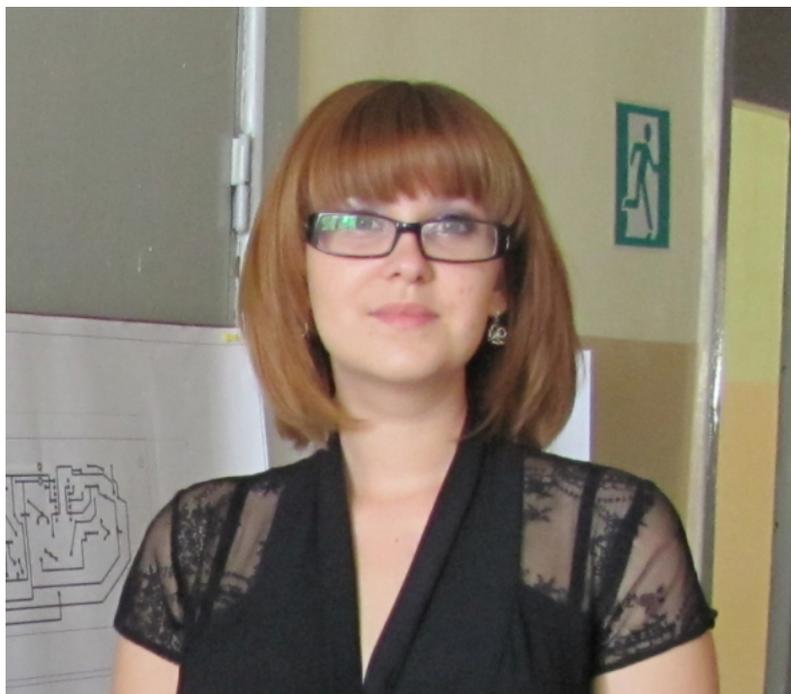


г. Тольятти, 2010г.

**Статья по материалам
дипломной работы
«Электроснабжение электромобиля»**



Автор: Брызгалова Д.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1 Анализ состояния вопроса

1.1 Историческая справка о возникновения электромобиля

1.2 История развития электромобиля в России.

2 Разработка структурной схемы электромобиля

2.1 Устройство электромобиля

2.2 Схема электромобиля

2.2.1. Электроснабжение электромобиля

2.2.2. Силовое оборудование

3 Расчет и подбор электродвигателя

4 Разработка контроллера управления электродвигателем

5 Подбор и расчет тяговой аккумуляторной батареи

6 Питание бортового и вспомогательного оборудования

7 Решение вопроса отопления электромобиля

7.1 Способы отопления салона электромобиля

7.2 Способ отопления салона электромобиля

7.3 Подбор обогревателя салона

8 Экономическое обоснование дипломного проекта

8.1 Исходные данные

8.2 Расчёт зарплаты исполнителей

8.3 Расчет затрат на основные материалы

8.4 Расчет затрат на электроэнергию

8.5 Расчет амортизационных отчислений

8.6 Расчет накладных расходов

8.7 Анализ порога прибыли инновационного проекта

8.8 Расчет показателей экономической эффективности инновационного проекта

9 Безопасность и экологичность участка изготовления печатной платы

9.1 Описание рабочего места, оборудования, выполняемых операций

9.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов разрабатываемого производственного объекта

9.3 Воздействие производственного фактора на организм человека

9.4 Организационные, технические мероприятия по созданию безопасных условий труда

9.5 Обеспечение электробезопасности на рабочем месте

9.6 Обеспечение пожарной безопасности

9.7 Расчет местной вытяжной вентиляции

9.8 Антропогенное воздействие на гидросферу

Заключение

Список используемой литературы

АННОТАЦИЯ

Целью данного дипломного проекта является разработка проекта электромобиля пригодного для реализации без значительных затрат на организацию производства, создание инфраструктуры, строительство производственных мощностей.

В дипломном проекте изучен вопрос развития электромобиля от времени его изобретения до наших дней.

Проведен анализ структуры электромобиля, анализ существующих систем управления электродвигателем электромобиля, разработаны функциональная и принципиальная электрические схемы системы управления электродвигателем, алгоритм ее работы, произведен выбор элементов электрической принципиальной схемы. Изучен вопрос выбора тяговых аккумуляторов. Предложен способ отопления салона в холодное время года.

Также произведет расчет затрат на разработку и создание инновационного проекта, рассмотрены вопросы экологичности и безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом становится всё очевиднее, что необходимость охраны окружающей среды оказывает всё большее влияние на развитие автомобильной промышленности. Мировой парк автомобилей ежегодно увеличивается на 5 – 8 % . В этих условиях всё более актуальной становится задача по устранению вреда современных автомобилей – загрязнения атмосферы отработавшими газами. Растущий уровень загрязнения воздуха больших городов очень остро поставил вопрос о разработке комплекса мер по уменьшению содержания токсичных веществ в атмосфере.

По документам опубликованным в США, загрязнение воздуха в крупных городах определяется следующими факторами (общий уровень загрязнения принят за 100%):

- автомобили 60 %
- промышленность 19 %
- электростанции 12 %
- бытовые установки 6 %
- сжигание мусора 3 %.

Из этого следует, что основная часть выбросов токсичных веществ в атмосферу приходится на автомобильный транспорт. Это обуславливает предъявление к автомобильной промышленности требований по снижению уровня выделения токсичных веществ при работе автомобиля. Решение этой проблемы идёт по двум направлениям:

Первое: предусматривает применение нейтрализаторов и фильтров в системах выброса газа, причём силовые установки автомобиля почти не изменяются. Однако до сего времени не удалось создать простые, дешёвые, долговечные и эффективно действующие системы, обеспечивающие очистку отработавших газов по всем вредным компонентам. И существует мнение что создать безвредный двигатель, который бы соответствовал указанным выше требованиям, едва ли удастся. Поэтому всё чаще в различных странах

обсуждается вопрос о возможности запрещения или частичного ограничения использования автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в городах и отдельных районах. Дополнительный вред современные автомобили создают своим шумом. С каждым годом, по мере роста парка автомобилей, проблема снижения шума, создаваемого ими, приобретает всё более острый характер.

Второе направление заключается в разработке практически нетоксичных транспортных средств. К таким средствам относятся электромобили, у которых нет ДВС, и которые к тому же позволяют снизить вредное влияние транспортного шума до минимума.

Анализ работ по созданию электромобилей начиная с его зарождения до сегодняшних дней показывает, что можно выделить шесть периодов развития электромобилей:

- первый - зарождение (1837-1895 гг.),
- второй - интенсивное развитие и конкуренция (1896-1930 гг.),
- третий - локальное использование (1931 - 1960 гг.),
- четвертый - широкое проведение опытно-конструкторских работ и выпуск большого количества опытных образцов и малых серий электромобилей (1961-1982 гг.),
- пятый - спад работ, неудачи вызванные несовершенством источников энергии (1982-2000 гг.),
- шестой - активизация деятельности в области электромобилестроения в связи с осложнением экологической обстановки. Появились новые типы источников тока. Осознание неизбежности кризиса с добычей углеводородов после 2030 года.

1 Анализ состояния вопроса.

1.1 Историческая справка о возникновении электромобиля.

На рубеже веков (19-20) интерес к электромобилям был настолько велик, что порой их производство и сбыт превышали такие же показатели в области автомобилестроения. Электромобили привлекали к себе внимание аккуратностью, бесшумностью, простотой управления и отсутствием выхлопных газов. Небольшой запас хода, необходимость частых подзарядок аккумуляторов или полной замены тяжелых батарей тогда мало смущали покупателей. В основном это были представители аристократии, и электромобиль в их глазах был чистенькой и удобной игрушкой - в отличие от пропахших бензином и маслом, чадящих и шумных бензиновых экипажей. К концу 19 века количество электромобилей превышало количество чадящих собратьев в разы. В то время скорость и дальность пробега авто были не так существенны как удобство и простота обслуживания и ухода, тишина и комфортность поездки, быстрота запуска двигателя.

Во многих странах Европы и Америки число фирм, производивших электромобили, исчислялось десятками. Электромобилями занимались как отдельные известные изобретатели - такие, как, например, русский инженер Ипполит Романов, - так и крупные фирмы: французская "Жанго", английская "Берсей", австрийская "Лорнер" и другие. Наиболее популярны электромобили были в Америке.

Первые электромобили были собраны в 1830-40-х годах. Принято считать первопроходцами в этом деле англичан Роберта Андерсона, Роберта Дэвидсона



и американца Томаса Девенпорта.

Известно, что англичанин Дэвидсон в 1938 году собрал первый электромобиль всего через шесть лет после открытия Фарадеем электромагнитной индукции. Первые экземпляры представляли собой неуклюжие сооружения со скоростью менее скорости пешехода. Скорости росли довольно быстрыми темпами. В 1895 году был установлен рекорд скорости 63,15 км/час. А в 1899 году был преодолен и 100 километровый рубеж. Рекорд установлен бельгийцем Камилем Женатци во французском городе Ашер (около Парижа) на электромобиле "La Jamais Contente". Машина имела обтекаемый корпус из сплава алюминия и вольфрама. Корпус был похож на торпеду (ракету), установленную на шасси. Вес был около тонны и скорость достигла 105,88 км/час.

Изобретатель Уолтер Бейкер (1868-1955) считался основателем электромобильного бизнеса в Америке и вообще пионером американской моторизации. Первое детище Бейкера по своему внешнему виду почти ничем не отличалось от автомобилей Генри Форда, Олдеа или Паккарда тех лет. Это была легкая и высокая 2-местная тележка на 4-х велосипедных колесах с загнутым вверх передком и рулевым рычагом. Из-за наличия аккумуляторов электромобиль получился слишком тяжелым, и Бейкер оснастил его мягкой подвеской на эллиптических рессорах. Новинками тех лет были электрические фары и электрический гудок. Аккумуляторная батарея позволяла ездить 6-8 часов без подзарядки.

В 1901 году этот электромобиль был модернизирован. Он стал выглядеть солиднее - получил тент, руль и был оснащен двойным сиденьем со спинкой и подлокотниками. Аккумуляторы размещались под сиденьем, и электромотор в 0,75 лошадиных сил приводил в движение заднюю ось при помощи цепной передачи. Машина развивала скорость 30 км/час и на одной зарядке могла проехать 80 км.



В 20-м столетии электромобили уступили место автомобилям. Главной причиной были аккумуляторы, их несовершенство. Из-за них запас хода был не велик, а производство автомобилей расширялось, они становились все комфортабельней, дешевле благодаря чему получили наибольшее распространение.

В настоящее время благодаря достижениям науки и техники электротранспорт находит применение как внутригородской транспорт. По городам движутся электроскутеры, электровелосипеды, электромобили. Несомненными преимуществами электромобилей является:

- экологическая чистота электродвигателя,
- почти неограниченный ресурс электродвигателя,
- бесшумность,
- движение в пробках без выброса выхлопных газов,
- более высокий уровень надежности и долговечности при простоте конструкции,
- использование ночных излишков мощности в электроэнергетике
- возможность использования экологичных и возобновляемых источников энергии
- высокий КПД электродвигателей (90-95%)
- регенеративное использование энергии при торможении.

Существует и обратная сторона медали:

- ограниченный пробег и запас энергии на борту электромобилей,
- низкая удельная энергоемкость аккумуляторов и большой вес батареи,
- необходимость развития энергетики на неуглеводородных видах топлива,
- расширение производства аккумуляторов на иных материалах, чем свинец, утилизация аккумуляторов,
- электромобили дороги, зачастую дороже автомобилей,
- повышенный расход электроэнергии при разгонах, отрицательное воздействие больших токов на срок службы аккумуляторов,
- не решена проблема отопления салона зимой и кондиционирование летом,
- создание инфраструктуры зарядки электромобилей

Несмотря на существенные недостатки, есть хорошие прогнозы на массовое использование электротранспорта в близком будущем. Многие государства поддерживают производство электромобиля, существуют государственные программы по поддержке электротранспорта. Растет экологическое самосознание населения. Любители-энтузиасты уже сейчас имеют возможность приобрести необходимое оборудование для постройки электромобилей или конвертировать серийные автомобили в электромобили. Приверженцы электромобиля с уверенностью смотрят в будущее.

