdot T_1 = 500 \cdot 89 = 44500 \text{ тенге.}$$

Тарифная заработная плата за ремонт по второму варианту:

$$C_{\text{тз}}^2 = S \cdot T_2 = 500 \cdot 105 = 52500 \text{ тенге.}$$

Дополнительную заработную плату рабочих в расчет не беру, т.к. потребитель платит за сервисный ремонт, куда включается премиальная заработная плата:

Таблица 5.5 – Анализ эксплуатационных расходов

Название затрат	Первый (традиционный) вариант	Второй(новый) вариант
Амортизация, тенге	120 832	90 400
Сервисный ремонт, тенге	57 850	68 250
Итого, тенге	178 682	158 650

Проведем вычисления приведенных затрат по двум сравниваемым версиям:

$$ПЗ1 = 178\ 682 + 0,15 \cdot 1\ 510\ 400 = 405\ 242 \text{ тенге,}$$

$$ПЗ2 = 158\ 650 + 0,15 \cdot 1\ 130\ 000 = 328\ 150 \text{ тенге.}$$

Приведенные затраты второго, то есть нового инновационного варианта, а именно, оснащенного системой управления «ПЧ-АД», является

наименьшим, поэтому он считается эффективным.

## 5.2 Экономическое обоснование выбора электродвигателя на легковом автомобиле.

### 5.1.2 Расчет капитальных затрат на установку ДВС и электродвигателя.

Для обоснования экономической эффективности инвестиционного проекта сравню: «Двигатель внутреннего сгорания(ДВС)» и «Асинхронный электропривод с частотным регулированием» аналогично прошлому методу, минимума предельных затрат. Капитальные вложения представлены в таблица (5.6) и (5.7):

Таблица 5.6 – Затраты на ДВС

Название оборудования	Стоимость , Тенге
ДВС Volkswagen Golf III 1,8л. 75 л.с. (55кВт)	839 200
Коробка автомат	100 000
Итого:	939 200

Таблица 5.7 – Затраты на электродвигатель

Название оборудования	Стоимость, Тенге
Двигатель Siemens 1PV5135-4WS14	1 000 000
АКБ	130 000
Редуктор	200 000
Итого:	1 330 000

Если результаты инвестиций различаются только текущими затратами и в расчетах не учитывается величина доходов от основной деятельности, срок окупаемости рассчитывается по формуле:

$$\text{Ток} = \frac{\Delta K}{\Delta Z_{\text{тек}}}, \quad (5.7)$$

где  $\Delta K$  – разность капиталовложений;

$\Delta Z_{\text{тек}}$  – разность текущих затрат;

### 5.2.2 Расчет амортизационных затрат.

Годовые амортизационные отчисления по каждому из вариантов вычисляются по формуле:

$$C_a = \frac{N_a \cdot K}{100}, \quad (5.8)$$

где  $N_a$  – норма амортизационных отчислений;

$K$  – стоимость объекта в денежном измерении.

Принимаем усредненную норму амортизационных отчислений равную 8%.

Она же нормированная ставка дисконта, которая показывает быстроту окупаемости проекта.

Тогда амортизационных отчисления по первому варианту (ДВС):

$$Ca1 = \frac{Na \cdot K}{100} = \frac{8 \cdot 939\,200}{100} = 75\,136 \text{ тенге,}$$

По второму варианту (электродвигатель):

$$Ca2 = \frac{Na \cdot K}{100} = \frac{8 \cdot 1\,330\,000}{100} = 106\,400 \text{ тенге.}$$

### 5.2.3 Расчет эксплуатационных затрат.

Далее рассчитаем текущие эксплуатационные затраты для обоих вариантов в них включается:

- затраты на электроэнергию, бензин,
- горюче смазочные материалы (масло, тормозная жидкость, декстрон и т.д.) для ДВС,
- сервисный ремонт.

Затраты на электроэнергию можно посчитать следующим образом, при емкости моей аккумуляторной батареи LT-LYP380-770 А·ч, можно вычислить потребляемое количество энергии в кВт·ч, при номинальном напряжении батареи 48В. Следует что, емкость полной аккумуляторной батареи в кВт ч:

$$C = c \cdot Ub,$$

где  $c$  – емкость аккумуляторной батареи в Ач;  
 $Ub$  – номинальное напряжение батареи, в В:

$$C = 770 \cdot 48 = 36,960 \text{ кВт ч.}$$

Этой энергии потребуется для зарядки одной батареи. С учетом того что в среднем в год потребитель будет проезжать 24 000км. То в нашем случае наш электромобиль потребляет 35кВтч на 160км пробега, мы получим что 1км пробега автомобиля расходует 0,22кВтч. При стоимости электроэнергии за 1кВтч = 16 тенге, мы получим, что в год мы будем тратить 5280кВтч = 84585 тенге.

