

Московский государственный индустриальный университет,  
Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала  
армии В.Ф. Маргелова

На правах  
рукописи

**ГАРМАШ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**Совершенствование систем электрооборудования  
автомобилей на основе адаптивных преобразователей  
электрической энергии**

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор Сарбаев  
Владимир Иванович

Москва – 2017

## Содержание

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>Глава1 Анализ состояния проблем эксплуатации бортовых потребителей электроэнергии автомобилей.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b> Анализ назначения, состава и состояния существующего парка автомобильной техники, условий и особенностей его использования...	14
<b>1.2</b> Анализ проблем пуска двигателя, связанных с аккумуляторной батареей.....	22
<b>1.3</b> Анализ проблем, возникающих при работе генераторной установки.....	29
<b>1.4</b> Анализ работы вспомогательного электропривода.....	32
<b>1.5</b> Анализ проблем при пуске двигателя внутреннего сгорания.....	39
<b>1.6</b> Анализ проблем системы зажигания.....	53
<b>1.7</b> Классификация преобразователей параметров электрической энергии .....	68
<b>1.8</b> Выводы. Постановка задач. Принципы совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники .....	75
<b>Глава 2 Обоснование принципов построения электрооборудования, теоретическое исследование и моделирование рациональных закономерностей изменения параметров электроснабжения систем электрооборудования автомобилей</b>	<b>82</b>
<b>2.1</b> Математическая модель системы электропуска.....	82
<b>2.2</b> Математическая модель метода регулирования напряжения питания системы зажигания.....	102
<b>2.3</b> Основы теории применения импульсных адаптивных систем электропитания в системе электроснабжения.....	108
<b>2.4</b> Основы теории применения адаптивных систем электропитания в	

электроприводе вспомогательного оборудования.....	116
<b>2.5</b> Формирование требований к системам электрооборудования автомобилей с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии .....	123
<b>Глава 3 Теоретические основы проектирования систем электроснабжения с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии.....</b>	<b>132</b>
<b>3.1</b> Система электропуска двигателя внутреннего сгорания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии...	132
<b>3.2</b> Система зажигания двигателя внутреннего сгорания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии.....	137
<b>3.3</b> Система электроснабжения автомобилей с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии.....	144
<b>3.4</b> Система электропривода вспомогательного оборудования автомобилей с адаптивными преобразователями электрической энергии.....	159
<b>Глава 4 Экспериментальное исследование систем электрооборудования автомобилей с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии</b>	<b>187</b>
<b>4.1</b> Экспериментальные исследования системы пуска двигателя внутреннего сгорания с импульсной адаптивной системой электропитания.....	187
<b>4.2</b> Экспериментальное исследование системы зажигания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии.....	203
<b>4.3</b> Исследование температурной зависимости прямого падения напряжения на диоде на основе широкозонного полупроводника ...	222
<b>Глава 5 Техническая и экономическая оценка эффективности применения адаптируемых импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобилей. Возможные пути реализации теоретических и практических</b>	

<b>разработок.....</b>	<b>226</b>
<b>5.1</b> Эффективность функционирования систем электрооборудования автомобилей с адаптируемыми преобразователями параметров электрической энергии.....	<b>226</b>
<b>5.2</b> Техническая и экономическая оценка эффективности применения адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобильной техники.....	<b>234</b>
<b>5.3</b> Возможные пути реализации теоретических и практических разработок.....	<b>237</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>247</b>
<b>Список сокращений и условных обозначений</b>	<b>252</b>
<b>Словарь терминов</b>	<b>256</b>
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>260</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>301</b>

## Введение

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью повышения уровня работоспособности отечественной автомобильной техники (АТ) [1-12].

Показателями уровня работоспособности являются: срок износа ДВС, влияние на экологию окружающей среды, время подготовки автомобиля к работе в экстремальных природно-климатических и температурных условиях.

Данные показатели в определяющей степени зависят от качества работы электрооборудования автомобильной техники. В настоящее время системы электрооборудования автомобилей построены таким образом, что все потребители соединены параллельно и подключены к бортовой сети. При подобном подключении системы электрооборудования оказывают взаимное влияние через общий источник питания, что не способствует высокой работоспособности. Так, при пуске двигателя внутреннего сгорания (ДВС) напряжение бортовой сети может снижаться до уровня 5,5 В (при 12В. бортовой сети), что не позволяет получить бесперебойного искрообразования, и делает невозможным пуск ДВС. Рационально выбранным напряжением для аккумуляторной батареи является уровень  $13,9 \pm 0,1В$ , при этом регулятор напряжения настроен на диапазон 13,2-14,4 В, а номинальное напряжение ламп накаливания – 12 В, изменение напряжения на лампах накаливания систем освещения и сигнализации на 10 - 15% изменяет их срок службы в несколько раз. При питании потребителей энергии никак не учитываются их особенности, режим работы двигателя внутреннего сгорания и внешние параметры окружающей среды. Так, система пуска определяет не только его надежность, но и влияет на износ двигателя; система зажигания определяет качество поджига рабочей смеси, влияет на динамику автомобиля, полноту сгорания топлива, топливную экономичность, и, следовательно, экологию окружающей среды. Система охлаждения ДВС должна поддерживать темпе-

ратуру двигателя в строго определенных пределах; отклонение температуры влияет как на токсичность отработавших газов, так и на ресурс работы двигателя, его топливную экономичность и тягово-скоростные свойства. Настройки системы электроснабжения оказывают влияние на срок службы аккумуляторной батареи, других потребителей электроэнергии, а также на пусковые качества ДВС. Системы отопления и вентиляции салона, стекло- и фарочистки, как показывают последние исследования, влияют на утомляемость водителя АТС и пассажиров, и, следовательно, на безопасность движения.

Устранение указанных недостатков в работе электрооборудования является актуальной задачей в решении проблемы повышения работоспособности АТ в целом.

**Степень разработанности.** Исследованию электрооборудования автомобилей посвящены работы Ерохова В.И., Набоких В.А., Опарина И.М., Бурячко В.Р., Ютта В.Е., Чижкова Ю.П., Данова Б.А., Квайта С.М., Полякова Н. А., Акимова С.В., Дасояна М. А., Грига А. Д., Эйдинова А. А., Hidall A. L. и ряда других авторов [8-28].

В известных работах решены отдельные вопросы совершенствования конструкции различных подсистем электрооборудования АТ, сделаны попытки создания комбинированных с конденсаторными накопителями энергии источников электропитания, проведены исследования систем зажигания с регулируемым временем накопления заряда, предложены варианты микропроцессорных систем управления зажиганием ДВС.

Недостатками известных работ являются разрозненность и противоречивость полученных результатов и невозможность приведения их к единой методике формирования и оценки новых принципов эффективного энерго-распределения в электрооборудовании АТ.

Задача формирования и оценки новых принципов эффективного энергораспределения в электрооборудовании АТ носит комплексный характер, так как при этом должны быть учтены особенности работы не только электротехнического комплекса, но и обслуживаемого им большого разнообразия

силовых и вспомогательных аппаратов и узлов в широком диапазоне режимов их работы.

Решением такой задачи может быть разработка комплексной системы раздельного (дифференцированного) энергоснабжения аппаратов и узлов АТ с применением адаптивных преобразователей параметров электрической энергии.

Влияние настроек систем электрооборудования на эксплуатационные характеристики автомобиля показано на рисунке 1.

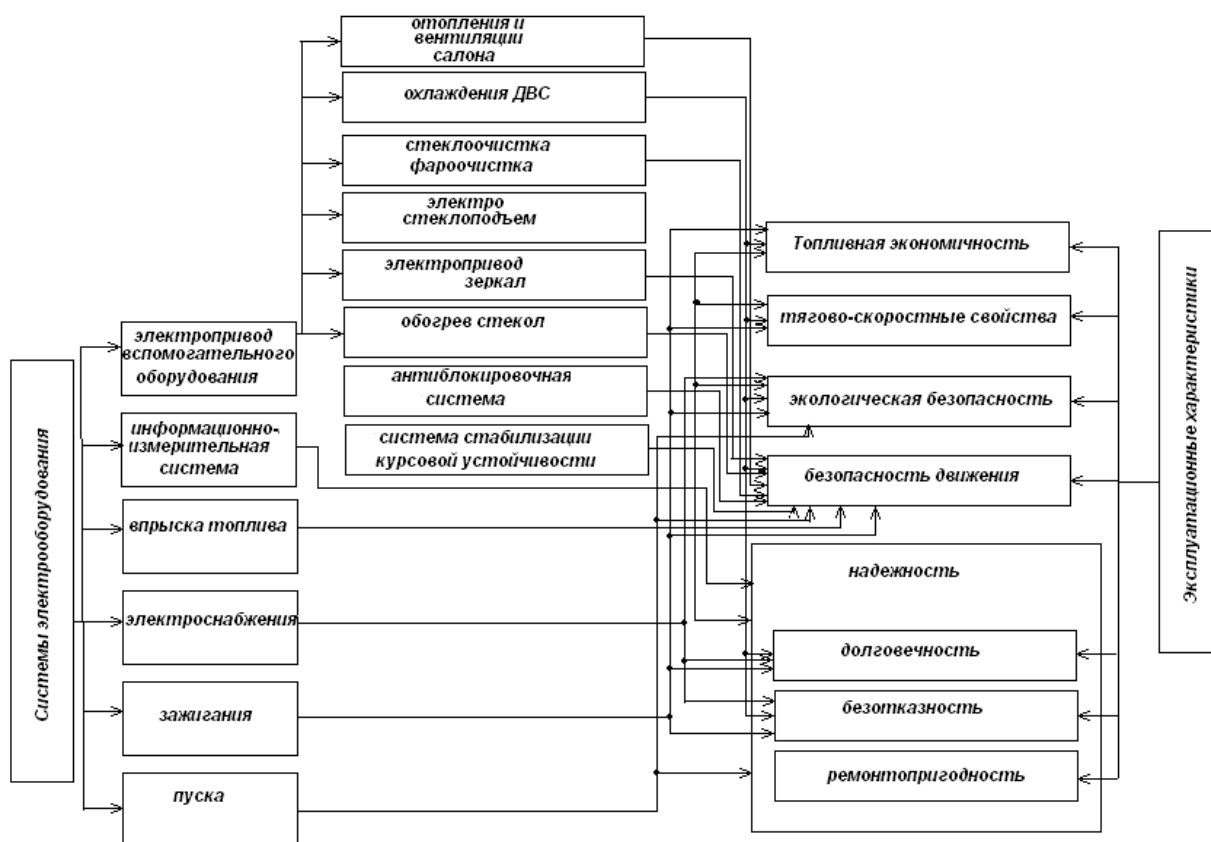


Рисунок 1 - Влияние настроек систем электрооборудования на эксплуатационные характеристики автомобиля

**Цель исследования** – разработка методов и средств дифференцированного электроснабжения систем электрооборудования автомобилей с применением адаптивных преобразователей параметров электрической энергии.