1.2 История развития электромобиля в России.

Использование электрической энергии для самоходных экипажей в России началось на рубеже XIX и XX вв. Живший во Франции русский изобретатель-электротехник Павел Николаевич Яблочков (1847-1894) занимался разработкой электродвигателя для экипажа и на одну из выдвинутых им идей электромобиля даже получил авторский документ - привилегию. Многие инженеры, конструировавшие в те годы электромобили, в своих исканиях шли на ощупь, путем экспериментов. Известный теоретик в области электротехники Владимир Николаевич Чиколев (1845-1898) разработал в 1879 г. теорию регулирования скорости движения электрических экипажей с помощью контроллеров и создал конструкцию для пуска электродвигателей. Но наибольших успехов добился Ипполит Владимирович Романов.



Петербургским изобретателем были спроектированы четыре модели электромобилей: двухместная, четырехместная коляски, а также 17-местный и 24-

местный омнибусы. Двухместный кэб и 17-местный омнибус построены по его проекту в 1899 г.

Малая модель следовала по конструкции наметившейся тогда оригинальной компоновочной схеме: передние колеса большого диаметра - ведущие, передача цепями от двух не связанных один с другим электродвигателей, под полом экипажа - силовая установка. Для управления машиной служили поворотные задние колеса меньшим диаметром, чем передние. Для замедления и остановки экипажа служили электрический рекуперационный и механический тормоза. Регулирование скорости движения в диапазоне от 1,5 до 35 км/ч осуществлялось девятиступенчатым контроллером.

Аккумуляторы конструкции Романова имели более тонкие пластины, чем большинство тогдашних батарей, и располагались не вертикально, а горизонтально. Масса решеток, составлявших основу этих пластин, равнялась 30% от общей массы, в то время как у аккумуляторов других конструкций этот показатель достигал 66%.

Электродвигатель собственной конструкции, легкий и быстроходный, развивал мощность 4,4 кВт, эквивалентную 6 л.с., при 1800 об/мин. И наконец, легкая рама из труб, рациональная конструкция ходовой части и кузова позволили довести массу двухместного электромобиля до 720 кг, причем из них 350 кг приходилось на аккумуляторы. Здесь следует отметить, что у одного наиболее совершенного электромобиля тех лет французского "Жанто" масса составляла 1440 кг, в том числе 410 кг приходилось на аккумуляторы.

Первая мировая война и Революционные события в России в начале 20 века надолго приостановили развитие электротранспорта в России. В таком состоянии положение дел с электротранспортом досталось Советской России.

Однако, как только положение в стране стабилизировалось, экономика встала на ноги, вспомнили о почти забытом транспорте. В эти годы и в нашей стране начали проводиться работы по созданию экспериментальных образцов электромобилей. В 1935 году на базе автомобиля ГАЗ-А был построен первый советский электромобиль. В тот же период в лаборатории электрической тяги Московского энергетического института (МЭИ) под руководством профессора

В.Резенфорда и инженера Ю.Галкина был создан двухтонный электромобиль на базе автомобиля ЗИС-5. Это аккумуляторный мусоровоз на переделанном шасси ЗИС-5.



Позади кабины на грузовой платформе размещались в деревянных ящиках 40 аккумуляторов суммарной емкостью 168 А-ч и общей массой 1400 кг. Батарея питала энергией размещенный под кабиной водителя электродвигатель с последовательным возбуждением. Он развивал мощность 13 кВт при 930 об/мин. Для регулирования скорости движения служил управляемый педалью контроллер, который обеспечивал семь режимов. В снаряженном состоянии электромобиль ЛЭТ, построенный в 1935 г., имел массу около 4200 кг. Мог перевозить два контейнера с мусором массой 1800 кг. Наибольшая скорость машины - 24 км/ч. Тогда же был создан первый советский электробус на базе троллейбуса СВАРЗ-ЛК (Лазарь Каганович) вместимостью до 80 человек.

Также интерес представляет четырехместный легковой электромобиль, построенный в 1935 г. в Киеве группой специалистов автоотдела республиканского Главдортранса. Машина имела алюминиевые трубчатую раму и кузов. Все колеса были подвешены независимо на пневмо баллонах (новинка для середины 30-х гг.). Источником энергии служили семь аккумуляторных батарей общей емкостью 112 А-ч, которые питали два электромотора мощностью 3 кВт каждый. Эти двигатели приводили каждый по одному колесу и позволяли отказаться от дифференциала.

Основу машины "НИИГТ-Аремз" составляло шасси троллейбуса ЯТБ-2. При грузоподъемности 6000 кг она имела снаряженную массу 6700 кг и развивала скорость 55 км/ч. Основные размеры: длина-8700 мм, ширина - 2500 мм, колесная

база - 5200 мм. Несколько таких троллейкаров эксплуатировались в период 1940-1948 гг. на столичных улицах.

В 1941 году на улицах Москвы появились первые грузовые троллейбусы-троллейвозы. Разбитые от бомбёжек и переделанные пассажирские троллейбусы. Троллейвоз, в отличие от пассажирского троллейбуса, должен иметь некоторую степень автономности - способность отъехать от контактной сети как минимум на несколько километров. Именно таким стал появившийся в 1960 году первый отечественный троллейвоз промышленного изготовления СВАРЗ ТГ1. Источником энергии для автономного хода служила мощная аккумуляторная батарея, которая автоматически заряжалась при работе под контактной сетью.



Очень оригинальной, полной технологических новшеств была одна из первых послевоенных моделей автобусов — ЗИС-154, выпускавшийся с 1947 по 1950 год. Корпус без привычного пассажирам капота, необычной для тех времен формы, большой салон (34 сидения). Его кузов выполнялся не из дерева, и даже не из жести, а из алюминия — что было для тех времен настоящей сенсацией. Кроме того, он оснащался дизель-электрической силовой установкой (110 л.с.), которая обеспечивала высокую плавность хода.



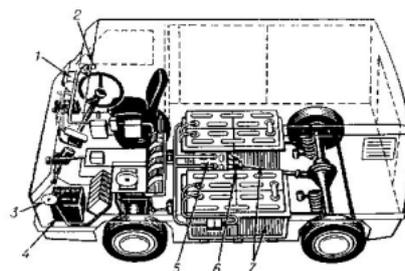
В 1957 г. в НАМИ были разработаны новые образцы электромобилей той же грузоподъемности. В этот же период был создан первый советский электробус на базе троллейбуса СВАРЗ вместимостью 70—80 чел.

Однако, как это ни парадоксально, в последующие годы транспортные средства с тяговым электрическим приводом в очередной раз не выдержали конкуренции с машинами, использующими ДВС.

Конструктивно схема электрического привода совершеннее и в целом проще, чем схема традиционного механического привода с ДВС, вместе с тем наиболее трудные проблемы, требующие незамедлительного решения в настоящее время, сосредоточены в области разработки источников электрической энергии для электромобилей.

В 70-е годы силами различных организаций проводилось много экспериментов в области электромобилей. В центре внимания были батареи и системы управления, которые способствовали более экономному расходованию энергии. К экспериментам подключился довольно широкий круг организаций. В их числе НИИ автомобильного транспорта (НИИАТ), Всесоюзный НИИ электромеханики (ВНИИЭМ), Всесоюзный НИИ электротранспорта (ВНИИЭТ), а также автомобильные заводы ВАЗ, ЕрАЗ, РАФ и УАЗ. Дорожные испытания партии электромобилей НИИАТ - А.925.01 с системой питания на постоянном токе проходили в 1975 году в Подольске. Годом раньше пять электромобилей У-131 на базе УАЗ-451 ДМ поступили в опытную эксплуатацию на автокомбинат № 34 в Москве. Эти машины — результат совместных усилий НИИ

Главмосавтотранса и ВНИИЭМ Минэлектротехпрома. Они работали на переменном токе с асинхронными двигателями.



В период с 1980-1985 годы было выпущено 100 штук электромобилей УАЗ-3801. Полезная грузоподъемность до 650 кг. Масса аккумуляторов 680кг. Полная масса 2750кг. Одной зарядки хватало на 48-50 км пробега, а бортовое зарядное устройство всего за час заряжало АКБ почти на 70%. После установки системы рекуперации (при торможении заряжалась батарея) пробег возрос до 70-75 км. Для зимы установили бензиновый отопитель от «Запорожца».

В 1976 году на Елгавском автозаводе изготовлена партия микроэлектробусов РАФ-2203. Эти электромобили снабжены двигателями мощностью 23 кВт, вмещают девять человек (включая водителя) и развивают до 60 км/ч. Аккумуляторные батареи (их общая масса 630 кг) обеспечивают запас хода около 70 километров. Позднее во время олимпиады 1980 года в Москве некоторые судейские автомобили были переделаны в электромобили оснащенные солнечной панелью. Также проводились работы с моделью РАФ-2210 в качестве электромобиля. В 1982 году 3 таких машины поставлены в Москву в качестве такси.

Первым легковым электромобилем в СССР был украинский. В 1973 г. в Запорожском ЗМИ под руководством ассистента кафедры электрических машин В. Б. Павлова, на базе ЗАЗ-968 был создан опытный ЭМ. Эта машина уже тогда имела новинку: импульсный полупроводниковый преобразователь. В 1974 г. этот ЭМ на ВДНХ СССР получил бронзовую медаль, а электроника его управления – серебряную!

Что касается ВАЗа, то его опыты охватывали как конвертируемый в электромобиль серийный ВАЗ-2102 грузоподъемностью 0,2 тонны, так и совершенно новую машину ВАЗ-1801. Испытывались грузовые ВАЗ-2301 и ВАЗ-2313



В 1979-80 годах АвтоВаз работал над электромобилем ВАЗ-2802 в грузовом варианте. С целью облегчения веса кабину сделали одноместной, раму и навесные детали из алюминия. Сварку вели методом точечной сварки. Дизайн Александра Дегтярёва. Вес машины 1140 кг, полезный груз 500 кг. Было изготовлено два экземпляра для опробования компоновочных решений.

Следующую модель ВАЗ-2702 (с 1982 года) делали также из алюминия АЛ1915 Самарского металлургического завода. Но рама электромобиля теперь была сделали хребтовой конструкции. Раму изготовили в ТолПИ. Автором дизайна стал Геннадия Грабора. 120-вольтовые АКБ разместили в двух отсеках в средней части машины, в контейнерах. Был предусмотрен и автономный отопитель – тот же пятилитровый бытовой баллон, что и на ВАЗ 2802-01. Этот электромобиль был первым отечественным, прошедшим краш-тест. Электромобиль был практически доведен до стадии промышленного образца, но тут начались сложные "перестроечные" годы.



На многие годы работы с электромобилем прекратились. В середине 90-х годов небольшими партиями выпускалась конвертированная "ОКА" ВАЗ-1111Э. Но комплектование устаревшим электродвигателем ПТ-125 и устаревшими батареями НЦ привело к прекращению производства.

У ВАЗ-1111Э (2+2 чел., багажник вместимостью 90 дм³) запас хода при скорости 40 км/ч — 130 км, в городском режиме — 100 км; максимальная скорость — 90 км/ч; время разгона до скорости 30 км/ч — 4 с, а до 60 км/ч — 14 с; максимальный преодолеваемый подъем — 30.

Существовала версия ВАЗ-2109Э. Характеристики были не плохие.

ВАЗ-2131Э — электрофицированный вариант пятидверного автомобиля ВАЗ-2131. Предназначен он для частичной замены городских малотоннажных автомобилей-фургонов, выполняющих регулярные мелкооптовые перевозки по

постоянным маршрутам небольшой протяженности. Его грузоподъемность — 2 чел. + 400 кг груза; максимальная скорость — 80 км/ч; время разгона до скорости 30 км/ч — 6 с, до 60 км/ч — 20 с.