ДВС Volkswagen Golf III 1,8 75 л.с. (55кВт) потребляет в среднем 8,5л.бензина на 100 км. Это 0,0085л. – 1 км пробега автомобиля на ДВС. В год машина будет тратить 2040л. бензина.

При средней стоимости бензина 130 тенге, в год расходы на бензин 265 200 тенге.

Анализ эксплуатационных расходов представлен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Анализ эксплуатационных расходов по двум вариантам

Название затрат	Первый вариант (ДВС)	Второй вариант (Электродвигатель)
Амортизация, тенге	75 136	90 400
Сервисный ремонт, тенге	57 850	68 250
Затраты на энергию, тенге	265 200	84 585
Итого:	398 168	243 235

Проведем вычисления приведенных затрат по двум сравниваемым версиям:

$$ПЗ1=398\ 168 + 0,15 \cdot 939\ 200 = 539\ 048 \text{ тенге,}$$

$$ПЗ2=243\ 235+0,15 \cdot 1\ 330\ 000= 442\ 735 \text{ тенге.}$$

Тогда срок окупаемости модернизации автомобиля:

$$\text{Ток} = \frac{1\ 330\ 000 - 939\ 200}{398\ 168 - 243\ 235} = 2.5 \text{ лет.}$$

Приведенные затраты при установке электродвигателя меньше, чем у ДВС, поэтому он более рентабелен чем ДВС.

## Заключение

В данном дипломном проекте разработана система управления асинхронного электропривода легкового автомобиля. В процессе модернизации и разработки был применен объектно-ориентированный язык программирования математических систем, программа Matlab.

Основной целью дипломного проекта была создание экономичной силовой установки для электромобилей серийного производства, которые могли быть бюджетными электромобилями среднего класса. Так же рассмотрены функциональные детали электромобиля и методы их реализации.

Основным предметом проекта является система «Преобразователь Частоты – Асинхронный Двигатель», данная система активно занимает первые места из всех систем управления электроприводов. В процессе проектирования были изучены:

- математическая - структурная схема системы управления;
- устойчивость системы управления;
- параметрический синтез.

Были построены графики описания работы системы управления.

Пункт безопасности жизнедеятельности описывает разработку тормозной системы электромобиля и дальность пути торможения.

В технико-экономической части сравниваются две разные системы управления «Преобразователь Частоты – Асинхронный Двигатель», и «Тиристорный Преобразователь – Двигатель Постоянного Тока» методом минимума предельных затрат. Этим же методом сравнили Двигатель внутреннего сгорания и электрическую силовую установку в данном проекте. Был произведен анализ и дано обоснование экономической эффективности электропривода.

## Список литературы

1. Ставров О.А. Электромобили. М. Транспорт, 1968, 102 стр.).
2. Бессекорский В.А., Пальтов И.П., Фабрикант Е.А., Федоров С.М., Чинаев П.И., Сборник задач по теории автоматического регулирования. – Фитматчиз 1963г;
3. Цыба Ю.А., Шадхин Ю.И., Тойгажинова Ж.Ж., Определение передаточной функции замкнутой системы ПЧ-АД в программном комплексе Matlab;
4. Васильев Д.В., Гунг В.Г., Система автоматического управления, М: Издательство «Высшая школа», 1967 г.
5. Алексеев Е.Р., Чесноков О.В., Matlab 7. – М: НТ пресс 2006г.
6. Башарин А.В., Постников Ю.В., Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ. – А: Ленинград отданис, 1990г.
7. Сагитов П.И., Цыба Ю.А., Шадхин Ю.И. Синтез параметров управляющего устройства двухдвигательного электропривода переменного тока. Вестник АУЭС – 2012 г.
8. Богдан Н.В., Атаманов Ю.Е., Сафонов А.И. Троллейбус. Теория, конструирование, расчет. – Мн.: Ураджай, 1999;
9. Ефремов И.С., Пролыгин А.П., Андреев Ю.М., Теория и расчет тягового привода электромобилей: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Ефремова И.С. – М.: Высш. школа, 1984. – 383 с;
10. Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/А90. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с;
11. Фираго Б.И. Учебно-методическое пособие к курсовому проектированию по теории электропривода. – Мн.: БНТУ, 2004. – 88с;
12. Байзакова А.А., Бегимбетова А.С., Дюсебаев М.К., Санатова Т.С. Охрана труда. Методические указания к выполнению лабораторных работ (для студентов всех специальностей очно-заочной формы обучения). – Алматы: АИЭС, 2004 - 44 с.;
13. Лагунов Л.Ф., Осипов Г.Л. Борьба с шумом в машиностроении. - М., Машиностроение, 1980 – 176 с.;