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

- выполнить анализ проблем электроснабжения бортовых потребителей электроэнергии автомобильной техники;

- разработать математическую модель процесса электрического пуска автомобильного двигателя в широком диапазоне питающих напряжений электродвигателя стартера;

- разработать численную модель функционирования системы зажигания бензинового двигателя для широкого диапазона подаваемых напряжений, теоретически обосновать устройство автоматического регулирования системы зажигания, обеспечивающее стабильную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению;

- требуется проведение теоретических исследований, выявление и формулировка закономерностей изменения эксплуатационных характеристик потребителей энергии в зависимости от величины подаваемых напряжений системы электроснабжения и на основе выявленных закономерностей исследовать возможности увеличения срока службы аккумуляторных батарей, установленных на автомобиле;

- исследовать зависимости эксплуатационных характеристик электроприводов вспомогательного оборудования систем вентиляции и отопления салона, охлаждения ДВС, стеклоочистителей, стеклоподъемников от питающих напряжений и теоретически доказать возможность автоматического регулирования изменения величины подаваемых напряжений;

- на основе предложенных теоретических положений, математических моделей, полученных экспериментальных зависимостей, разработать принципы построения бортового электрооборудования автомобилей, предусматривающих дифференцированное питание потребителей и плавное изменение подаваемых напряжений первичных источников на основе высокочастотного импульсного автоматического регулирования с помощью адаптивных преобразователей параметров электрической энергии при напряжениях больших и меньших напряжений основных источников питания с целью получения экономичных и рациональных характеристик электрооборудования;



- требуется разработка эффективных электрических устройств для основных систем электрооборудования автомобильной техники с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии, обеспечивающих улучшение пусковых свойств двигателя внутреннего сгорания, бесперебойное искрообразование системы зажигания, улучшение эксплуатационных характеристик системы электроснабжения с учетом режимов работы потребителей энергии, улучшение эргономических, скоростных, температурных и прочих эксплуатационных характеристик, обеспечиваемых электроприводом;

- провести экспериментальные исследования усовершенствованных систем пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования с разработанными преобразователями параметров электрической энергии в автомобильной технике.

**Научная новизна исследования** заключается в разработке

- новых принципов построения электрооборудования и теоретических положений по улучшению эксплуатационных характеристик бортового электрооборудования автомобиля, заключающиеся в организации дифференцированного питания потребителей с помощью регулируемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников энергии;

- математической модели системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания с конденсаторным накопителем энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные, на основе которых разработаны электрические устройства, конструктивные и технологические решения, обеспечивающие повышение мощности системы пуска двигателя, с учетом температуры окружающей среды;

- математических моделей и предложенных на их основе устройств системы зажигания, содержащих для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот - понижающий преобразователь, напряжения которых обеспечивают постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению;

- технических решений системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающих с учетом температурного режима повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи;
- технических решений по разделению прикладываемых к потребителям электрической энергии напряжений, формируемых источником вторичного электропитания, обеспечивающего напряжение на уровне номинального, не зависящее от напряжения аккумуляторной батареи;
- электроприводов вспомогательного оборудования, обеспечивающих плавное регулирование напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального.

**Теоретические основы исследования.** Диссертационное исследование проведено на основе анализа многочисленных трудов отечественных и зарубежных учёных путём формирования и научной аргументации новых научных положений и практических предложений в области улучшения эксплуатационных характеристик электрооборудования транспортной (в том числе автомобильной) техники. При выполнении работы использованы методы системного анализа, математического моделирования, а также численные методы, в том числе, аппарат дифференциальных и алгебраических уравнений, операционного исчисления с применением традиционных способов их решения на базе разработанных автором алгоритмов и предложенных принципов построения электрооборудования.

**Положения, выносимые на защиту:**

- принципы построения электрооборудования и теоретические положения по улучшению эксплуатационных характеристик бортового электрооборудования автомобиля, заключающиеся в организации дифференцированного питания потребителей с помощью регулируемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников энергии;
- математическая модель системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания с конденсаторным накопителем энергии в широком диапазоне

напряжений, превышающих номинальные, на основе которых разработаны электрические устройства, конструктивные и технологические решения, обеспечивающие повышение мощности системы пуска двигателя;

- математические модели, и предложенные на их основе устройства системы зажигания, содержащие для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот - понижающий преобразователь, напряжения которых обеспечивают постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению в пределах 1,4-2;

- технические решения системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающие с учетом температурного режима повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи;

- устройства, технические решения по разделению прикладываемых к потребителям электрической энергии напряжений, формируемых источником вторичного электропитания, обеспечивающего напряжение на уровне номинального, не зависящее от напряжения аккумуляторной батареи;

- электроприводы вспомогательного оборудования, обеспечивающие плавное регулирование напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального.

**Практическая значимость исследования.** Теоретические и экспериментальные исследования были проведены на автомобилях марок КамАЗ (24В бортовая сеть, дизель), ЗиЛ-4334, ГАЗ-3110, ВАЗ-21074 (бортовая сеть 12В, бензиновые двигатели внутреннего сгорания). Разработанные научные положения, предложенные устройства и технические решения значительно улучшают эксплуатационные характеристики автотранспортных средств и могут быть использованы при создании новых образцов автомобильной техники и при модернизации эксплуатируемых автомобилей, а также использованы в учебном процессе ряда ВУЗов.

**Достоверность** научных результатов обеспечивается уровнем и глубиной исследований, воспроизводимостью и удовлетворительным совпадением резуль-

татов теоретических и экспериментальных исследований, адекватностью математических моделей основных систем электрооборудования автомобиля: электрического пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования.

**Апробация результатов исследования:** результаты исследования апробированы на 18 международных, 6 всесоюзных и 6 межвузовских, 8 внутривузовских конференциях, опубликованы в 5 монографиях, 65 статьях, в том числе в 33 статьях в рецензируемых журналах, имеющих в перечне ВАК для докторских диссертаций, в том числе в статьях в журналах, входящих в систему цитирования «Скопус», по результатам исследований получено 38 патентов РФ.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты исследования внедрены в серийное производство на Рязанском заводе металлокерамических приборов при производстве устройств управления микроклиматом салона автомобиля, в учебные процессы Рязанского военного автомобильного института, Современного технического института, Рязанского государственного радиотехнического университета, результаты исследований проверены на ряде предприятий (РЗ металлокерамических приборов, ФГУП Рязанский приборный завод), реализованы на X международном салоне инноваций и инвестиций, по результатам исследования автором выполнены научные проекты «Учебно-лабораторный комплекс «машины постоянного тока», «Автомобильный кондиционер для зимних условий эксплуатации», «Регулирование времени срабатывания электромагнитной форсунки» по заказу Министерства промышленности, инновационных и информационных технологий Рязанской области. Таким образом, можно констатировать, что данная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе анализа выполненных другими авторами исследований по данной проблеме и разработок автора сформулированы новые научно обоснованные технические и технологические решения в области совершенствования систем электрообору-

дования наземных транспортных средств, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

**Личный вклад автора** состоит в разработке принципов построения и научных основ совершенствования систем электрооборудования транспортного средства (на примере автомобиля), теоретическом обосновании и исследовании закономерностей изменения прикладываемых напряжений, разработке технических решений по применению адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии, реализующих полученные закономерности, разработке энергоэффективных электрических устройств электропитания, улучшающих и стабилизирующих эксплуатационные характеристики электрооборудования автомобильной техники, разработке технических решений и рекомендаций по применению систем электропитания в электрооборудовании автомобилей, подтвержденных патентами РФ.

**Структура и объем диссертации:** диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 350 наименований и приложений. Текст диссертации содержит 302 страницы, 81 рисунок, из них 3 диаграммы, 9 таблиц.

# Глава 1 Анализ состояния проблем эксплуатации бортовых потребителей электроэнергии автомобилей

## 1.1 Анализ назначения, состава и состояния существующего парка автомобильной техники, условий и особенностей его использования

Анализ назначения, состава и состояния существующего парка автомобильной техники в нашей стране характеризуется большой многомарочностью, моральной и физической изношенностью [10, 11].

В связи с этим, высокие требования к автомобильной технике (АТ) обуславливают необходимость специального исследования вопросов связанных с надежностью и работоспособностью в условиях низких температур. Особое значение приобретает требование *быстрого и безотказного запуска двигателей АТ в любых климатических условиях при минимальном времени выхода на номинальные рабочие режимы* [7, 9]. Поэтому важнейшей задачей является улучшение пусковых качеств ДВС автомобильной техники за счет совершенствования технических характеристик основных систем электрооборудования, обеспечивающих надежный пуск ДВС: электростартерной системы пуска, системы электроснабжения и системы зажигания.

Возможность надежного пуска ДВС зависит от многих конструктивных и эксплуатационных факторов, к которым относят: степень сжатия, рабочий объем, число и схема расположения цилиндров; тепловое состояние деталей двигателя; регулировочные параметры системы зажигания (для бензиновых двигателей) и топливной аппаратуры; низкотемпературные свойства топлива; вязкостнотемпературные характеристики моторного масла; мощность и энергоемкость системы пуска; наличие и эффективность вспомогательных пусковых устройств [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 12, 13].

Электростартерная система является основным средством пуска ДВС автомобильной техники. Пусковые качества двигателя оцениваются двумя основными параметрами [12, 13]:

*предельной температурой надежного пуска*, зависящей от минимальных пусковых оборотов и среднего давления трения двигателя, а также от частоты провертывания коленчатого вала двигателя электростартерной системой пуска;

*временем подготовки* двигателя к принятию нагрузки.