Другие заводы также строили опытные электромобили. Так, ЕрАЗ-3731 (1973 г.) грузоподъемностью 0,9 тонны весил в снаряженном состоянии 1925 килограмм и имел запас хода в 75 километров. Два института - ВНИИЭТ и ВНИИЭМ - тоже изготовили опытные электромобили, в том числе один — с гибридной силовой установкой (электромотор и бензиновый двигатель). Все исследования этих НИИ и других организаций не решили кардинальной проблемы — создания более легкого и емкого, чем свинцово-кислотный, аккумулятора.

В середине 1990-х годов АЗЛК на базе автомобиля АЗЛК-2141 разработал электромобиль "Москвич-2141Е1" с такими техническими данными: емкость аккумуляторов — 125 А • ч, напряжение источника тока — 108 В, номинальная мощность тягового электродвигателя — 19 кВт, пиковая — 30 кВт, время разгона до скорости 60 км/ч — 14,4 с, максимальная скорость — 110 км/ч, запас хода при скорости 50 км/ч и одним пассажиром — 100 км, при той же скорости, но с полной нагрузкой — 80 км. Экономические затраты на 100 км пробега, по утверждению разработчиков, оказались в 10 раз меньше, чем у аналога с ДВС.

На Международном автотранспортном форуме, Москва, 9 – 12 сентября 2008 г. "Группа ГАЗ" представила городской автобус ЛИАЗ 5292 с гибридным приводом. Автобус ЛИАЗ 5292 – результат совместной работы концерна «РУСЭЛПРОМ» и Ликинского автобусного завода. Разработка комплекта тягового электрооборудования к автобусу велась ООО «РУСЭЛПРОМ-Электропривод». Это первый российский автобус с гибридным приводом, аналогов которого нет ни у одного отечественного производителя. Автобус ЛИАЗ 5292 предназначен для работы в городах-мегаполисах. Автобус комплектуется дизельным двигателем Cummins экологического стандарта Евро-4 максимальной мощностью 136 кВт, асинхронным мотор-генератором такой же мощности. Буферный накопитель на основе суперконденсатора емкостью 21 Ф обеспечивает пиковые потребления мощности тягового привода, и позволяет рекуперировать

кинетическую энергию при торможении автобуса. Вместимость автобуса 100 человек.



Электромобиль перспективный вид транспорта и на данный момент является почти единственным решением проблемы загрязнения атмосферы. Поэтому в настоящее время многие автопроизводители тратят много сил на решение конструктивных проблем электромобиля.

Поэтому ведутся работы над созданием аккумуляторных батарей с малым временем зарядки (около 15 минут), в том числе и с применением наноматериалов.

Рассматривается также возможность использования в качестве источников тока не аккумуляторов, а ионистров (суперконденсаторов), имеющих очень малое время зарядки, высокую энергоэффективность (более 95 %) и намного больший ресурс циклов заряда-разряда (до нескольких сотен тысяч). Опытные образцы ионистров на графене имеют удельную энергоёмкость 32 Вт·ч/кг, сравнимую с таковой для свинцово-кислотных аккумуляторов (30–40 Вт·ч/кг).

Разрабатываются электрические автобусы на воздушно-цинковых аккумуляторах Toyota работает над созданием нового поколения гибридных автомобилей Prius (полный гибрид, plug-in гибрид, PHEV). В новой версии водитель по желанию может включать режим электромобиля, и проехать на аккумуляторах примерно 15 км. Подобные же модели разрабатывает Ford — модель Mercury Mariner — пробег в режиме электромобиля 40 км, и Citroen — модель C-Metisse — пробег в режиме электромобиля 30 км и другие. Toyota изучает возможность установки устройств для зарядки аккумуляторов гибридов на бензозаправочных станциях.

Почта Японии, начиная с 2010 года, планирует приобрести 21000 электромобилей для доставки почтовых отправлений на короткое расстояние.

По прогнозам PriceWaterhouseCoopers к 2015 году мировое производство электромобилей вырастет до 500 тысяч штук в год. Примерные прогнозы развития электромобилестроения занесены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1- Планы автопроизводителей

Компания	Страна	Год	Планы
Reva Electric Car	Индия	2011	Расширить производство до 35000 шт. в год
General Motors	США	2010	Начало производства Chevrolet Volt
Société de Véhicules Électriques	Франция	2009	Производство 20000 шт. в год
Tesla Motors	США	2011	Начало продаж Model S
Phoenix Motorcars	США	2011	Производство 100000 шт. в год
Renault	Франция	2011	Начало производства Renault Kangoo Express
Nissan	Япония	2012	Серийное производство
Mitsubishi	Япония	2009	Начало производства i MiEV, 20000 шт. в год к 2011 году
Tianjin Qingyuan Electric Vehicle Co. Ltd.	Китай	2010	Строится завод мощностью 20000 шт. в год
Smith Electric Vehicles	Великобритания	2010	5000 грузовиков в год в Европе, 10 000 грузовиков в год в США
Opel	Германия	2010	Начало производства
Daimler	Германия	2010	Начало производства электромобилей Smart fortwo и Mercedes
Bavina industries	Индия	2009	5000 шт. в год
Bolloré + Pininfarina	Италия	2010	Начало производства BLUECAR. 60 тысяч в год к 2015 году
Detroit Electric	Китай — США	2010	45 тысяч шт., в 2012 году увеличить производство до 270 тысяч в год
BYD Auto	Китай	2010	Начало производства Е6
LTI Vehicles	Великобритания	2009	Начало производства такси для Лондона
BMW	Германия	2012	Начало продаж в США
Mahindra&Mahindra	Индия	2010	Начало продаж в Индии
Dongfeng Nissan	Китай — Япония	2012	Начало продаж в Китае
Ford	США	2010 2011 2012	Коммерческий грузовик Микро-автомобиль, автомобиль С-класса
Toyota	Япония	2012	Начало производства iQ
Beiqi Foton	Китай	март-апрель 2009	Начало производства
Chery Automobile	Китай	2009	Начало продаж Chery S18
Honda	Япония	2015	Начало продаж в США
ГАЗ	Россия	2010	Начало производства ГАЗель-Электро
Citroën	Франция	2010	Начало производства C-ZERO
Chrysler	США	2012	Начало производства

2 Разработка структурной схемы электромобиля

2.1 Устройство электромобиля.

В настоящее время ещё нет окончательного определения понятия электромобиль. Иногда электромобили выделяются по роду привода, понимая при этом «безрельсовые транспортные средства с автономным электроприводом». Но к этому типу могут быть отнесены в том числе и карьерные грузовики. В других случаях к электромобилям относят по типу потребляемого топлива. Тогда сюда могут быть отнесены и транспортные средства с двигателем внутреннего сгорания на борту или топливные элементы работающие на нефтепродуктах. Более полным можно считать определение данное О. А. Ставровым (Ставров О. А. Электромобили. М. Транспорт, 1968, 102 с.) : «Под термином электромобиль имеется ввиду автомобиль, у которого для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока». Уточняя современное понимание термина электромобиль необходимо отразить следующее:

- автономность электроустановки и самого электромобиля
- использование в качестве первоисточника энергии химического источника тока.

Таким образом определим электромобиль: Электромобиль – это безрельсовое транспортное средство с автономным химическим источником тока (напряжения) используемым в качестве источника энергии для движения.

Особенности конструкции электромобиля обусловлены следующими проблемами:

- обеспечение баланса массы электромобиля при относительно большой массе источников энергии в виде тяговой аккумуляторной батареи;
- пространственным размещением тяговой аккумуляторной батареи значительного объёма, обеспечивающим приемлемые показатели конструкции электромобиля, при достаточном удобстве в эксплуатации;

- отопление салона. Эта проблема последнее время не привлекает внимание широкого круга специалистов. Однако для зимних условий нашей страны при общем дефиците энергии на электромобиле она оказывается весьма существенной. Для обеспечения приемлемых условий в кабине водителя и для достаточно быстрого размораживания ветрового стекла необходима мощность порядка 3-6 кВт, которая соизмерима с мощностью, потребной для движения электромобиля. Но это является проблемой на первых порах. Разрабатываются системы накопления энергии с высокими удельными показателями накапливаемой энергии, что устранил вопрос отопления кабины как энергетическую проблему.

Другие особенности конструкции электромобиля определяются специфическими возможностями электрических тяговых систем, которые состоят в следующем:

- высокие регулировочные качества электродвигателей в принципе позволяют получить требуемые пределы изменения скорости движения без переключения передач;

- малые габариты и массы узлов электропривода значительно расширяют возможности компоновки привода ведущих колёс;

- улучшенные тормозные свойства электрических тяговых систем позволяют упростить механические тормозные системы.

Кроме того внутригородское использование современных электромобилей с ограниченной максимальной скоростью при сравнительно хорошем качестве дорог позволяет снизить требования по ряду конструктивных характеристик узлов и агрегатов, что создаёт предпосылки для определённого упрощения их по сравнению с обычными автомобильными.

Главные показатели по которым электромобиль выигрывает перед простым автомобилем:

- эксплуатационные расходы у электромобиля ниже, чем у автомобиля с ДВС. Например, небольшой автомобиль с ДВС объемом 1,2 литра и ручной коробкой переключения передач на легком топливе с 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;

- двигатель внутреннего сгорания работает при высоких температурах, вибрациях, в химически активной среде, нуждается в жидкостном охлаждении, имеет много подвижных частей. Как следствие, силовой агрегат электромобиля служит намного дольше, чем двигатель внутреннего сгорания, сам электромобиль также значительно долговечнее, чем автомобиль с ДВС. Аккумуляторная батарея — вот единственный проблемный элемент электромобиля, так как нуждается в интенсивном обслуживании и замене каждые 4—5 лет.

Узлы и агрегаты современного электромобиля.

Для большинства современных электромобилей кузов, шасси и многие другие механические узлы и агрегаты позаимствованы от серийных автомобилей с ДВС. Лишь немногие модели с самого начала проектировались как электромобили, например, GM EV1 или Honda EV-plus. Но те и другие имеют примерно одинаковый состав основных функциональных и вспомогательных компонентов, показанных на рисунке 2.1.

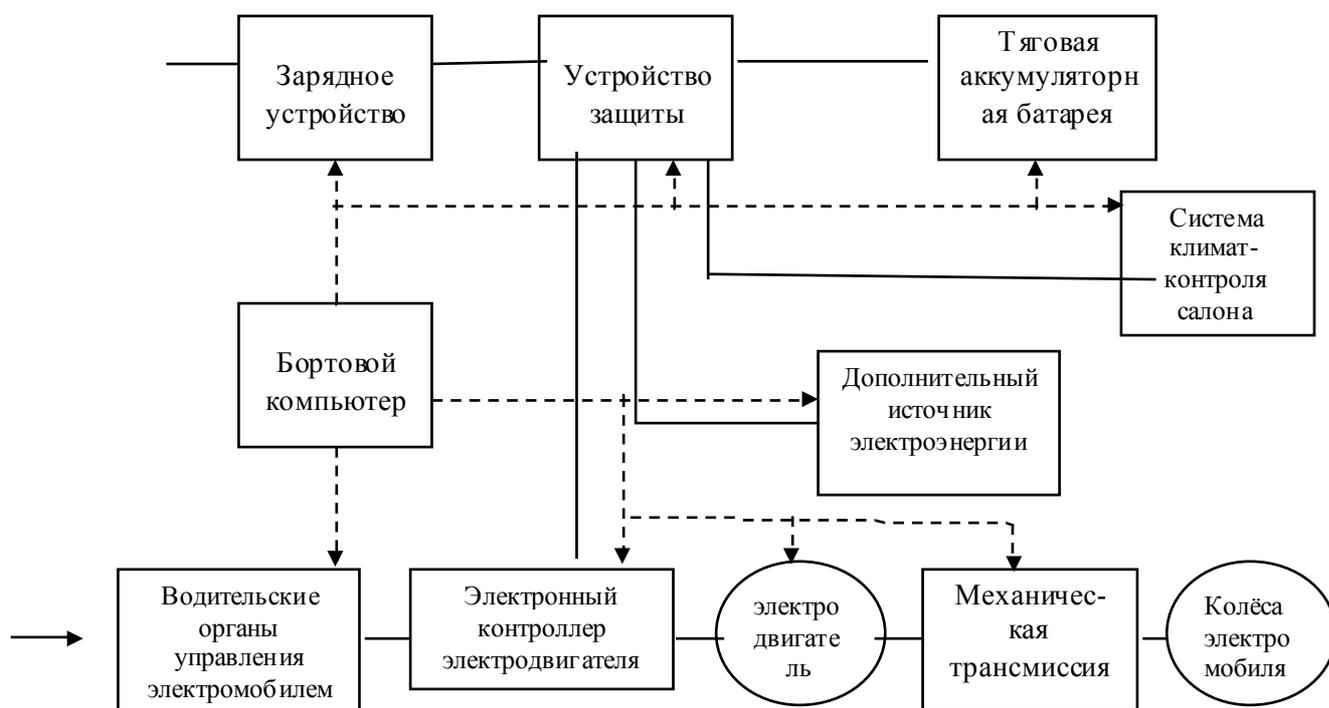


Рисунок 2.1 - Блок-схема электромобиля

На рисунке обозначено:

1) Зарядное устройство. Преобразует переменное напряжение внешней сети в постоянное для заряда аккумуляторных батарей, тяговой и вспомогательной. Оно содержит цепи подключения к сети переменного тока, выпрямитель, регулятор зарядного тока (напряжения), систему управления зарядом (обычно микропроцессорную) для контроля за уровнем заряда, параметрами батареи, отключения при возникновении аварийной ситуации.