Следует учитывать, что наибольших затрат мощности и энергии аккумуляторных батарей требует система электрического пуска, параметры которой принято определять исходя из типа и характеристик ДВС. Что касается других систем электрооборудования АТ, например, системы зажигания для бензиновых двигателей, то ее потребление много ниже, чем у системы пуска ДВС, однако отсутствие искрообразования точно также не позволит пустить ДВС, как и неисправность системы пуска. По этой причине важную роль играет система электроснабжения, задача которой – снабжать электроэнергией всех потребителей, в том числе указанные выше системы. Неоценима роль единственного источника энергии при незапущенном двигателе – аккумуляторной батарее. Поскольку только с ее помощью можно «оживить» все остальные системы электрооборудования, разумеется, после успешного пуска – начнет работать генератор, который преобразует механическую энергию вращения коленчатого вала в электроэнергию, заряжая батарею и снабжая энергией остальные системы электрооборудования.

Именно в силу перечисленных причин для пуска ДВС наиболее важна роль трех систем электрооборудования АТ: электрического пуска, электроснабжения и зажигания (для бензиновых двигателей), именно поэтому работе перечисленных систем в настоящем исследовании уделено значительное место. Попутно рассмотрены проблемы и остальных систем электрооборудования АТ: освещения и сигнализации, электропривода

вспомогательного оборудования, а также вопросы повышения точности информационно-измерительной системы.

Минимальная пусковая частота вращения – это наименьшая для данной температуры средняя частота вращения коленчатого вала двигателя стартером, при котором пуск двигателя в заданных условиях происходит за две попытки старта продолжительностью по 10 с для карбюраторных двигателей и по 15 с для дизелей с интервалами между попытками 1 мин [12,13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Минимальные пусковые частоты вращения коленчатого вала двигателей увеличиваются с понижением температуры, ростом вязкости масла и заметно снижаются при применении устройств облегчения пуска, таблица 1.1.

Требуемые пусковые частоты вращения коленчатого вала для автомобильных бензиновых двигателей – 40 - 70 мин<sup>-1</sup>, а для дизелей – 50 - 125 мин<sup>-1</sup>.

При экспериментальном исследовании пусковых качеств двигателей минимальные значения пусковой частоты вращения коленчатого вала определяются по зависимостям времени пуска  $t_n$  от средней частоты вращения  $n$  коленчатого вала, рисунок 1.1 [12, 13, 15].

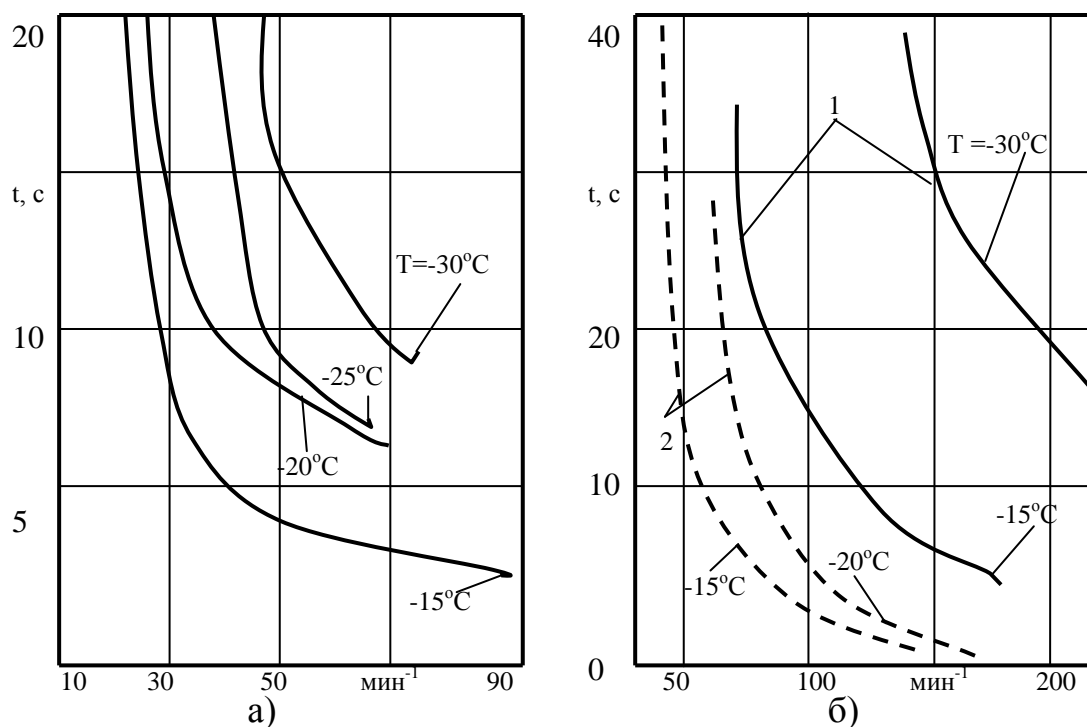
При пуске двигателя пусковое устройство преодолевает сопротивление вращению коленчатого вала. Момент сопротивления  $M_c$  складывается, в основном, из момента сил трения в кинематических парах двигателя и момента сил, обусловленных сжатием и расширением газов в цилиндрах двигателя.

Момент сопротивления зависит от температуры  $T$ , средней частоты  $n$  вращения коленчатого вала и неравномерности его вращения, числа, схемы расположения и рабочего объема цилиндров, а также от размеров трущихся поверхностей, рисунок 1.2 [12, 13, 15, 20, 21, 22, 23, 24,].



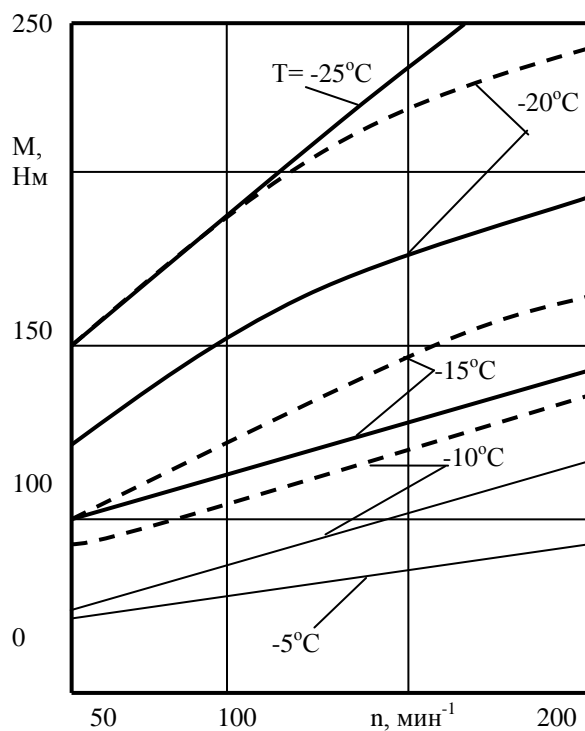
Таблица 1.1 – Минимальные пусковые частоты вращения коленчатого вала двигателя при предельной температуре надежного пуска

Вид пуска двигателя	Температура, °С ( $T_n$ )	Величина минимальных пусковых частот $n_{min}$ мин <sup>-1</sup> , при числе цилиндров		
		4	6	8 и >
<b>Бензиновые двигатели</b>				
Холодный: без применения устройств облегчения пуска	-20	70	60	50
с применением устройств облегчения пуска	-30	65	55	45
После предпускового подогрева двигателя	-45 до -60	60	50	40
<b>Дизельные двигатели</b>				
Пуск холодного двигателя без применения устройств облегчения пуска: - с камерой в поршне при степени сжатия 16 - 17	-12	125	100	90
- с камерой в поршне и турбонадувом при степени сжатия не ниже 15	-10	125	100	90
Пуск холодного двигателя с применением устройств облегчения пуска: - с камерой в поршне при степени сжатия 16 – 17	-30	90	60	50
- с камерой в поршне и турбонадувом при степени сжатия не ниже 15	-25	90	60	50
- с разделительными камерами при степени сжатия не ниже 21	-20	90	-	-
Пуск двигателя после предпускового подогрева: – с камерой в поршне при степени сжатия 16 – 17 и с турбонадувом при степени сжатия не ниже 15	-45	70	60	50
- с разделительными камерами при степени сжатия не ниже 21	-60	75	-	-



а) - бензиновый двигатель (УМЗ-451М, масло М-6<sub>3</sub>/10Г<sub>1</sub>); б) - дизельный двигатель (КамАЗ-740, - масло М-4<sub>3</sub>/8В<sub>2</sub>); 1-без средств облегчения пуска; 2 – с электрофакельным устройством.

Рисунок 1.1 – Пусковые характеристики двигателей внутреннего сгорания



— - с применением масла М-6<sub>3</sub>/10Г<sub>1</sub>; - - - - с применением масла М-8В<sub>1</sub>

Рисунок 1.2 – Зависимость момента сопротивления  $M_c$  от частоты вращения коленчатого вала при пуске бензинового двигателя ЗМЗ-66

Пусковые качества ДВС автомобилей оценивают по минимальной пусковой частоте вращения коленчатого вала и среднему давлению трения  $p_T$  [8, 12, 13, 20, 22, 23, 24].

Электростартерная система пуска с аккумуляторной батареей (АКБ) должна обеспечивать необходимую для надежного пуска холодного двигателя частоту вращения коленчатого вала с общим числом попыток пуска не менее трех. При пуске двигателя после предпускового подогрева электростартерная система пуска с АКБ должна обеспечивать необходимую для надежного пуска частоту вращения коленчатого вала при температуре электролита АКБ не ниже минус  $35^{\circ}\text{C}$  и общим числом попыток не менее трех при силе тока стартера не менее  $3C_{20}$ .

Тип системы пуска определяется видом используемой энергии и конструкцией основного пускового устройства – стартера, который преобразует полученную от аккумуляторной батареи (АКБ) электроэнергию в механическую работу вращения коленчатого вала [1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 14, 15, 20].

Рабочие характеристики стартерных электродвигателей зависят от емкости и технического состояния АКБ. Семейству вольтамперных характеристик АКБ соответствует семейство рабочих и механических характеристик стартерного электродвигателя [1, 2, 12, 13, 28].

Режим работы электростартеров кратковременный, длительностью до 10 с – для стартеров бензиновых двигателей и до 15 с – для стартеров дизелей. Допускается не более трех пусковых циклов подряд с перерывами между ними не менее 30 с. После охлаждения стартера до температуры окружающей среды допускается ещё один пусковой цикл [29].

Стремление обеспечить работоспособность электростартерной системы пуска с АКБ при низких температурах привело к тому, что на один литр рабочего объема ДВС приходится от 8 до 34 кг массы электростартерной системы пуска, из которых 60 - 80% составляет масса аккумуляторной

батареи. Суммарная масса АКБ и электростартера составляет от 1 до 3 % массы самого автомобиля. Отношение массы стартера в массе двигателя достигает от 2 до 6 % [8, 12, 13].

Однако для пуска двигателя требуется сравнительно небольшое количество энергии. Но, чтобы эта энергия была выделена в течение небольшого промежутка времени (10 - 15 с), источник энергии должен развивать значительную мощность.

Свинцовые АКБ имеют весьма высокую удельную энергию (свыше 200 Дж/см<sup>3</sup>), но низкую удельную мощность [1, 9]. Запасенную в АКБ энергию при температуре минус (20 - 30)°С и высоких стартерных токах разряда можно в лучшем случае использовать на 5 – 10 %. Следовательно, большая часть емкости АКБ вообще не может быть использована для осуществления пуска ДВС. Используемая часть энергии может снизиться настолько, что его пуск станет практически невозможным. В такой ситуации от безотказной работы стартерной АКБ зависит техническая готовность автомобильной техники [2, 8, 9, 29, 30, 31, 32,].

Особенности эксплуатации АТ в зимних условиях обуславливаются крайне низкой температурой окружающего воздуха, наличием значительного снежного покрова и сильными ветрами. Так, при температуре окружающего воздуха минус 10°С и скорости ветра  $V_{в}=11$  м/с эффективность действия температуры равносильна минус 20 – 25°С, т. е. на 15°С ниже температуры окружающего воздуха [2]. Наиболее суровыми для эксплуатации АТ являются районы первой климатической зоны. Они составляют большую часть территории нашей страны, в этих климатических районах предельные значения температуры воздуха ниже –20 °С, то есть той температуры, которая считается предельной температурой надежного электростартерного пуска холодного ДВС.

В связи с этим автомобильная техника, находящаяся на открытых стоянках и под навесами, окажется неспособной к стартерному пуску без устройств облегчения пуска.

Рациональному использованию энергии АКБ, в наибольшей степени подверженной влиянию эксплуатационных факторов, и повышению срока ее службы способствует правильное согласование характеристик элементов системы пуска, обоснованный выбор её схемы и параметров, а также параметров систем электроснабжения и зажигания, при которых расходуется минимальная энергия источника тока (АКБ) [32-40]. Правильная настройка этих систем в комплексе позволяет:

- понизить минимальную температуру, при которой возможен пуск ДВС (то есть сохранить необходимое для работы стартера напряжение при пониженных температурах);

- улучшить надежность и эксплуатационные характеристики всех систем электрооборудования и сохранять рабочие характеристики продолжительное время в процессе эксплуатации (срок службы);

- обеспечить необходимое количество попыток пуска двигателя автомобиля с установленной продолжительностью, то есть иметь необходимый запас энергии и мощности для стартерного пуска;

- иметь запас энергии для питания потребителей при неработающем двигателе или в аварийной ситуации;

- иметь достаточные мощность и энергию источника при минимально возможных размерах и массе;

- повысить срок службы аккумуляторных батарей.

Решению комплексной проблемы получения рациональных характеристик электрооборудования автомобильной техники, за счет применения импульсных адаптируемых преобразователей параметров электрической энергии и посвящена настоящая диссертационная работа.

## 1. 2 Анализ проблем пуска двигателя, связанных с аккумуляторной батареей

Аккумулятор характеризуют: электродвижущая сила, зарядное и разрядное напряжение, внутреннее сопротивление, емкость, удельная емкость, коэффициент полезного действия, срок службы, трудозатраты на техническое обслуживание.

Электродвижущая сила  $\varepsilon_A$  аккумулятора (в вольтах) может быть определена по эмпирической формуле

$$\varepsilon_A = \rho_{25} + 0,85, \quad (1.1)$$

где  $\rho_{25}$  — величина, численно равная плотности электролита в г/см<sup>3</sup> при 25°С.

Именно это выражение количественно связывает меру заряженности аккумулятора и плотность электролита. Выражение справедливо при изменении плотности электролита от 1,05 до 1,30 г/см<sup>3</sup>.

С изменением температуры электролита ЭДС аккумулятора изменяется, казалось бы, незначительно - на  $\sim 0,2 \cdot 10^{-3}$  В/К [4, 5, 23], однако это изменение влияет как на срок его службы, так и на электростартерный пуск двигателя. Напряжение аккумулятора при заряде  $U_{A3}$  определяется выражением [23]:

$$U_{A3} = \varepsilon_A + \varepsilon_{\Pi} + I_3 r_A, \quad (1.2)$$

где  $I_3$  — сила зарядного тока, А;

$r_A$  — внутреннее сопротивление аккумулятора, Ом;

$\varepsilon_{\Pi}$  - ЭДС поляризации, В.

Внутреннее сопротивление аккумулятора непостоянно. Оно изменяется с изменением степени его заряженности и температуры. При разряде аккумулятора сопротивление электродов и электролита возрастает, так как сульфат свинца, образующийся при разряде, практически является изолятором. С понижением температуры вязкость электролита, а следовательно, и его сопротивление также возрастают.

Для иллюстрации на рисунке 1.3 [39] показаны количественные харак-

теристики батареи 6СТ-90 при разряде стартерным током. Параметром служит температура. Как следует из кривых, стартерные возможности батареи существенно ухудшаются при уменьшении температуры.

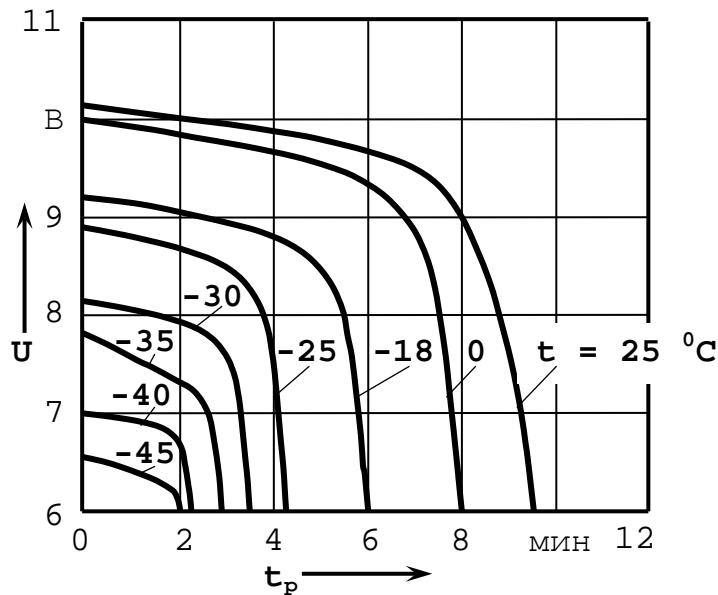
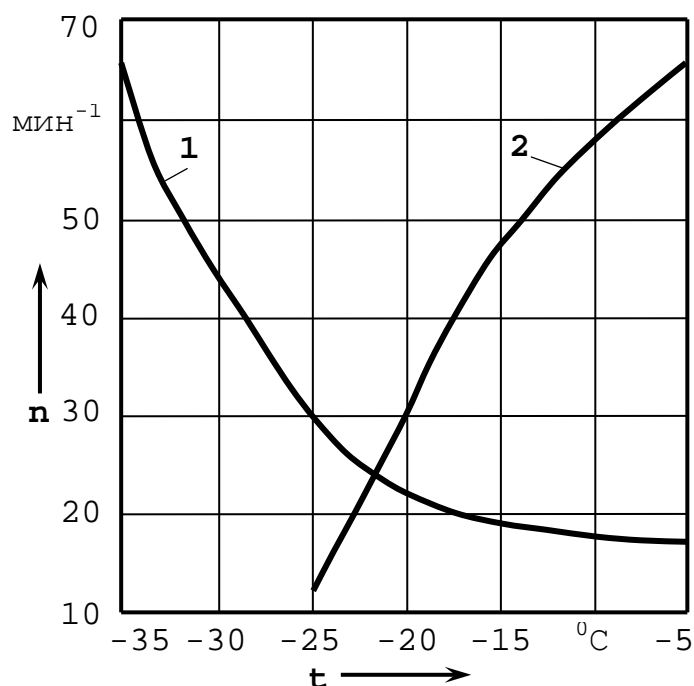


Рисунок 1.3 – Разряд батареи 6СТ-90 стартерным током при различных температурах

Из-за увеличения сопротивления аккумуляторной батареи при низких температурах значительно ухудшаются условия пуска двигателя. С другой стороны, ситуация усугубляется еще и тем, что при низких температурах увеличивается момент сопротивления двигателя из-за существенного повышения вязкости масла.

У каждого двигателя при данной температуре устанавливается во время пуска некая частота прокручивания коленчатого вала, которая в той или иной степени соответствует минимально необходимой.

Для иллюстрации на рисунке 1.4 [39] приведены зависимости минимально необходимой (кривая 1) и реальной (кривая 2) пусковой частоты вращения коленчатого вала бензинового двигателя стартером от температуры окружающего воздуха. Сочетание этих зависимостей принято называют характеристикой пусковых качеств двигателя.



1 - минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала бензинового двигателя стартером от температуры окружающего воздуха; 2 - реальная пусковая частота вращения коленчатого вала бензинового двигателя стартером от температуры окружающего воздуха.

Рисунок 1.4 - Характеристика пусковых качеств бензинового двигателя

Как следует из рисунка, требования к пуску данного двигателя выполняются при температуре выше  $-20$  °C, а при более низких температурах пуск двигателя требует, очевидно, каких-то дополнительных средств. Аналогичный характер имеют эти зависимости и для дизельных двигателей.

Если батарея заряжена не на 100%, то минимальная температура, при которой возможен пуск, становится, естественно, еще выше. Из этого и следуют повышенные требования к степени заряженности аккумуляторной батареи при низких температурах.

Из требований к системе пуска двигателя вытекают и требования к ее электростартерной части. Они, в свою очередь, разделяются на требования к стартерам и требования к аккумуляторным батареям.

Проблемы системы электрического пуска ДВС обусловлены необходимостью увеличения потребляемого тока, несмотря на увеличение внутренне-



го сопротивления источника. Как упоминалось, ЭДС с понижением температуры электролита изменяется незначительно, зато сопротивление электролита заметно возрастает. Из-за этого, а также из-за возрастания силы тока стартера (вследствие повышенных моментов сопротивления прокручиванию) увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении аккумуляторной батареи.