Зарядное устройство может размещаться на борту электромобиля. В этом случае бортовой компьютер управляет процессом заряда, а сеть переменного тока подключается к электромобилю.

2) Устройство защиты (блок реле и предохранителей). Состоит из выключателей, реле, предохранителей, которые включены между аккумуляторной батареей и остальной электрической схемой — потребителями. При возникновении неисправности цепь переменного тока и аккумуляторы отключаются. В электромобилях металлические части корпуса не используются в качестве проводника (массы), вся электропроводка изолирована от корпуса, колесные покрышки (шины) изолируют корпус от дороги. Нарушение изоляции между электрической цепью и корпусом в одной точке не приводит к появлению значительных токов, способных разрядить аккумуляторы. Пробой во второй точке может стать причиной замыкания аккумуляторной батареи и опасен для пользователя.

3) Тяговая аккумуляторная батарея. Обеспечивает энергией двигатель электромобиля. Имеется большое количество типов аккумуляторов, ни один из них полностью не отвечает всем требованиям и нет четкого критерия выбора оптимального аккумулятора. Недостаточная емкость, большое время заряда, малая удельная энергия аккумуляторов ограничивают уже много лет усилия конструкторов электромобилей. Типы аккумуляторов для тяговых аккумуляторных батарей:

Сегодня на электромобилях чаще всего устанавливаются:

- свинцово-кислотные аккумуляторы (СК);

- никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd);
- железоникелевые аккумуляторы (Ni-Fe);
- никель-металлгидридные аккумуляторы (Ni-MH);
- натриево-серные аккумуляторы (Na-S);
- никель-хлоридные аккумуляторы (Ni-Cl).

Перспективные источники энергии для электромобилей:

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

4) Бортовой компьютер. Контролирует состояние основных функциональных компонентов и бортовых систем электромобиля. При необходимости инициирует средства защиты.

5) Дополнительный источник электроэнергии (обычно вспомогательная аккумуляторная батарея на 12 В). Обеспечивает работу осветительных приборов, панели приборов, стеклоподъемников, стеклоочистителей и т. д.

6) Система климат-контроля салона. Состоит из кондиционера и электроотопителя.

7) Электронный контроллер электродвигателя. Формирует требуемый вид напряжения питания. Управляет числом оборотов и тяговым моментом на валу по командам водителя или автоматически.

8) Электродвигатель. Приводит в движение колеса электромобиля непосредственно или через трансмиссию. Первоначально электромобили оснащались обычными электродвигателями постоянного или переменного тока. Сегодня на электромобилях используются в основном специальные электродвигатели переменного тока. К таким электродвигателям предъявляются требования высокой эффективности при постоянстве тяговых характеристик, необходимости в периодическом техобслуживании, способности выдерживать перегрузки и загрязнение

9) Механическая трансмиссия. Состоит из коробки передач, дифференциала и других механических устройств для обеспечения движения электромобиля.

10) Водительские органы управления электромобилем. Это педали, рулевое управление, рычаг управления стояночным тормозом, органы управления системами и приборами электромобиля.

11) Двигатели (колеса) электромобиля. При применении тягового электродвигателя, колеса имеют конструкцию характерную для автомобилей. Но могут применяться и мотор-колеса, когда электродвигатель встроен в колесо.

2.2 Схема электромобиля

2.2.1 Электроснабжение электромобиля.

При описании электроснабжения электромобиля обращаемся рисунку 2.2.

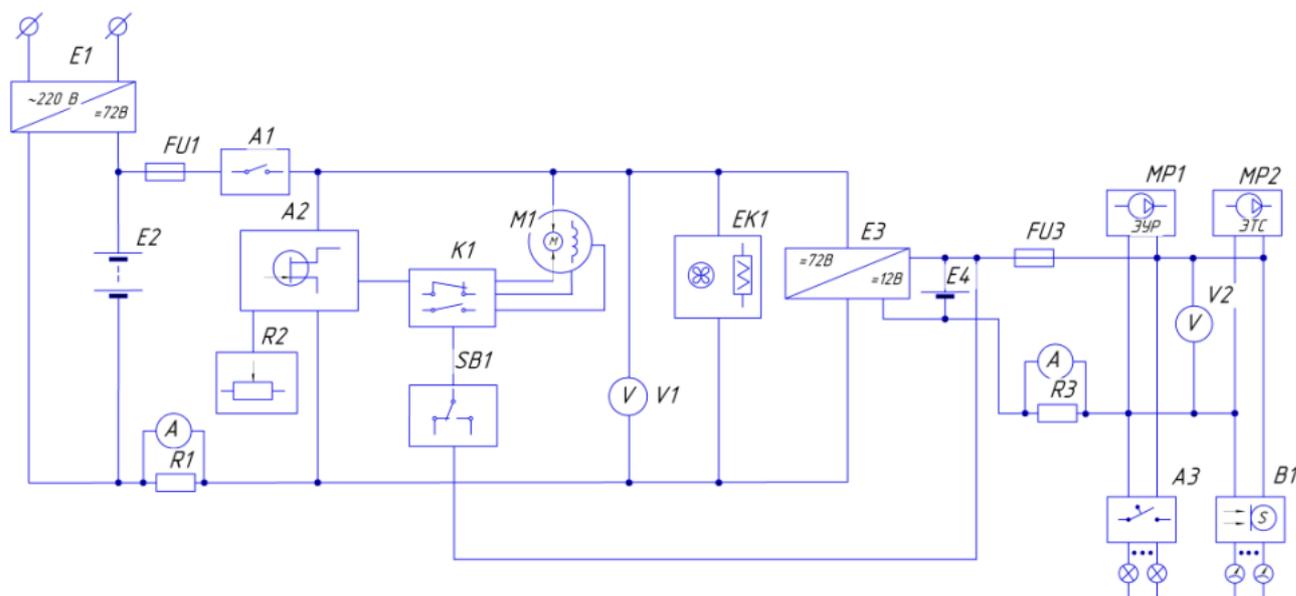


Рисунок 2.2 - схема электрическая функциональная электромобиля

Основой энергетики электромобиля является тяговая батарея E2, состоящая из шести аккумуляторов емкостью 130 а/час. Для увеличения дальности пробега возможно подключение дополнительных цепочек аккумуляторных батарей. Шесть батарей емкостью 130 а/час обеспечивают накопление 9.3 кВт/час энергии на борту электромобиля. Такой выбор аккумуляторов обеспечивает наиболее

оптимальное сочетание веса энергетической установки, дальности пробега и скорости движения электромобиля при использовании электродвигателя мощностью 7.2 кВт (PMG-132).

В перспективе возможно применение устройств, называемых суперконденсаторами или электрохимическими источниками тока, которые подключаются параллельно основной тяговой батарее и облегчают их работу в режимах импульсного повышенного потребления энергии из батареи. Такие случаи возможны при интенсивном разгоне электромобиля, когда требуется отдача батареями тока значительной величины превышающей допустимое значение для конкретного типа аккумуляторных батарей, также приём значительных токов в режиме рекуперации (торможение путём переключения тягового электромобиля в режим генератора).

В настоящий момент такие изделия выпускаются ЗАО "ЭСМА" (г. Троицк Московской обл.), ЗАО "ЭЛИТ" (г. Курск), ООО "Технокор" (г. Москва), НПО "ЭКОНД" (г. Москва), АО "Плескава" (г. Псков - по лицензии НПО "ЭКОНД").

Заряд основной батареи осуществляется от зарядного устройства Е1 располагаемого либо на борту электромобиля или вне его. Его задача обеспечить необходимый ток в кратчайший период времени с соблюдением алгоритма заряда аккумуляторной батареи, рекомендованной заводом-изготовителем. Современные батареи используемые в качестве тяговых требовательны к качеству зарядного устройства. Требуемые пульсации выходного тока не должны превышать 4%. Ток заряда может достигать величины 1С, что означает значение зарядного тока равное цифре указанной емкости аккумулятора. Встроенный в зарядное устройство микропроцессор обеспечивает необходимый алгоритм заряда батареи, а при необходимости его десульфатацию.

Устройство защиты FU1 представляет собой предохранитель на 500 ампер в виде плавкой вставки либо автоматического выключателя с максимально-токовой защитой. Вид защиты выбирается при привязке схемы электроснабжения к конкретному экземпляру электромобиля и тому донору (исходный автомобиль), который используется для конвертации в электромобиль.

Амперметр R1 представляет собой стандартный промышленный шунт типа 75ШСМ-200 и показывающий прибор со шкалой 75 милливольт. В качестве милливольтметра возможно применение цифрового вольтметра. Компания EKITS разработала линейку электронных амперметров для применения на электротранспорте, это SAN003R и SAL0006 работающих также со стандартным шунтом 75ШСМ. Амперметры прямого измерения в данном случае применить сложно из-за необходимости монтажа силовых цепей проводом большого сечения.

Устройство обозначенное на схеме как A1 обозначает совокупность контактов силовых контакторов, ответственных за коммутацию силовых цепей. Это контакт педали управления оборотами тягового электродвигателя. При опускании педали питание с электродвигателя снимается во избежание самопроизвольного движения электромобиля при неисправности проводки или электронных устройств регулирования тока электродвигателя. Также сюда (A1) входит контакт ключа зажигания подающий питание на устройства управления электромобилем и подготавливающий к работе цепь питания силового электродвигателя.

Регулятор оборотов электродвигателя A2 служит для управления оборотами электродвигателя (изменение величины крутящего момента), задания скорости электромобиля, а также осуществляет необходимые виды защит режимов электродвигателя по току. В качестве регулятора для коллекторного электродвигателя чаще всего используется контроллер 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.

Устройство указанных контроллеров не обсуждается по причине недоступности схем электрических принципиальных и примененных технических решений составляющих Ноу-хау (Know How).

Резистор R2 представляет собой стандартный датчик положения дроссельной заслонки от десятого семейства автомобилей ВАЗ (ДПДЗ) . Резистор

датчика имеет полное сопротивление 7.5 килоом со встроенным в цепь подвижного контакта потенциометра резистором величиной 1.5 килоома. Либо можно применить специальный резистивный акселератор MoviCar. На подвижном контакте при нажатии на педаль появляется напряжение пропорциональное величине нажатия педали, что и определяет величину крутящего момента электродвигателя, а соответственно и скорость движения.