Известные попытки решить проблемы работоспособности батарей в условиях низких температур имеют несколько направлений [22, 39, 40]:

- обеспечение различными способами необходимого теплового состояния батарей термостатированием или предпусковым разогревом, например, путем подвода тепла непосредственно к электролиту с помощью тепловых труб, либо встроенных нагревательных элементов [41];

- повышение энергоемкости батарей конструктивно - технологическим путем, например, за счет применения новых материалов;

- повышение энергоемкости источника путем подключения к системе пуска дополнительных батарей;

- снижение токовой нагрузки на батарею за счет применения конденсаторов большой емкости.

Отметим, что первый способ оказывается недостаточно эффективным, поскольку, как показывают расчеты, энергия, необходимая для разогрева аккумуляторной батареи, соизмерима с энергией, запасенной в самой батарее [41]. Следовательно, если осуществлять такой разогрев от самой аккумуляторной батареи, то энергии на прокручивание коленчатого вала при пуске уже не хватит.

Второй путь представляет интерес, но он лежит вне направленности настоящей работы.

Применение дополнительных батарей – процесс неудобный, трудоемкий, требующий непроизводительных затрат времени и избыточных ресурсов.

Проблемы, обусловленные батареей при низкотемпературном пуске, возникают и в связи с системой зажигания.

Во время пуска температура в камере сгорания равна температуре окружающей среды и влияние отработавших газов незначительно. Работы [42, 43, 44, 45, 46, 47,] указывают на влияние температурного режима на пробивное напряжение в свечах зажигания. В них, в частности, отмечается, что наибольшее значение пробивного напряжения оказывается при разгоне и, особенно - при пуске холодного ДВС.

При низких температурах в режиме пуска двигателя в работе системы зажигания появляются некоторые особенности [17, 19,]. Как уже отмечалось, момент сопротивления на валу стартера резко возрастает, растет при этом и стартерный ток, что приводит к уменьшению напряжения бортовой сети. Как следует из литературы [27], оно может снижаться даже до 5,5 В. При таких напряжениях питания ни одна из систем зажигания не обеспечивает бесперебойного искрообразования [17, 18, 19, 43, 48], за исключением микропроцессорных систем, отличающихся более высокой стоимостью и сложностью.

Кроме того, при пуске двигателя время замкнутого состояния первичной цепи катушки зажигания велико из-за низкой скорости вращения коленчатого вала ДВС. Поэтому ток в ней достигает установившегося значения и в основном зависит от напряжения, подаваемого на систему зажигания, т.е. от напряжения аккумуляторной батареи.

При пуске холодного ДВС из-за уменьшения вторичного напряжения  $U_{2M}$  и увеличения пробивного напряжения  $U_{2пр}$  в случае применения традиционной схемы системы зажигания при напряжениях аккумуляторной батареи около 6 В пуск ДВС становится практически невозможным.

Емкость аккумулятора зависит от состояния электродов, разрядного тока, температуры и плотности электролита.

Известно, что с понижением температуры и увеличением разрядного тока емкость батареи уменьшается (рисунок 1.3).

Не спасает положения уменьшение толщины электродов, применение

более пористой активной массы, добавление в ее состав органических веществ и т.д. [23, 48, 49].

Срок службы батареи максимален при поддержании величины зарядного напряжения генераторной установки в определенных пределах (рисунок 1.5) [3, 15, 50, 51]. Чем больше сила тока и относительная продолжительность разряда, тем больше глубина разряда, и поэтому труднее восстановить необходимую степень заряженности батареи при последующем цикле подзаряда от генераторной установки. При этом средний уровень заряженности батареи в процессе эксплуатации будет ниже, что приведет к снижению срока ее службы. Следует иметь в виду, что он уменьшается при увеличении плотности не только разрядного, но и зарядного тока. С другой стороны, при очень малых силах разрядного тока и малой продолжительности разряда возможен длительный перезаряд батарей, что также ведет к сокращению срока их службы.

Срок службы аккумуляторных батарей зависит и от климатической зоны эксплуатации. Это связано не только с влиянием высоких и низких температур на их работоспособность, но и с изменением нагрузки. Так, при эксплуатации батарей в холодных климатических зонах чаще и на большее время включаются такие потребители большой мощности, как фары головного освещения, различные подогреватели, обогреватели стекол, отопители и т.п. Кроме того, резко возрастают ток и продолжительность разряда батареи при работе в стартерном режиме, батареи хуже воспринимают заряд, средняя степень заряженности батарей меньше и основной причиной выхода их из строя будет оплывание активной массы электродов.

В районах с жарким климатом снижение срока службы связано с перезарядом батарей и коррозией решеток положительных электродов.

Существует два основных способа заряда аккумуляторных батарей [4, 5, 23]: заряд при постоянном значении зарядного тока, при этом расчетное напряжение должно быть 2,7 В на один аккумулятор (применяется на аккумуляторных заводах при формировании электродов, а также на зарядных

станциях); заряд при постоянном значении зарядного напряжения, при этом напряжение должно быть 2,3—2,4 В на один аккумулятор (применяется непосредственно на автомобилях). Отметим, что 100% заряженность аккумулятора достигается при полном преобразовании активной массы электродов из сернокислого свинца в губчатый свинец и двуокись свинца.

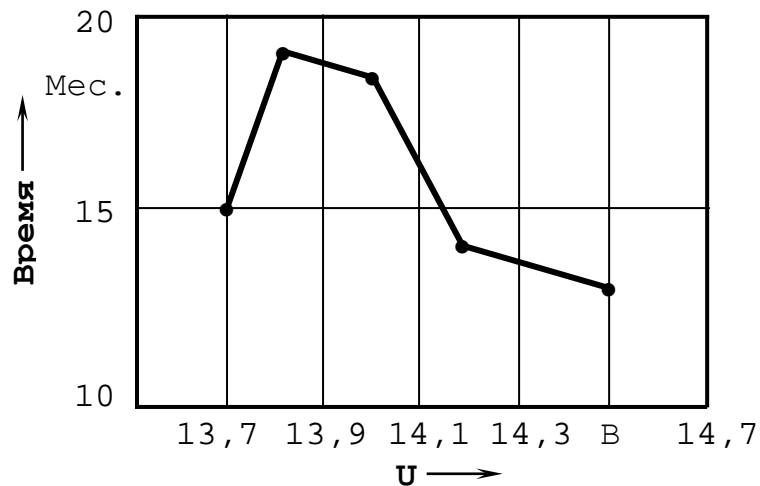


Рисунок 1.5 - Зависимость срока службы батарей 6СТ-60 от уровня регулируемого напряжения генераторной установки на автомобиле

При заряде постоянным напряжением максимальное значение напряжения выбирается таким, чтобы заряд аккумуляторной батареи доводился только до начала газообразования.

Отметим существенный недостаток основных способов заряда батарей – они не обеспечивают максимального их срока службы. Действительно, при зарядном напряжении 2,3—2,4 В на один аккумулятор на 12 В батарее напряжение может оказаться в пределах 13,8-14,4В, что входит в явное противоречие с рисунком 1.5 по данным работ [3, 51] (максимум срока службы при  $13,9 \pm 0,1$ В).

Помимо двух основных разработано большое количество способов *ускоренного* заряда, однако, детальное рассмотрение этих способов выходит за рамки данного исследования. Для компенсации естественного саморазряда батарей применяются специальные устройства, позволяющие их подзарядать

непосредственно на местах хранения.

Отметим, что применение основных способов заряда и подзаряда батарей существующими методами не решают задачи поддержания ее в 100%-заряженном состоянии, необходимом для обеспечения максимального срока службы. Причинами этого являются: игнорирование температурной зависимости ЭДС полностью заряженного аккумулятора и значительная погрешность в выборе напряжения, при котором производят заряд батарей.

В заключение параграфа можно сделать выводы:

- в процессе эксплуатации аккумуляторные батареи требуют технического обслуживания: контроля степени заряженности, заряда, контрольно-тренировочного цикла, доливки воды и очистки. По трудоемкости технического обслуживания аккумуляторные батареи занимают первое место среди приборов электрооборудования [23];

- готовность аккумуляторной батареи к пуску двигателя и срок ее службы в значительной мере определяются точностью работы регулятора напряжения;

- становится очевидной необходимость применения специализированной системы электропитания, которую следует использовать для улучшения эксплуатационных характеристик батарей.

### **1.3 Анализ проблем, возникающих при работе генераторной установки**

Генераторная установка не только разгружает аккумуляторную батарею, беря на себя часть нагрузки, но и поддерживает саму аккумуляторную батарею в рабочем состоянии, осуществляя ее подзаряд. Эти функции требуют автоматического управления, которое осуществляет реле-регулятор напряжения бортовой сети [4, 5, 23].

При выборе генератора приходится учитывать противоречивые требования: с одной стороны, - положительный баланс электроэнергии, с другой - минимальные потери энергии и минимальную стоимость генератора. Совер-

шенствование регулятора напряжения способствует оптимизации работы и батареи, и генератора.

В настоящее время широкое распространение получили транзисторные бесконтактные регуляторы, преимущества которых обусловлены применением мощного транзисторного ключа для коммутации цепи обмотки возбуждения и использованием в качестве источника эталонного напряжения стабилитрона. Отсутствие механических контактов, по которым протекает большой ток обмотки возбуждения, заметно повышает надежность таких регуляторов.

Развитие генераторных установок предполагает создание генераторов, выпрямителей и регуляторов в одном, общем корпусе. Регуляторы напряжения, собранные на дискретных элементах, имеют большие размеры и меньшую надежность, и поэтому постепенно заменяются интегральными. В интегральных регуляторах напряжения Я112 и Я120 резисторы и некоторые соединения выполнены на керамической подложке. Силовой транзистор при этом бескорпусный и расположен на металлическом основании, обеспечивающем хороший отвод тепла. На том же основании закреплены другие полупроводниковые приборы. Все детали и приборы регулятора заливаются специальным герметиком, закрываются пластмассовой крышкой и размещаются на генераторе [23].

Принимаются меры для защиты различных электрических цепей автомобиля, например, регулятор напряжения автомобилей ВАЗ 1702.3702 имеет схемную защиту от коротких замыканий в обмотке возбуждения генератора.

Основной недостаток реальных регуляторов состоит в следующем. Погрешность их срабатывания составляет десятые доли вольта [4, 5, 23] - 2,3-2,4В на аккумулятор, как отмечалось выше, что вступает в явное противоречие с задачами продления срока службы батарей (рисунок 1.5) и обеспечения холодного пуска двигателя, который желательно проводить при 100% заряженной батарее. Так что точность настройки регуляторов напряжения должна быть повышена.

Другое важное обстоятельство связано с влиянием температуры, при которой работает аккумуляторная батарея. Простой расчет показывает, что у батареи, содержащей 6 аккумуляторов, при изменении температуры в подкапотном пространстве от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$  при температурном коэффициенте напряжения  $\sim 2 \cdot 10^{-4}$  В/К [4] возможное изменение ЭДС полностью заряженной батареи составляет  $\sim 0,15$  В. Очевидно, что регулятор напряжения должен его отслеживать, и такие попытки предпринимаются. Так, регулятор напряжения 4202.3702 автомобиля ЗиЛ-5301 «Бычок» снабжен автоматической системой изменения уровня напряжения на терморезисторе, помещенном в электролит и включенном параллельно одному из плеч входного делителя напряжения. Недостаток – терморезистор имеет нелинейную температурную зависимость сопротивления, что не позволяет полностью компенсировать практически линейную температурную зависимость ЭДС. Таким образом, задача качественного учета температурной зависимости ЭДС до сих пор не решена.

Для обеспечения более точного регулирования можно применить аналоговую схему регулятора, однако при этом мощность, рассеиваемая на выходном силовом транзисторе, достигала бы значительной величины, что ведет к снижению надежности его работы и уменьшению коэффициента полезного действия (КПД).

В заключение параграфа можно сделать следующие выводы:

- готовность аккумуляторной батареи к пуску двигателя и срок ее службы в значительной мере определяются точностью регулирования степени ее заряда;
- погрешность настройки порядка десятых долей вольта существующих регуляторов напряжения не обеспечивает максимального срока службы аккумуляторной батареи и готовности ее к пуску, хотя по трудоемкости технического обслуживания они занимают первое место среди приборов электрооборудования;
- существующие регуляторы напряжения не обеспечивают необходи-

мой компенсации температурной зависимости ЭДС аккумуляторной батареи, с точки зрения ее максимального срока службы и готовности ее к пуску;

- очевидна необходимость применения адаптивной системы электропитания, которую следует использовать для улучшения эксплуатационных характеристик батарей.

#### **1.4 Анализ работы вспомогательного электропривода**

Помимо основного двигателя автомобиля – двигателя внутреннего сгорания – в нем применяют и вспомогательные, обеспечивающие либо пуск основного двигателя (стартер), либо его обслуживание, например, охлаждение основного двигателя, вентиляцию и отопление салона, стекло- и фарочистку, подъем и опускание стекол, блокировку замков, подъем антенны, регулировку положения зеркал заднего вида, сидений и т.п.

Основой всех этих вспомогательных устройств являются различные электродвигатели постоянного тока, вместе с промежуточными устройствами, которые согласуют работу электродвигателя и исполнительных механизмов, они составляют *электропривод*. Все виды электропривода условно можно разделить на две группы.

Устройства первой группы предназначены для освобождения водителя от отвлекающих физических усилий. В этих устройствах выходной параметр, например, положение зеркал заднего вида либо сидений, регулируется каждым человеком индивидуально. Достаточно подробное их описание имеется в литературе [15] и не входит в задачи настоящей работы.

Устройства второй группы должны оптимизировать режим работы регулируемого объекта. К ним можно отнести систему охлаждения двигателя, которая должна обеспечить оптимальный температурный режим работы ДВС; систему отопления и вентиляции, создающую микроклимат в салоне автомобиля; систему стекло - и фарочистки, призванную обеспечить водителю требуемый обзор дорожной обстановки. Поскольку режим работы та-



ких устройств определяется состоянием объекта, они должны входить в систему автоматического регулирования с обратной связью по регулируемому параметру.

Однако далеко не всегда это реализуется именно так. Например, микроклимат в салоне автомобиля в простейшем случае поддерживается самим водителем, который и исполняет роль подобного «автомата». Он переключает частоту вращения вентилятора отопителя и изменяет положение механического крана, регулирующего скорость протекания охлаждающей жидкости по радиатору отопителя. С помощью однократного действия такие операции не могут обеспечить ожидаемый конечный результат, так как он прогнозируется интуитивно. Поэтому общий уровень комфорта снижается, поскольку здесь нужны неоднократные действия с поэтапным приближением к желаемому результату. Это отвлекает внимание водителя и тем самым снижает безопасность дорожного движения.

Автоматическое регулирование микроклимата в салоне в современных автомобилях обеспечивается кондиционерами. Однако их стоимость достаточно велика (около 1500\$ США), в связи с чем они не нашли еще широкого применения в отечественном автомобилестроении и потому изучение подобных устройств выходит за рамки настоящей работы.

Рассмотрим существо вопроса совершенствования электропривода на примере вентиляции и отопления салона автомобиля.

Салон автотранспортного средства, как и другие места пребывания человека, должен обеспечивать комфортные условия, т.е. соответствующий микроклимат.

В гигиеническом отношении под микроклиматом понимают комплекс физических факторов (температура, влажность, скорость движения и запыленность воздуха, интенсивность теплового излучения), способных влиять на состояние организма и его терморегуляторные реакции.

Условия, при которых водитель, управляющий автомобилем не испытывают переохлаждения, перегрева, «сквозняков» или других неприятных ощущений, считают комфортными.

Создание комфортных условий в салоне автомобиля предполагает наличие соответствующих технических средств, работа которых также удовлетворяет требованиям по уровню вибрации, шума и т.д., связанным с комфортом.

Принято считать [52, 53], что комфортным условиям соответствуют температура воздуха в салоне 18 - 25 °С, относительная влажность 40 - 60 % и скорость движения воздуха не более 0,1 м/с.

Эти условия должны обеспечивать две подсистемы управления климатом салона автомобиля:

- пассивная (солнцезащитные устройства и тепловые экраны), задача которой - снизить теплообмен с окружающей средой;
- активная (в частности, устройства отопления, кондиционирования и вентиляции воздуха), задача которой - создание и поддержание заданных параметров микроклимата.

Для отопления салона автотранспортного средства обычно используется теплота, отводимая от двигателя внутреннего сгорания с помощью прокачиваемой насосом охлаждающей жидкости. Поступая в радиатор отопителя, она нагревает окружающий его воздух, далее теплота распространяется в салон либо естественными воздушными конвективными потоками, либо принудительно - с помощью вентилятора.

Таким образом, типичная система вентиляции и отопления салона содержит трубопроводы для подачи охлаждающей жидкости, радиатор отопителя, запорный элемент, элементы управления воздушным потоком, вентилятор, а также трубопроводы воздушного потока. С технической точки зрения все это входит в комплекс инженерно – технических устройств, предназначенных для создания и регулирования определенных сочетаний заданных па-

раметров микроклимата в местах, где предполагается пребывание человека [52, 53].

Мы говорим здесь только об отоплении салона, поскольку если возникает задача охлаждения воздуха, то для ее решения используют холодильные установки - компрессионные или других типов, например, термоэлектрические [52]. Они входят в состав кондиционеров, о которых речь уже шла в начале раздела.

Рассмотрим существующие отечественные системы отопления и вентиляции салона автомобиля.

В зависимости от времени года, режима работы двигателя внутреннего сгорания и других условий вентилятор должен подавать воздух в салон с той или иной скоростью. Поскольку им управляет двигатель постоянного тока, это требует управления частотой вращения его якоря.

Как известно из курса электротехники [54, 55], свойства двигателей постоянного тока (ДПТ) во многом определяются способами питания обмотки возбуждения, там же рассмотрены эквивалентные схемы замещения. По этой причине в данной работе их характеристики подробно не рассматриваются. Отметим только, что из литературы [54, 55] известно, что скорость вращения якоря ДПТ параллельного возбуждения определяется из соотношения:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} r_{\text{я}}}{C_E \Phi}, \quad (1.3)$$

где  $n$  - скорость вращения якоря, об/мин;

$C_E$  – коэффициент пропорциональности, определяемый конструкцией двигателя;

$U$  - подаваемое напряжение, В;

$I_{\text{я}}$  - ток якоря, А;

$r_{\text{я}}$  - сопротивление якоря, Ом;

$\Phi$  – магнитный поток, Вб.

Существующие для регулирования частоты вращения якоря возможности следуют из зависимости (1.3). Откуда видно, что регулировать частоту вращения якоря можно:

- изменением магнитного потока;
- изменением сопротивления цепи якоря;
- изменением напряжения на двигателе.

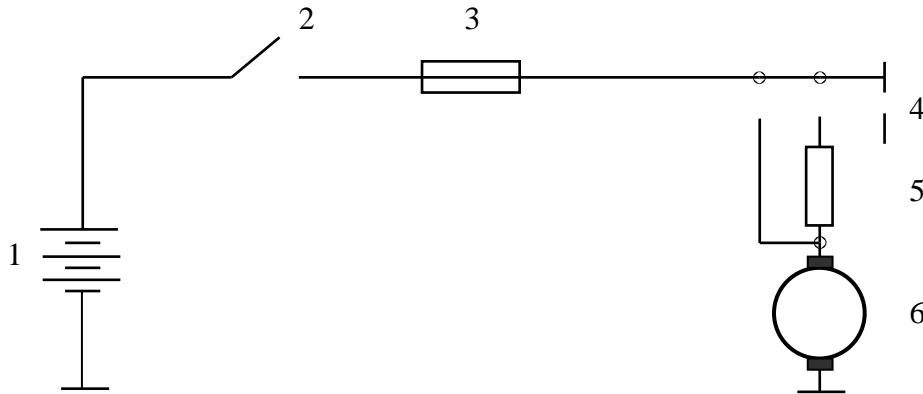
В прошлые годы в отопителях отечественных автомобилей в основном применялись ДПТ параллельного возбуждения. В последнее время в системе отопления и вентиляции салона автомобиля применяют электродвигатели с постоянными магнитами. Справочные данные о ДПТ системы отопления и вентиляции и их применении на тех или иных марках автомобилей приведены в разных изданиях, например, [4, 5, 23].

Очевидно, что применение постоянных магнитов не позволяет регулировать магнитный поток. Поэтому остаются только два способа изменения частоты вращения якоря, которые на практике сводятся к одному – в цепь якоря включают добавочные сопротивления. Типичная схема показана на рисунке 1.6.

При включении сопротивления происходит перераспределение напряжений, то есть напряжение на ДПТ снижается. В результате скорость вращения якоря электродвигателя уменьшается, соответственно, уменьшается частота вращения вентилятора и скорость формируемого им воздушного потока. В различных моделях автомобилей используются переключатели 4 с разным количеством положений (обычно до четырех) и, соответственно, разным числом сопротивлений.