Блок контакторов K1 предназначен для задания направления вращения ротора электродвигателя M1 и как следствие направления движения электромобиля «вперед» или «назад». Для изменения направления вращения ротора электродвигателя применяется коммутация одной из статорных обмоток электродвигателя. Более подробно способ коммутации рассматривается в описании схемы силового оборудования.

В качестве блока контакторов применяются либо два контактора, либо один реверсивный.

Переключение контакторов блока контакторов K1 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 K1. В качестве предохранителя могут быть применены или плавкая вставка величиной 10 ампер, или автоматический выключатель на тот же ток срабатывания.

Электродвигатель M1 - это движатель электромобиля. Его крутящий момент определяется, как уже ранее упоминалось, регулируется контроллером A2, а направление вращения его ротора и направление хода электромобиля задает блок контакторов K1.

В качестве электродвигателя 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.

Наибольшее распространение получили ДПП с последовательным возбуждением. Наравне с ними применяются ДПП с параллельным возбуждением, которые позволяют не сложными средствами реализовать режим рекуперации энергии при торможении, т.е. возврат энергии торможения в тяговую батарею. Рекуперацию при использовании ДПП последовательного возбуждения реализуют с помощью дополнительных генераторов подсоединенных к трансмиссии. Но чаще всего режимом рекуперации жертвуют. Это вполне оправдано в некоторых применениях электротранспорта, когда КПД (коэффициент полезного действия) его использования не существен. Например к таким машинам относятся электрокары, спортивные машины, машины применяемые для развлечений на аттракционах, гольф-кары, представительский транспорт на официальных мероприятиях, дешёвые городские электромобили для повседневных поездок на работу и обратно и др.

Асинхронные электродвигатели применяются довольно часто. Впервые его применили при электрификации автомобиля УАЗ в 70-х годах. Сейчас этот тип электродвигателей широко применяется на серийных гибридных автомобилях и чистых электромобилях.

Но для таких двигателей контроллер управления несколько дороже, чем для ДПП. 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.

В настоящем дипломном проекте для комплектования электромобиля выбран ДПП последовательного возбуждения без реализации режима рекуперации с целью минимизации расходов на его изготовление.

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 АЗ 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.

2.2.2. Силовое оборудование

При описании силового оборудования воспользуемся рисунком 2.3.

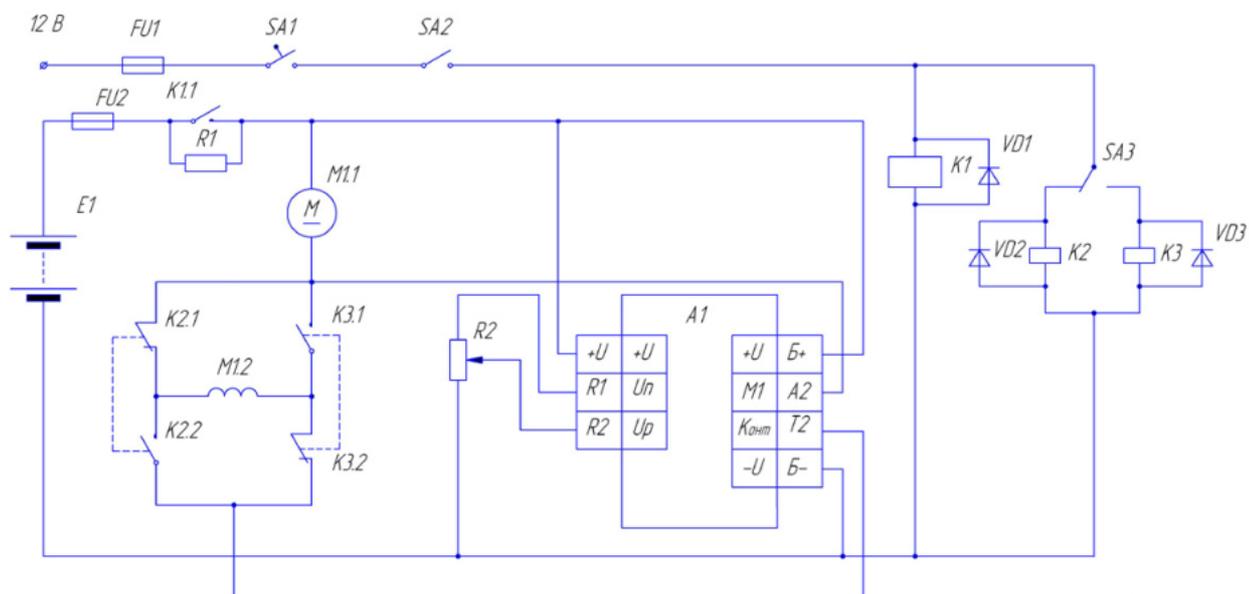


Рисунок 2.3 - схема электрическая функциональная электромобиля

Силовое оборудование электромобиля получает питание от батареи E1, состоящая из шести аккумуляторов емкостью 130 а/час с номинальным напряжением 72 вольт.

Батарея защищена предохранителем (автоматическим выключателем) FU2 от короткого замыкания и перегрузки со стороны нагрузки и соединяющих проводников.

Предохранитель FU1 защищает низковольтные цепи получаемые питание от бортовой батареи напряжением 12 вольт.

Выключатель SA1 представляет собой главный выключатель (замок зажигания).

Выключатель SA2 – это концевой выключатель, расположенный на педали управления оборотами электродвигателя и служит для обесточивания силовых цепей при опускании педали во избежание самопроизвольного движения электромобиля при неисправностях в системе электроснабжения.

K1 – главный контактор силовой цепи. На схеме разнесенным способом указано два графических изображения этого контактора. K1.1 – контакт,

разрывающий силовую цепь питания. К1 – обмотка контактора. При подаче питания на нее производится замыкание контакта К1.1

R1 – шунтирующий резистор. При размыкании контакта К1.1 через него подается небольшой ток на выходную цепь контроллера управления А1 для обеспечения его работы в режиме ожидания и безударного включения в работу.

M1 – электродвигатель. Графический элемент М1.1 обозначает якорную обмотку электродвигателя, графический элемент М1.2 обозначает статорную обмотку. Статорная обмотка используется для реверсирования движения электромобиля.

К2, К3 – контакторы реверса, аналогичны главному контактору. Графические элементы К2.1 и К3.2 – нормально замкнутые контакты при положении переключателя SA3 в состоянии «ВПЕРЕД» и служат для питания электродвигателя при движении вперед. К3.1 и К2.2 – нормально разомкнутые контакты, служат для замыкания цепи питания электродвигателя при движении назад. Эти два контакта замыкаются отдельным переключателем только на время движения назад. Графические элементы К2 и К3 обозначают рабочие обмотки контакторов управления направлением вращения электродвигателя.

R2 – резистивный акселератор, служит для управления оборотами электродвигателя с помощью контроллера электродвигателя.

A1 – контроллер управления. Служит для преобразования движения педали управления оборотами электродвигателя в электрические импульсы тока управления этим электродвигателем.

VD1-VD3 – блокирующие диоды, предотвращающие импульсные выбросы тока при коммутации контакторов. Служат для защиты от радиопомех приборов электромобиля и окружающих радиоприемных устройств.

SA3 – тумблер переключения направления вращения ротора электродвигателя, а соответственно и направления движения электромобиля.

Устройство работает следующим образом:

Проверяется состояние устройств защиты FU1 и FU2, при необходимости переводятся во включенное состояние. Ключом зажигания (главным выключатель) подготавливается цепь питания низковольтных устройств.

Переключателем SA3 устанавливается нужное направление движения транспортного средства, например вперед. Далее при нажатии на педаль управления оборотами срабатывает концевой выключатель SA2, расположенный в корпусе резистивного акселератора и связанного тягой с педалью. При этом подается напряжение на рабочую катушку главного контактора K1 и далее замыкается контакт K1.1. Напряжение питания контроллера A1 и электродвигателя M1 подано.

Дальнейшее нажатие на педаль вызывает изменение сопротивления резистивного акселератора R2 и следовательно появление электрических импульсов на выходе контроллера A1. На роторе электродвигателя M1 появляется крутящий момент. Дальнейшее изменение крутящего момента происходит пропорционально степени нажатия на педаль акселератора.

Для изменения направления движения ротора электродвигателя, а соответственно и направления движения электромобиля необходимо произвести полную остановку ротора электродвигателя и самого электромобиля. Переключателем SA3 переключить контакторы реверса и плавно нажать на педаль акселератора.

При окончании использования электромобиля необходимо разомкнуть контакт главного выключателя SA1. А при необходимости произвести отключение предохранительных устройств FU1 и FU2. А при длительном простое электромобиля такое отключение обязательно.

И в заключение добавлю, что при монтаже электрооборудования кузов электромобиля не используется в качестве проводника во избежание поражения электрическим током.

3 Расчет и подбор электродвигателя

Первоначально на электромотоциклах применялись обычные электродвигатели постоянного или переменного тока. Т.е. электродвигатели общепромышленного применения. В последнее время всё чаще применяются электродвигатели специально разработанные для электротранспорта. К ним предъявляются требования высокой экономичности с сохранением тяговых характеристик в широком диапазоне скоростей, способность выдерживать перегрузки и загрязнения, упрощенный способ обслуживания.

Используются трехфазные электродвигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором, управляемые контроллером путем изменения частоты. Они практически не требуют обслуживания. КПД таких электродвигателей сильно зависит от оборотов и может меняться от 82 до 97%. К преимуществам можно отнести возможность переключения с «звезды» на «треугольник». При включении по схеме «звезда» электродвигатель имеет более высокий крутящий момент на валу и может применяться при трогании или тяжелых условиях эксплуатации. Переключение на схему «треугольник» увеличивает скорость вращения вала электродвигателя, что может быть применено при разгоне или движении на шоссе.

Издавна применяются электродвигатели постоянного тока. Обороты такого двигателя зависят от напряжения питания, что упрощает способ управления им. Электродвигатели с последовательным возбуждением имеют хорошие тягово-скоростные характеристики. Но их КПД несколько ниже чем у электродвигателей переменного тока, конструкция сложнее, нуждаются в периодическом обслуживании, более чувствительны к перегрузкам, максимальные обороты несколько ниже. На электромотоциклах с двигателями постоянного тока (ДПТ) обычно применяют многоскоростные коробки передач (КПП).

У двигателей последовательного возбуждения статорная и роторная обмотки соединены последовательно. При трогании у таких двигателей момент на валу максимальный, но с набором оборотов за счет противоЭДС возникающей в

обмотке возбуждения момент несколько уменьшается. Поэтому часто используют электродвигатели постоянного тока со смешанным включением обмоток возбуждения. Такие двигатели имеют две обмотки возбуждения – последовательную и параллельную.

Эффективность электродвигателей постоянного тока увеличивается при замене статорной обмотки возбуждения на постоянные магниты. Наибольшее распространение они получили после изобретения неодимовых магнитов.

Применение постоянных магнитов в электродвигателях вызвало появление безколлекторных электродвигателей. Постоянные магниты располагаются на роторе. Статор снабжается несколькими секциями обмотки. Это обычно три или четыре обмотки.

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 ободке, 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 коллекторный электродвигатель постоянного тока (ДПТ), не

требующий сложной системы управления, доступный для приобретения и применения для движения по городу.

Для расчета мощности электродвигателя зададимся исходными данными электромобиля (автомобиль ОКА, ВАЗ-1113) : полная масса – 1000 кг., коэффициент трения качения по асфальту – 0.018, коэффициент обтекаемости кузова – 0.32 , площадь лобового сопротивления – 1.8 кв.м., максимальная скорость движения 60 км/час.

Требуемая мощность электродвигателя автомобиля:

$$N = g * F_{тр} * m * V + C_x * S * V^2 + g * m * \sin \alpha , \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения;

$F_{тр}$ – трение качения по асфальту;

m – полная масса транспортного средства;

V – скорость движения, максимальная;

C_x – коэффициент обтекаемости, мидель;

S – лобовая площадь кузова;

α – угол наклона дорожного полотна.