Среди рассмотренных способов регулирования частоты вращения якоря можно было бы отметить относительные достоинства способа, основанного на изменении магнитного потока. Он сохраняет жесткие характеристики двигателя, что позволяет реализовать требуемые частоты при разных нагрузках. Кроме того, поскольку ток возбуждения мал, малы и дополнительные потери мощности в регулировочном реостате. Однако такой способ актуаль-

ность уже утратил, т.к. электродвигатели с параллельным возбуждением вытеснены электродвигателями с постоянными магнитами.



1 – аккумуляторная батарея, 2 – выключатель зажигания,  
3 – электрический предохранитель, 4 – переключатель режимов работы электродвигателя отопителя, 5 – дополнительный резистор, 6 – электродвигатель отопителя

Рисунок 1.6 – Типичная схема включения двигателя постоянного тока в системе отопления и вентиляции.

Что касается регулировки по схеме, показанной на рисунке 1.6, то она имеет очевидные недостатки. При введении в цепь якоря дополнительного сопротивления, во-первых, возникает более резкая зависимость частоты вращения от нагрузки, во-вторых, при таком регулировании возрастают производительные потери мощности за счет джоулевых потерь на дополнительном сопротивлении. Поэтому такой способ применяют только тогда, когда требуется резко снизить частоту вращения на короткое время.

Возможности плавной регулировки скорости вращения якоря можно было бы добиться путем применения реостата. Однако реостат обладает большими размерами и меньшей надежностью. Кроме того, он не устраняет названных выше двух основных недостатков. Это усугубляется еще и тенденцией увеличения мощностей электродвигателей вентиляторов отопителей транспортных средств. Например, на автомобилях ВАЗ – 2107 она составляет уже около 90 Вт, на переднеприводных автомобилях семейства ВАЗ – до 180

Вт, а на новых моделях (типа «Калина») - до 320 Вт. Электродвигатели примерно такой же (повышенной) мощности устанавливаются и на автомобилях марки «Мерседес» (во всех этих электродвигателях магнитный поток создается постоянными магнитами).

Такая тенденция ведет к тому, что непроизводительные потери мощности на дополнительном сопротивлении возрастают. Все современные тенденции регулировок разного рода реализуются путем применения тех или иных электронных средств. На основе рассмотрения физических процессов, определяющих работу двигателя, мы вычленили три возможности регулирования. Первую из них – изменение сопротивления цепи якоря - мы только что подвергли критике и сочли нецелесообразной. Вторая (изменение магнитного потока) исключена в связи с отсутствием в современных двигателях обмотки возбуждения (применение постоянных магнитов). Таким образом, остается только третья - изменение напряжения на двигателе, которое возможно при использовании адаптированной системы электроснабжения.

Как уже упоминалось, к электроприводу относится и система, запускающая двигатель внутреннего сгорания. Система электрического пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) предназначена для проворачивания коленчатого вала с частотой, превышающей минимально необходимую пусковую частоту вращения. Система включает в себя электродвигатель - стартер, устройства для его включения и выключения и соединительные провода. На всех машинах установлены стартеры прямого действия, электродвигатели которых вращают коленчатый вал через понижающий редуктор [4, 23].

Система пуска отличается от другого электропривода не только особой важностью, но и целым рядом специфических особенностей, требующих отдельного рассмотрения.

По данному параграфу можно сделать следующие выводы:

- существует необходимость совершенствования электропривода вспомогательного оборудования с целью повышения коэффициента полезного действия и улучшения эргономических характеристик;

- подобное совершенствование может быть осуществлено с помощью адаптивной системы электропитания.

### **1.5 Анализ проблем при пуске двигателя внутреннего сгорания**

Обычно технически исправный двигатель внутреннего сгорания начинает работать устойчиво при появлении первых вспышек в цилиндрах, после чего пусковое устройство отключается. Однако при низких температурах пуск существенно затруднен. Это обусловлено рядом обстоятельств: конструкцией самого двигателя, особенностями его рабочего процесса, а также изменениями физических свойств топлива, масел и материалов, применяемых в двигателе при отрицательных температурах [20].

При той же аккумуляторной батарее частота вращения коленчатого вала двигателя во время пуска при низких температурах значительно меньше, чем при пуске в обычных условиях.

Это происходит, по двум причинам:

- резко возрастает момент сопротивления его проворачиванию;
- снижаются мощность стартера и создаваемый им крутящий момент.

Основной причиной возрастания момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала является повышение вязкости масла при низких температурах.

Как известно, момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала определяется силами жидкостного трения и силами, возникающими при сжатии топливно-воздушной смеси. При вязкостях масла свыше  $15 \text{ см}^2/\text{с}$  основную часть момента сопротивления составляет момент сил жидкостного трения, причем эта составляющая существенно растет при понижении температуры. При вязкостях масла около  $120 \text{ см}^2/\text{с}$  она составляет до 95 % момента сопротивления [12].

В дизельных двигателях, для которых характерны большие по сравне-

нию с карбюраторными двигателями поверхности трения в сочетании с высокими значениями степеней сжатия в цилиндрах, возрастание момента сопротивления более значительно.

Следует также отметить, что кроме частоты прокручивания и температуры (вязкости) масла, момент сопротивления зависит также и от времени прокручивания, что обусловлено прогревом масла на стенках цилиндров двигателя при движении поршня [12]. Это иллюстрирует рисунок 1.7.

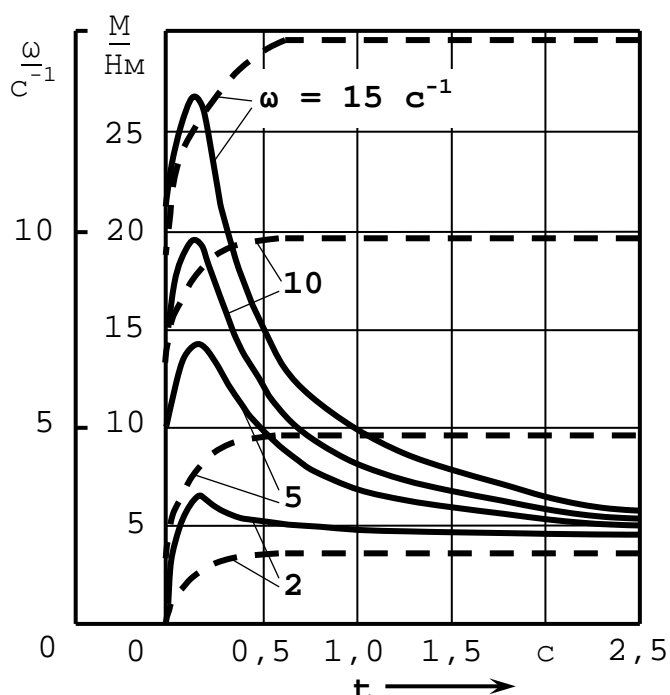


Рисунок 1.7 – Изменение момента сил жидкостного трения (сплошные линии) и угловой скорости (пунктир) от времени для одного цилиндра ДВС

Второй фактор - уменьшение мощности стартера и, соответственно, частоты вращения его вала при низких температурах - вызывается другими причинами: уменьшением ёмкости и напряжения аккумуляторной батареи.

Таким образом, обе причины приводят к уменьшению частоты вращения коленчатого вала при отрицательных температурах. Это затрудняет пуск как бензиновых, так и дизельных двигателей. Учитывая особенности их рабочих процессов, возникающие проблемы целесообразно рассмотреть для каждого из них отдельно.

В дизельном двигателе характеристики такта сжатия определяют



надежность самовоспламенения топлива. Необходимо, в частности, чтобы температура воздуха в конце такта сжатия превышала температуру самовоспламенения топлива. Однако при пуске холодного двигателя температура воздуха по ряду причин снижается:

- уменьшается начальная температура воздуха, всасываемого в цилиндры;
- вследствие уменьшения частоты вращения коленчатого вала двигателя снижается средняя скорость движения поршня, что обуславливает повышенную теплоотдачу от сжимаемого воздуха к стенкам цилиндров и, соответственно, снижение его температуры в конце такта сжатия;
- вследствие снижения скорости движения поршня и менее плотного прилегания поршневых колец к стенкам цилиндров, возникают дополнительные потери воздуха, перетекающего из рабочей области в зазор между поршнем и цилиндром, что приводит не только к снижению температуры воздуха в конце такта сжатия, но и к снижению давления.

Низкая температура отрицательно сказывается и на качестве распыления топлива форсунками двигателя [5, 56]. Это обусловлено повышением вязкости топлива, а также снижением скорости его истечения из распылителя. Последнее связано со снижением скорости вращения кулачкового вала топливного насоса из-за снижения скорости проворачивания коленчатого вала пусковым устройством.

В бензиновом двигателе низкая частота вращения коленчатого вала при пуске влияет на условия подготовки рабочей смеси к воспламенению. Снижение давления насыщенных паров бензина при низкой температуре в сочетании с уменьшенными скоростями прохождения рабочей смеси во впускном тракте двигателя, имеющем холодные стенки, значительно ухудшают условия испарения бензина и образования рабочей смеси с необходимыми для пуска параметрами воспламеняемости. Кроме того, уменьшение частоты вращения коленчатого вала двигателя и снижение напряжения бортовой сети отрицательно сказываются на работе системы зажигания, вследствие чего

снижается надежность искрообразования [20].

Надежный пуск двигателя определяется тем, насколько реальная частота вращения коленчатого вала соответствует минимально необходимой (см. рисунок 1.3).

Обычно выделяют четыре стадии электростартерного пуска поршневого двигателя (рисунок 1.8) [25].