Применив указанную формулу для нашего случая, имеем:

$$N = 9.8 * 0.018 * 1000 * 16.6 + 0.32 * 1.8 * (16.6)^2 + 9.8 * 1000 * \sin 15 = \\ 2928.24 + 158.72 + 2548 = 5634.96 \text{ Вт}$$

Для движения электромобиля по асфальту со скоростью до 60 км/час и допустимых подъемах 15% дорожного полотна необходима мощность на колесах 5.7 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:

$$\text{КПД} = 0.8 * 0.9 * 0.9 = 0.65$$

Реальная необходимая мощность электродвигателя

$$N_{п} = 3586,96 / 0.65 = 8669.16 \text{ Вт}$$

Выбираем электродвигатель с мощностью не менее 8.7 кВт. Из предлагаемых изготовителями электродвигателей и доступных на российском рынке наиболее лучше подходит электродвигатель компании Балканкар ЕС 10/7.5/28 мощностью 10 кВт, применяемый на электрокарах в качестве привода масляного насоса гидравлики.

Определим место положения электродвигателя в трансмиссии электромобиля.

Может быть несколько вариантов применения электродвигателя:

- двигатель подключается непосредственно к ведущему колесу;
- двигатель подключается к осевому дифференциалу ведущего моста;
- двигатель подключается к первичному валу коробки перемены передач.

Каждый из вариантов имеет свои преимущества и недостатки. Подключение электродвигателя непосредственно к колесу упрощает конструкцию трансмиссии, но требует подбора тихоходного электродвигателя, 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 трогания 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 связи с тем, что мы остановились на выборе серийного автомобиля для конвертации в электромобиль, последний вариант наиболее предпочтителен. В нем уже существуют все узлы трансмиссии для подключения электродвигателя. Остается только изготовить переходную план-шайбу и подвижную муфту соединения валов двигателя и КПП, а также дополнительный крепежный элемент

с опорной подушкой для крепления двигателя к кузову электромобиля. Это наиболее оптимальный вариант для минимизации затрат на изготовление электромобиля.

4 Разработка контроллера управления электродвигателем

Мощность описанного ниже контроллера далее называемого ШИ-регулятором, позволяет приводить в действие транспортное с силовой установкой рассматриваемого электромобиля.

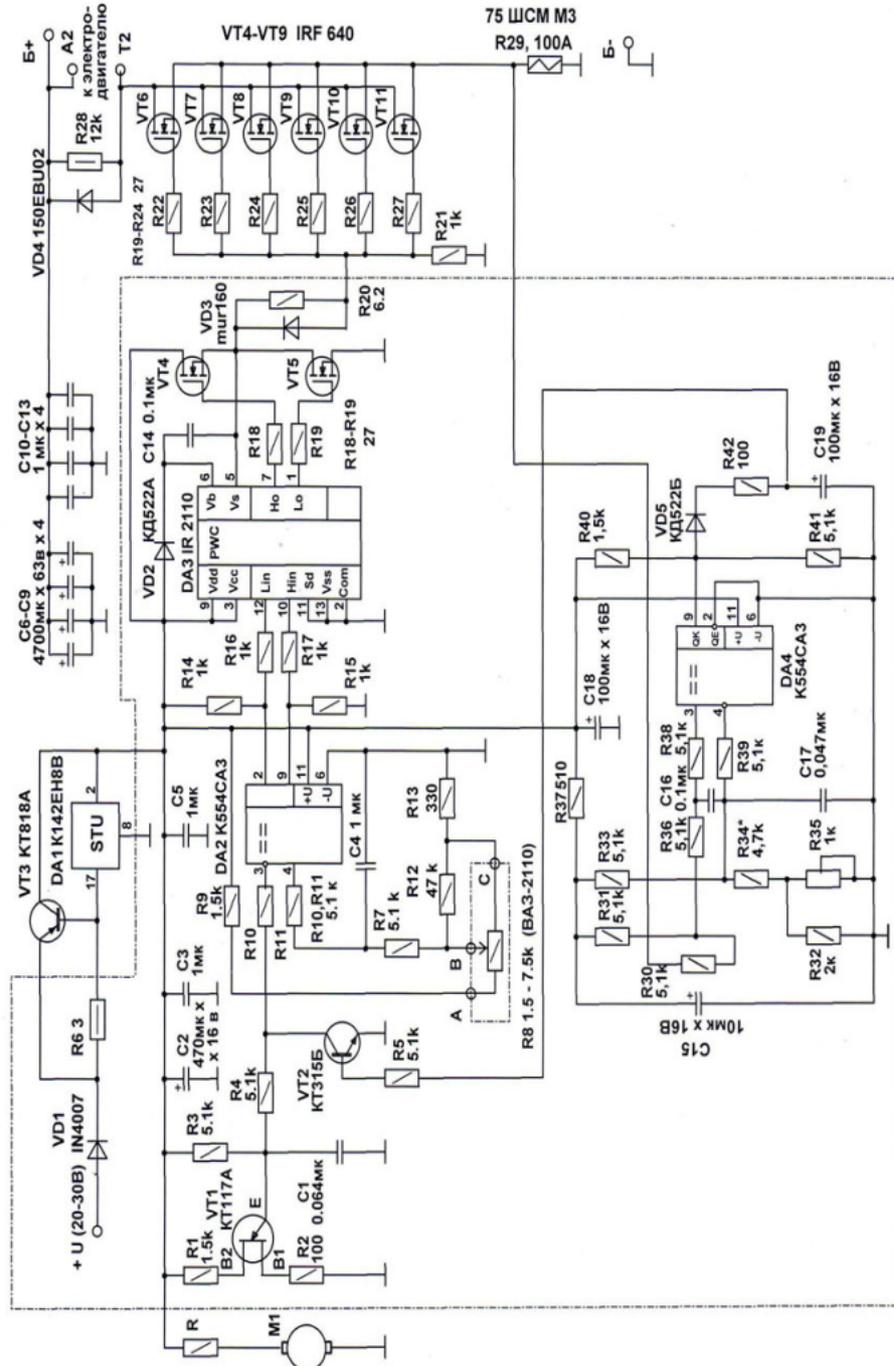


Рисунок 4.1 - схема электрическая принципиальная контроллера управления электродвигателем.

Описываемое устройство, схема которого показана на рисунке 4.1, состоит из пяти узлов: задающего генератора на транзисторе VT1, формирователя управляющих импульсов собранного на микросхемах DA2, DA3, мощного блока на транзисторах VT6 – VT11, блока питания VD1, R6, VT3 и DA1, блока защит на операционном усилителе DA4 охлаждающего вентилятора M1. ШИ-регулятор питается от двух источников: один напряжением от 20 до 30 В для питания слаботочной части устройства, второй для питания нагрузки, до 150 В. Тяговый электродвигатель с последовательным возбуждением подключают к контактам A2 и T2. Штриховой линией на схеме обозначены элементы, размещаемые на печатной плате.

Частотоподающим элементом ШИ-регулятора служит генератор треугольных импульсов на транзисторе VT1. Частоту 5...8 КГц, определяет цепь R3C1. Импульсы генератора поступают на инвертирующий вход компаратора DA2. На неинвертирующий его вход подано напряжение с движка резистора R8, управляющего частотой вращения ротора электродвигателя. Этот резистор - датчик дроссельной заслонки от автомобилей ВАЗ десятой серии. Сопротивление датчика изменяется от 1,5 до 7,5 кОм. В датчике в цепь ползунка включен встроенный резистор сопротивлением 1,5 кОм в дополнение к нему в ШИ-регуляторе в эту цепь добавлены резистор R7 и конденсатор C4 для уменьшения влияния «дребезга» контакта движка и увеличения плавности регулирования. В процессе эксплуатации на конкретном оборудовании, возможно, потребуется подобрать элементы этой цепи для получения нужной динамики процесса. Критерием удовлетворительной динамики в случае с электромобилем служит комфорт пассажира и водителя при разгоне и торможении, а также значение максимального тока через электродвигатель. Как показывает практический опыт применения ШИ-регулятора, для ускорения процесса торможения электродвигателя возможно потребуется зашунтировать резистор R7 диодом (КД522А), подключив его анодом к точке соединения резистора R7 и конденсатора C4 для ускорения разрядки этого конденсатора. Резистор R12 служит для предотвращения аварийной ситуации при случайном отключении резистора R8 или обрыве проводов, соединяющих резистор R8 с регулятором.

На выходе компаратора DA2 получаем последовательность импульсов с длительностью, задаваемой резистором R8. Далее сигнал поступает на усилитель мощности DA3 - формирователь импульсов с фронтами длительностью не более 120 нс, и далее на затворы мощных полевых переключательных транзисторов VT4 – VT9. Резисторы R22 – R27 в цепи затворов VT6 – VT11 выравнивают значения тока зарядки емкости затвора транзисторов. Импульс зарядного тока может достигать сотен миллиампер. При закрывании транзисторов разрядный ток протекает через резисторы R22 – R27, резистор R20, цепь R21, VD3 и выход усилителя VT4 и VT5. Скорость закрывания транзисторов не менее важна скорости открывания, от этого зависит степень их нагревания. При налаживании устройства необходимо контролировать напряжение управляющих импульсов на затворе мощных транзисторов, оно должно быть не менее 10 В, для исключения их перехода в линейный режим.

Напряжение питания нагрузки, управляемой транзисторами VT6 – VT11, зависит от характеристик применяемого электродвигателя, но не должно превышать номинальное напряжение сток-исток транзисторов. Для транзисторов IRF 640 максимальное напряжение не может превышать 150 вольт при токе нагрузки до 80 ампер.

Для питания слаботочной части устройства возможно использовать часть напряжения питания нагрузки, это удобно, электродвигатель питается от автомобильных батарей аккумуляторов.

Нагрузка ШИ-регулятора - электродвигатель защищается фиксирующим диодом VD4. Обратное напряжение диода должно быть не менее напряжения питания, а прямой ток не менее номинального тока двигателя. Можно использовать отечественные диоды ДЧ-150 или импортные 150EВU02.

При питании устройства от аккумуляторных батарей, их рекомендуется заблокировать конденсаторами С6 – С13 емкостью из расчета 10 000 мкф на один киловатт мощности нагрузки с целью уменьшения разрушающего действия тока высокой частоты на батарею аккумуляторов. Рабочее напряжение конденсаторов не менее напряжения батареи аккумуляторов.

Генератор, компаратор, формирователь импульсов и вентилятор питаются напряжением 15 В от блока, состоящего из стабилизатора DA1 и усилителя на транзисторе VT3.

Транзистор и стабилизатор необходимо устанавливать каждый на теплоотвод площадью до 20 см². В случае, если в устройстве мощные транзисторы установлены на теплоотводы, обеспечивающие достаточное их охлаждение, вентилятор M1 и транзистор VT3 можно не устанавливать и теплоотвод стабилизатора не применять.

Слаботочная часть устройства размещена на печатной плате .

Сигнал управления на выходные транзисторы рекомендуется подавать витой парой проводов непосредственно на затвор и исток транзисторов. Нежелательно пропускать ток управления транзистора через общий провод устройства, из-за опасности проникновения коммутационных помех из цепи нагрузки в цепь управления.

На операционном усилителе DA4 реализовано защитное устройство. Оно состоит из четырех узлов: измерительного моста на резисторах R30R31R32R33R34, накопителя заряда импульсов тока R36C16, компаратора DA4 и формирователя блокирующего импульса на элементах VD5,R41,C19,R42. Для защиты цепи питания устройства от наводок мощных импульсов управления применены конденсаторы C15 и C18.

Входной сигнал устройства представляет собой последовательность импульсов переменной длительности напряжением 75 мВ, снимаемых с измерительного шунта R29 в указанной выше статье. Значения напряжения и длительности входного импульса зависят от мощности нагрузки ШИ-регулятора, напряжения питания нагрузки (электродвигателя) и сопротивления шунта R29. Отсюда следует, что при изменении основных параметров силовой установки требуется регулировка устройства защиты.

Выходной импульсный сигнал устройства формируется на конденсаторе C19 и поступает на блокирующий транзистор VT2 ШИ-регулятора. Длительность блокирующего импульса определяется емкостью конденсатора C19, сопротивлением резистора R43 и равна примерно 1 с. При необходимости эту

величину можно менять исходя из назначения оборудования, где применяется ШИ-регулятор, путем изменения постоянной времени цепи C5, R14.

Входные импульсы поступающие на измерительный мост, изменяют напряжение в точке соединения резисторов R30 и R31 относительно образцового напряжения в точке соединения резисторов R33 и R34. Импульсы интегрирует цепь R36C16 и при достижении на конденсаторе C16 некоторого порогового напряжения, определяемого входными характеристиками компаратора DA1, происходит переключение компаратора в состояние с высоким напряжением на выходе. Напряжение на конденсаторе C16 достигнет уровня переключения компаратора тем быстрее, чем больше длительность входных импульсов. Параметры входной цепи защитного устройства выбраны так, что напряжение на конденсаторе C16 достигнет уровня переключения компаратора за время не менее 1 мс как только ток нагрузки ШИ-регулятора превысит предельный. Несколько иначе решена защита при замыкании в цепи нагрузки регулятора. В этом случае падение напряжения на шунте R29 превысит номинальное значение (в нашем случае 75 мВ), что приведет к немедленному переключению компаратора защитного устройства. Длительность импульсов в этом случае существенной роли играть не будет.

Налаживание устройства защиты сводится к установке образцового напряжения с помощью подбора резистора R34 и регулированию напряжения в точке соединения резисторов R33, R34 подстроечным резистором R35, так, чтобы устройство срабатывало при нагрузке, равной максимальной.

Образцовое напряжение в точке соединения резисторов R33 и R34 устанавливают исходя из значения падения напряжения на шунте R29 ШИ-регулятора. В нашем случае использован шунт промышленного изготовления 75ШСМ МЗ с номинальным значением 75 мВ

Налаживание устройства, собранного из исправных деталей заключается только в установке порога срабатывания устройства защиты резистором R35. Для этого собирают оборудование с которым будет работать устройство, и подключают его к ШИ-регулятору.

Последовательно с шунтом ШИ-регулятора R27 подключают контрольный амперметр. Электродвигатель выводят на предельный режим работы и резистором R6 устанавливают момент срабатывания защитного устройства. При необходимости изменить время задержки включения нагрузки следует подобрать конденсатор C5.

Устройство защиты можно разместить на общей плате с ШИ-регулятором мощного электродвигателя. Место для него необходимо выбрать подальше от цепей и деталей, через которые течет большой импульсный ток, и, если необходимо, воспользоваться экранированием.

Устройство, собранное из исправных деталей, практически, не требует налаживания.

Достаточно ограничиться проверкой диапазона регулировки выходной мощности и при необходимости подобрать резисторы R9 и R13, убедиться в величине не менее 10 В управляющих импульсов на затворах транзисторов VT6 – VT11. Частота задающего генератора существенно не влияет на качество работы устройства, поэтому достаточно ограничиться проверкой наличием частоты следования импульсов 5-8 КГц на эмиттере транзистора VT1.

Выходные транзисторы устанавливают на медную пластину размерами 160x60x4 мм., служащую теплоотводом и охлаждаемую вентилятором M1. Без применения вентилятора площадь теплоотвода для каждого транзистора рассчитывается исходя из его характеристик и рассеиваемой мощности. В качестве охлаждающего вентилятора можно использовать вентилятор от кулера персонального компьютера, подключенный через предварительно подобранный резистор для понижения напряжения на нем до 9...12 В.

Корпус теплоотвода допустимо использовать в качестве объединенного вывода истока транзисторов. Исток транзистора электрически надежно соединен с монтажным фланцем.

Батарей конденсаторов C6-C13 целесообразно размещать в непосредственной близости от батареи аккумуляторов, а при использовании на транспортном средстве - заключить в герметичный бокс. Фиксирующий диод VD4 можно расположить в любом удобном месте. Шунт R27 при работе с

защитным устройством используется готовый 75ШСМ М3 (или 75ШС). Номинал его подбирают исходя из тока нагрузки регулятора.

Для подключения нагрузки следует применять медные провода с сечением токопроводящей жилы из расчета 8 А на 1мм², например подойдет провод из серии ПВЗ. На концах проводов монтируют кабельные наконечники, соответствующие их сечению.

Часть электронной схемы ШИ-регулятора размещена на печатной плате изображенной на рисунке 4.2. Остальные элементы схемы размещаются внутри конструктивна контроллера.

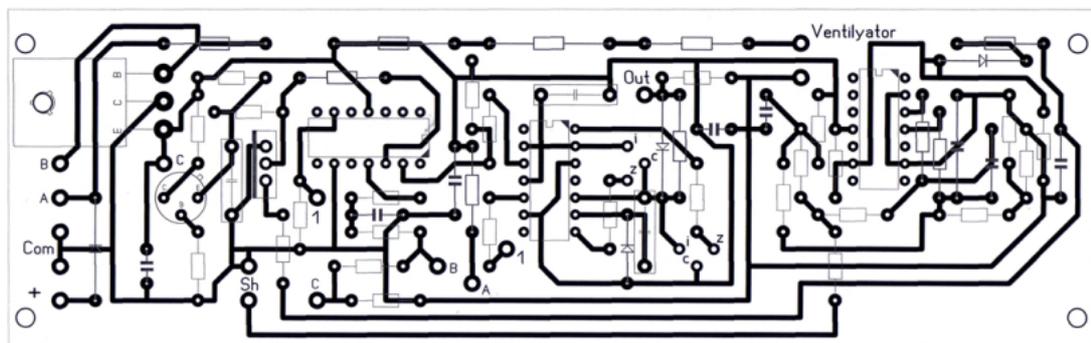


Рисунок 4.2- Печатная плата ШИ-регулятора

В настоящее время для изготовления односторонних и двусторонних печатных плат наибольшее распространение получили три метода: химический, электрохимический (полуаддитивный), комбинированно позитивный. Химический метод широко применяется в производстве не только односторонних печатных плат, но и для изготовления внутренних слоев многослойных печатных плат, а также гибких. Основным преимуществом химического метода является простота и малая длительность технологического цикла, что облегчает автоматизацию, а недостатком отсутствие металлизированных отверстий и низкое качество.

Электрохимический (полуаддитивный) метод дороже, требует большого количества специализированного оборудования, менее надежен. Необходим главным образом для изготовления двусторонних печатных плат.

Комбинированно позитивный метод основан на химическом и электрохимическом методах. Позволяет получить проводники повышенной

точности. Преимуществом позитивного комбинированного метода по сравнению с негативным является хорошая адгезия проводника, повышенная надежность монтажных и переходных отверстий, высокие электроизоляционные свойства. Последнее объясняется тем, что при длительной обработке в химически агрессивных растворах (растворы химического меднения, электролиты и др.) диэлектрическое основание защищено фольгой.

Проанализировав все методы, выбран метод комбинированно позитивный т.к. по сравнению с химическим он обладает лучшим качеством изготовления, достаточно хорошими характеристиками, что необходимо в измерительной аппаратуре и есть возможность реализации металлизированных отверстий.

5 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

Вопросы стоимости АКБ для электромобиля стоят очень остро. Аккумулятор является основной расходной частью, поэтому вопросы минимализации расходов на смену АКБ должны стоять на одном из первых мест при расчете электромобиля.

Свинцово-кислотные аккумуляторы – первооткрыватели в ряду вторичных химических источников тока. Уже около полутора веков свинцово-кислотные аккумуляторы верой и правдой служат электромобилестроительству.

В 1859 году были изобретены первые, привычные сейчас, свинцово-кислотные аккумуляторы. С 1890 года свинцово-кислотные батареи стали выпускаться в промышленных масштабах. В 1957 году были изобретены батареи с гелевым электролитом, не требующие ухода. В 1970х годах в промышленности появились также герметизированные батареи, в которых электролит был адсорбирован на сепараторе. В 1980х появились электроды из сплава свинца с кальцием для улучшения прочности электрода при снижении его веса.

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 в месте соединения образуют "сэндвич": сначала идет электрод одной полярности, он вплотную примыкает к токопроводящей стенке, соединяющей соседние банки, потом к этой же стенке примыкает электрод противоположной полярности из соседней банки. Так как "сэндвич" объединяет в себе электроды разной полярности, то данный объединенный электрод называется биполярным, а батарея, созданная по данной технологии – биполярной.

Литий-ионные аккумуляторы являются самыми перспективными для использования в качестве тяговых батарей для электротранспорта. Технология производства литий-ионных аккумуляторов постоянно совершенствуется, совершенствуются характеристики, уменьшается стоимость производства аккумуляторов. Возможно, литий-ионные аккумуляторы могут стать основным источником питания электромобилей в самом ближайшем будущем.

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 (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 аккумулятор (LiFePO₄) - одна из разновидностей перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов, которые используют LiFePO₄ в качестве катода. В настоящее время не слишком широко распространены. Элементы LiFePO₄ 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.

Еще один тип литиевых элементов - полимерно-литиевые аккумуляторы могут служить недорогой заменой для своих ионно-литиевых собратьев. Они обладают еще более высокой энергетической плотностью (175 Вт.ч/кг) и малым током разряда, но их использование ограничено низким током нагрузки. Типичное количество циклов заряд - разряд 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 (NaAlCl₄) в качестве жидкого электролита. Для работы этого аккумулятора необходимо поддерживать внутреннюю температуру на уровне 270-350°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 ставят 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 киловат-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 мощностные нагрузки 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 предпочтительнее быстрая импульсная зарядка чем медленная постоянным током. Эти батареи могут выдать большую мощность, что определяет их выбор для такой мощностной нагрузки, как двигатель электромобиля. Никель-кадмиевые батареи единственный тип батарей, который выдерживает полную разрядку при большой нагрузке без каких-либо последствий. Остальные типы батарей требуют неполной разрядки при относительно невысоких мощностных нагрузках.

Никель-кадмиевые батареи не любят длительной зарядки при эпизодической небольшой нагрузке. Периодическая полная разрядка 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.

Первые работы по разработке электрохимических конденсаторов проводились в середине 19 века Гемгольцем. Тогда же им было теоретически описано строение двойного электрического слоя на поверхности электродов и предсказание использования данного явления в устройствах для запасания энергии.

Первые практические результаты научных работ, связанных с применением суперконденсаторов относятся к середине 20 века, когда появился широкий круг материалов, позволяющих практически реализовать идею суперконденсатора. С другой стороны, разработку новых типов конденсаторов подстегивала

потребность промышленности в мощных, быстро заряжаемых источниках тока с большим ресурсом.

Работы по улучшению свойств электрохимических конденсаторов привели к появлению в конце 20 века суперконденсаторов с емкостью до $10 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}$, 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 $10-12 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}$, массовые - $5-6 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}$. Большое падение напряжения при разряде и высокая стоимость, до USD10 за килоджоуль накопленной энергии при нынешнем мелкосерийном производстве суперконденсаторов сдерживают применение суперконденсаторов. При расширении производства стоимость может быть уменьшена в 7-10 раз.

Цинк-воздушные элементы питания известны давно и относятся к химическим топливным элементам. Преимуществами, позволившими занять эту нишу цинк-воздушным первичным химическим источникам тока явилась высокая емкость и длительный срок хранения в неактивированном состоянии

Устройство механически перезаряжаемых цинк-воздушных батарей просто: в емкость, разделенную на отсеки вставляются несъемные электроды, на которых адсорбируется и восстанавливается кислород воздуха и съемные кассеты, заполняемые гранулами цинка (расходный материал анода). В качестве электролита используется гидроксид калия, между положительным и отрицательным электродами прокладывается сепаратор. Для начала использования цинк-воздушного элемента вынимается пробка, препятствующая доступу воздуха внутрь. В результате окисления цинка до оксида цинка появляется ЭДС, равная 1,65В.

После выработки активного материала цинк-воздушную батарею нужно зарядить – заменить гранулы окисленного цинка в анодной кассете на свежий цинк. Данный процесс напоминает заправку топливом автомобилей с ДВС – для электротранспорта с цинк-воздушными батареями требуется развитая структура цинкозаправочных, цинковозовых и цинк-перерабатывающих предприятий, на которых электро-химическими методами восстанавливается оксид цинка из отработанных анодов, потому справедливо назвать цинк-воздушные элементы "топливными". Причиной использования такой сложной технологии является то, что цинк-воздушные элементы питания имеют плотность энергии в 2-2,5 раза большую, чем у наиболее емких из распространенных на сегодняшнее время – литий-ионных аккумуляторов.

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

В таблицу 5.1 сведены распространённые виды источников тока.

Таблица 5.1 – Существующие виды источников тока

Источник ток	Энергетическая мощность Вт*час/кг	Срок службы (циклов заряда-разряда)
Свинцово-кислотные аккумуляторы	30	300
Никель-кадмиевые аккумуляторы	40 - 60	1500
Никель-металлогидридные аккумуляторы	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	неограничено
Цинк-воздушные топливные батареи	220	неограничено

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 5А 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 100А в течении менее 1 часа), т.е. реальная мощность аккумулятора уменьшается с увеличением тока нагрузки. Но при движении электромобиля 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:

$$C_p = I^n * T, \quad (2)$$

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:

$$C_p = I_1^n * T_1 = I_2^n * T_2, \quad (3)$$

преобразуя выражение, получаем формулу расчета экспоненты Пекерта:

$$n = \log(T_2/T_1)/\log(I_1/I_2), \quad (4)$$

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

$$T = C_p/I^n, \quad (5)$$

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.

6 Питание бортового и вспомогательного оборудования

Устройство питания бортового оборудования предназначено для обеспечения энергией приборов и осветительного оборудования.

В связи с тем, что электромобиль использует серийное оборудование для автоматизации процессов измерения физических параметров, как и обычный автомобиль, то и энергетическое обеспечение должно быть стандартным, а именно напряжением 12 вольт.

Для нашего электромобиля применим серийный аккумулятор емкостью 60 а/час, рассчитанный по приведенной ниже таблице и предусматривающий 10% запаса энергии. Количество потребляемой энергии сведено в таблице 6.1.

Таблица 6.1- Потребление тока оборудованием электромобиля

Наименование	Потребление тока, А	Время непрерывной работы, час	Потребляемая от батареи емкость А/час
Фары ближнего света	14	1	14
Приборы показывающие	2	1	2
Габаритные фонари	8	2	16
Прочие наружные фонари	4	1	4
Обогреватель салона, климат-контроль	15	0.5	7.5
Гидроусилитель руля	5	1	5
Насос тормозной системы	5	1	5
Электродвигатель дворников	6	0.05	0.3
Итого	59		53.8

Для пополнения энергией бортовой батареи целесообразно использовать значительный запас энергии тяговой батареи. Для преобразования уровней напряжений применим конвертор типа DC/DC 72в/12в. Из имеющихся на российском рынке используем конвертер SD-150C-12, производства Тайвань.

7 Решение вопроса отопления электромобиля

7.1 Способы отопления салона электромобиля

Вопрос отопления салона актуален в зимний период, а также важно иметь источник отопления для удаления влаги с внутренней поверхности лобового стекла при его отсыревании, при высокой влажности или резком перепаде температур, например при резком похолодании во время дождя.

Для автомобилей с двигателями внутреннего сгорания отбор тепла от него и подача в салон решается довольно легко. С электромобилями это проблематично. Источником энергии на борту является тяговая батарея, но эта энергия нужна для приведения в действие электродвигателя и ее желательно экономить. Поэтому всегда обсуждается способ отопления салона на стадии проектирования.

Для обсуждения предлагается:

- электрический отопитель с отбором энергии от тяговой батареи.
- газовый отопитель от баллона с газом на борту электромобиля
- топливный отопитель с питанием на бензине, солярке, спирте

Вырабатываемая тепловая энергия может подаваться непосредственно в салон путем нагревания воздуха или нагрев теплоносителя системы отопления. Первый способ может иметь пожарную опасность при наличии открытого огня в приборе выработки тепла или токсичность. Второй способ позволяет использовать систему отопления аналогичную серийному автомобилю, а источник открытого огня вынести за пределы салона и соответствующим образом обеспечить его безопасность с безопасным выбросом отработавших газов за пределы автомобиля.

Электрический отопитель наиболее прост в изготовлении, компактен, пригоден для непосредственного нагрева воздуха. Отрицательные черты: некоторое иссушивание воздуха, что может повлиять на комфортность и вторая, не производительное уменьшение запаса энергии тяговой батареи. Второй недостаток со временем потеряет актуальность при получении от

промышленности аккумуляторных батарей удовлетворяющих требованиям электротранспорта: компактность, легкость, высокая емкость, относительная дешевизна.

Газовый отопитель несколько привлекателен из-за его экологической чистоты, но его взрывоопасность несколько смущает в применении. Некоторые изготовители электромобилей отказываются от газового отопителя именно из-за этого его недостатка. В случае применения этого способа отопления легко применить существующие печки автомобилей с воздушным охлаждением двигателя внутреннего сгорания. Например, известный отечественный автомобиль ЗАЗ-968 имел такой отопитель и он легко переводится на газовое топливо. С его помощью забирается воздух снаружи салона и после нагрева подается во внутрь электромобиля.

Топливный отопитель достаточно распространен в настоящее время. Его стоимость достаточно высока, но его легко встроить в существующую систему жидкостного отопления. Это особенно важно при конвертировании серийного автомобиля в электромобиль. Выбор топлива, дело вкуса автора проекта или владельца электромобиля.

7.2 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

$$Q = - \lambda dt/dx \quad (6)$$

где, Q – тепловой поток, проходящий через единицу перпендикулярной ему поверхности, Вт/м²;

λ – 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 σ формула примет вид:

$$Q = \lambda(t_1 - t_2) / \sigma, \quad (7)$$

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

$$Q_T = Q \cdot A = A \cdot (t_1 - t_2) / R, \quad (8)$$

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 вызвана движением электромобиля и расчет ведется из условия создания перепада давлений между наружным воздухом и внутренним при движении транспортного средства со скоростью 60 км/час.

Расход тепла на нагревание инфильтрационного воздуха определяется по формуле:

$$Q_T = 0,28 \cdot G \cdot C \cdot A (t_{вн} - t_{нар}) \cdot K, \quad (9)$$

где C – теплоемкость воздуха, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{°С})$, $C = 1,006 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{°С})$;

K – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях;

A – площадь поверхности, кв.м.

Сведем в таблицу 7.1 данные известные из справочников для расчета теплопотерь электромобиля

Таблица 7.1 – Теплопотери электромобиля

Поверхность	Теплопроводность, Вт/(м ² ·°С)	Термическое сопротивление м ² ·°С/Вт	Воздухопроницаемость G, кг/(м ² ·ч)
Окно	8.0	-	-
Крыша с шумоизоляцией без перфорации	6.5	-	-
Боковые стенки с воздушным промежутком	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.

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{кр}} + Q_{\text{лоб}} + Q_{\text{и}} \quad (10)$$

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

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.

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

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

$$Q_{к} = 1,6 * 37 * 12,0 + 2,1 * 37 * 5,5 = 710 + 427 = 1137 \text{ Вт}$$

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

$$Q_{и} = 0,28 * G * C * A * (t_{вн} - t_{нар}) * K = 0,28 * 5 * 1.006 * 1,85 * 37 * 1 + \\ + 0,28 * 1,5 * 1.006 * 1,6 * 37 * 1 = 96 + 25 = 121 \text{ Вт}$$

Итого общие потери тепла через кузов электромобиля:

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

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). Применив формулу теплоемкости тела:

$$Q = cm * (t_{вн} - t_{нар}), \quad (11)$$

где C - теплоемкость воздуха;

m – масса воздуха.

Определим требуемое количество энергии:

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

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.

7.3 Подбор обогревателя салона

Прежде чем подбирать обогреватель определимся с видом нагревателя.

Пусть это будет электрический обогреватель, как наиболее простой в использовании, наиболее дешевый, что актуально. Потому, что мы ставим задачу создать экономически дешевый экземпляр электромобиля. При этом осознаем необходимость пожертвовать энергией тяговой батареи в ущерб дальности пробега. При использовании электромобиля для поездок на работу и с работы, а в этом качестве он обычно и используется, потери энергии не существенно усугубляют проблему энергетики электромобиля.

Поиск на российском рынке электроподогревателей вывел на нагреватели СКП производства «Завода по производству ТЭНов» в городе Сергиев Посад Московской области. Производитель готов изготовить под заказ электронагреватели СКП любой формы и любой мощности. Таким образом возможно получить нагревателя для установки в удобное для водителя место в салоне электромобиля. Полное наименование нагревателя для заказа СКП-10,0-10,0-3,0-72. Площадь поверхности нагрева 1225 мм. Количество пластин нагрева может быть любое, в том числе можно обойтись одной пластиной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система электроснабжения электромобиля предназначена как для серийно выпускаемым электромобилей, так и для вновь разрабатываемых.

В ходе работы над дипломным проектом был проведен подробный анализ существующих систем электроснабжения электромобиля и перспектив развития таких систем, разработаны функциональная и электрическая принципиальная схемы системы электроснабжения электромобиля и алгоритм ее работы, произведен выбор и расчет элементов электрической принципиальной схемы, разработаны печатная плата контроллера и технология ее изготовления, произведен расчет затрат на разработку и создание инновационного проекта, рассмотрены вопросы экологичности и безопасности и произведен расчет вентиляции участка изготовления печатных плат.

Разработанную систему электроснабжения электромобиля возможно применить как основу для создания малосерийных электромобилей, конвертации серийных автомобилей в электромобиль, что несомненно благоприятно повлияет на улучшение экологической обстановки в мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Партала О. Н. Радиоконпоненты и материалы: Справочник. -К.: Радіоматор, М. :КУБК- а, 1998. - 720 с.
2. Сосин Д.А., Яковлев .Ф. Новейшие автомобильные электронные системы.- М.: СОЛОН- Пресс, 2005. - 240 с.
3. Александров К.К., Кузьмин Е.Г. Электротехнические чертежи и схемы - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288 с.
4. Александров К.К., Колотилина Т.Ф., Кузьмина Е.Г. Оформление конструкторской документации в электротехнике.-М.: МЭИ ,1985- 88 с.
5. Бусыгин Б.П. Электромобили (методы расчёта)- Учеб. Пособие - Москва : МАДИ 1979.-74 с.
6. Скотников В. А., Мащенский А. А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. – 383с.
7. Щетина В. А., Морговский Ю.Я., Богомазов В.А. Электромобиль : Техника и экономика; Под общ. ред. Щетины В. А. – Л.: Машиностроение, 1987. – 253 с.
8. Козловский А.Б., Яковлев А.И. Испытательные циклы электромобиля – Л.: Автомобил.промышленос ть, 1983- 12 с.
9. Трантер А. Руководство по электрическому оборудованию автомобилей – С.-П.: Наука, 2001 - 283с.
10. Четверткова И.И. Резисторы – М.: Энергоиздат, 1973 – 150с.
11. Лавру В.С. Источники энергии- М.: Наука и техника, 1997- 200с.
12. Варыпаев В.Н. Химические источники тока М.: Высшая школа, 1990 – 180с.
13. Лихачёв В.Л. Электродвигатели асинхронные М.: Солон – Р, 2002 – 180с.
14. Кириев Э.А., Гусев Л.В. Справочник электрика С.-П.: Колос, 2007 – 300с.
15. ГОСТ 21.614-88 (СТ СЭВ 3217-81) Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах

16. Горина Л.Н. Инженерные расчёты уровней опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах. – Учеб. пособие. – Тольятти: ТГУ, 2007 - 136с.

17. ГОСТ 30494-96 Параметры микроклимата в помещениях

18. Е.Г. Малявина Теплопотери здания. Справочное пособие. Москва. «Авок-Пресс», 2007 г. – 60с.