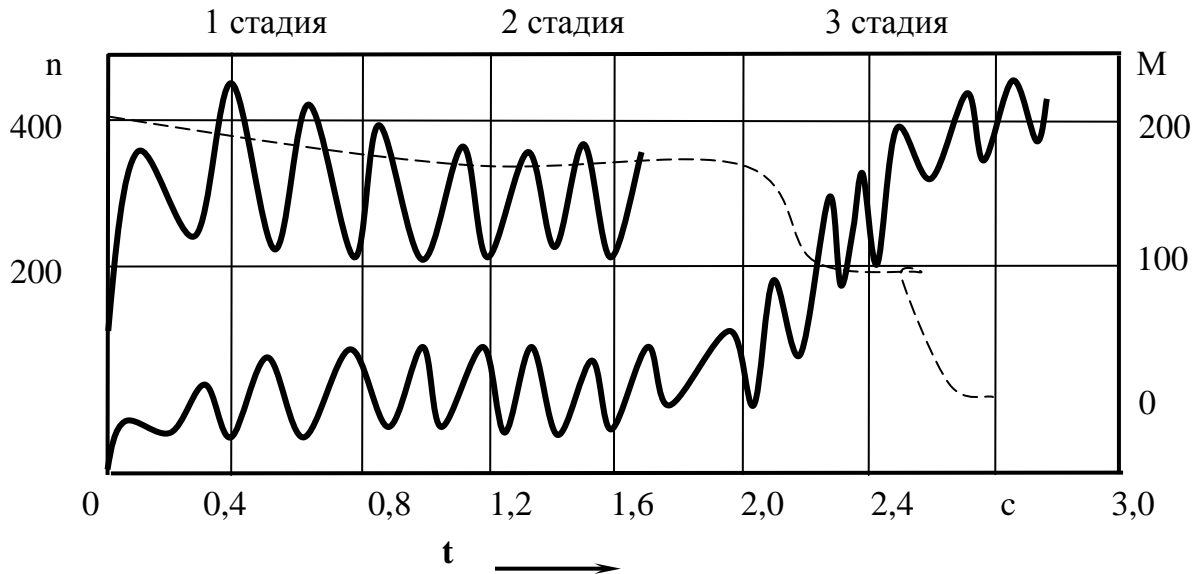


Рисунок 1.8 - Изменение вращающего момента  $M$  электростартера и частоты вращения  $n$  коленчатого вала при пуске шестицилиндрового дизеля

После подключения электростартера к источнику его якорь и коленчатый вал двигателя остаются неподвижными, пока вращающий момент электродвигателя не превысит момент трогания системы стартер—двигатель. Когда это произойдет, частота вращения якоря электростартера и индуцируемая в его обмотке ЭДС начинают возрастать. При этом сила тока в якоре и вращающий момент достигают максимальных значений, а частота вращения коленчатого вала увеличивается до средней частоты вращения в установившемся режиме. Затем сила тока в якоре и вращающий момент уменьшаются до значений, соответствующих установившемуся режиму (2-ая стадия пуска).

Продолжительность 1-й стадии пуска зависит от вязкости моторного масла, мощности электростартера, момента инерции системы стартер-

двигатель и обычно не превышает десятых долей секунды.

Отличительной чертой 2-й стадии пуска является равенство средних значений вращающего момента ( $M_{cp}$ ) электродвигателя и момента сопротивления при постоянной средней частоте вращения коленчатого вала  $n_{cp}$ . Возможное увеличение средней частоты на 2-й стадии связано с интенсивным снижением вязкости масла в узлах трения, вследствие его нагрева теплотой, выделяемой при трении и сжатии воздуха или топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя.

Разряд аккумуляторной батареи и увеличение ее внутреннего сопротивления приводят к снижению средней частоты вращения коленчатого вала. Воспламенение топлива в цилиндрах при низкотемпературном пуске двигателя начинается на 2-й стадии. Возможность и продолжительность пуска зависят от средней частоты вращения коленчатого вала именно на этой стадии. При низких температурах требуется несколько раз провернуть коленчатый вал для создания условий, обеспечивающих воспламенение и горение топливовоздушной смеси.

С повышением температуры окружающей среды частота вращения коленчатого вала возрастает, условия, необходимые для воспламенения смеси создаются раньше и продолжительность 2-й стадии сокращается. При достаточно высоких температурах воспламенение смеси может произойти уже на 1-й стадии пуска.

Процесс пуска переходит в 3-ю стадию, когда двигатель начинает развивать мощность за счет теплоты сгорания топлива. Если топливо воспламеняется и сгорает во всех цилиндрах, то 3-я стадия характеризуется непрерывным нарастанием частоты вращения коленчатого вала благодаря совместному действию вращающих моментов электростартера и двигателя.

Продолжительность 3-й стадии зависит от числа цилиндров, количества и равномерности чередования пропусков сгорания, равномерности распределения смеси по цилиндрам бензинового двигателя, момента инерции

системы стартер-двигатель, начальной вязкости масла и интенсивности ее снижения в процессе пуска.

В 4-й стадии двигатель работает уже самостоятельно, однако ее целесообразно все же относить к процессу пуска. Дело в том, что, если мощность двигателя, развиваемая на этой стадии, окажется недостаточной для преодоления, возрастающего (с увеличением частоты вращения) момента трения, двигатель остановится, и для его пуска потребуются повторное включение стартера.

Выше уже отмечалось, что основную часть момента сопротивления составляет момент сил жидкостного трения.

В связи с изложенными трудностями на практике применяется целый ряд средств, предназначенных для облегчения пуска ДВС:

- предпусковые подогреватели;
- электрофакельные устройства (ЭФУ);
- приспособления для впрыска легковоспламеняющихся жидкостей и т.п.

К этим средствам, естественно, предъявляется ряд требований. Они должны [20]:

- обеспечивать надежный пуск двигателя во всем диапазоне рабочих температур окружающего воздуха за относительно небольшое время;
- потреблять минимальную энергию штатных аккумуляторных батарей;
- обеспечивать пуск двигателя при использовании товарных эксплуатационных материалов (масел для двигателя, топлива, охлаждающих жидкостей и т.д.)
- минимизировать износ деталей двигателя при пусках;
- обеспечивать возможность работы в экстремальных условиях (в снежную пургу, при пониженном атмосферном давлении и т.д.);
- сохранять работоспособность в летний период эксплуатации автомобилей без специальных мер консервации;
- быть простыми по конструкции и технологии применения, обслужи-

ваться одним лицом;

- соответствовать требованиям безопасности и пожарной безопасности;
- быть долговечными (сохранять работоспособность в течение всего срока службы автомобиля).

Устройства, обеспечивающие пуск ДВС при низких температурах, можно классифицировать следующим образом [20]:

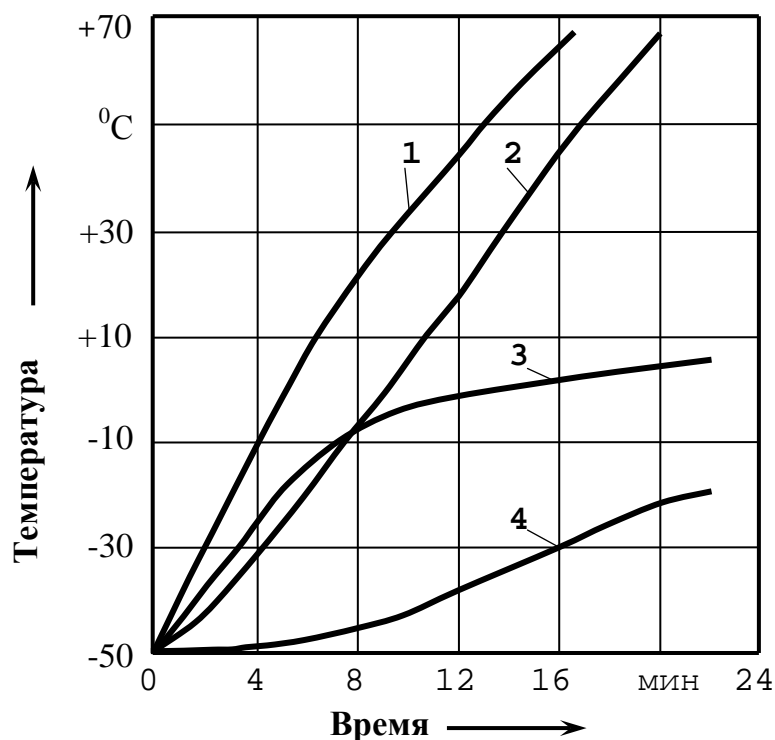
- устройства, обеспечивающие пуск путем предпускового подогрева;
- устройства пуска холодного ДВС.

Первые также можно разделить на подгруппы:

- устройства, обеспечивающие прогрев всего ДВС в целом;
- устройства локального прогрева (калильные свечи, факельные устройства, электронагревательные решетки и т.п.) либо термостатирования отдельных элементов (охлаждающей жидкости, масла в картере и т.д.).

Устройства, обеспечивающие пуск двигателя путем предпускового подогрева, позволяют снизить вязкость масла непосредственно перед пуском и, соответственно, производить пуск при меньших моментах сопротивления прокручиванию. Кроме того, они позволяют уменьшить износ деталей двигателя и пускового устройства [22,39].

К сожалению, применение предпусковых подогревателей не снимает многих проблем, прежде всего потому, что процесс прогрева ДВС занимает достаточно много времени и происходит весьма неравномерно. В качестве примера на рисунке 1.9 показано изменение температуры различных частей ДВС ЯМЗ – 740 при работе подогревателя ПЖД – 30. Из рисунка видно, что процесс прогрева масла в картере и, особенно в области коренных подшипников коленчатого вала идет весьма медленно. Подробное описание и анализ устройств первой группы выходит за рамки данной работы.



1 – стенки цилиндров правого ряда; 2 - стенки цилиндров левого ряда; 3 – масло в картере двигателя; 4 – коренные подшипники коленчатого вала.

Рисунок 1.9 – Зависимость средних температур частей ДВС ЯМЗ-740 от времени работы подогревателя ПЖД – 30

Устройства, обеспечивающие пуск холодного ДВС (без предпускового подогрева или термостатирования отдельных элементов и узлов ДВС), также можно разделить на несколько видов:

- устройства, обеспечивающие впрыск легкоиспаряющихся жидкостей в камеры сгорания непосредственно перед пуском;
- устройства, повышающие частоту вращения коленчатого вала ДВС при прокручивании его стартером.

К последним можно отнести:

- модернизированные конструкции привода стартер – коленчатый вал, усовершенствованные стартеры (механическая часть), в том числе и устройства «двухэтапного» пуска [57];

- усовершенствованные источники электроснабжения системы электрического пуска.

Подводя итог рассмотрению перечня предпусковых устройств, заметим, что в зависимости от условий эксплуатации автомобиля полезным окажется то или иное их сочетание. В то же время, очевидно, что совершенствование источника электроснабжения системы электрического пуска ДВС необходимо в любом случае, в связи с чем мы и концентрируем на нем внимание в настоящей работе.

Проблемы, связанные с применением аккумуляторных батарей при пуске, рассмотрены в разделе 1.2 и в работах [4, 5, 23, 294, 295, 296, 297]. Отметим, что наиболее перспективным является применение емкостных накопителей энергии (конденсаторов большой емкости) [58, 59, 60].

Оно лежит в русле общей тенденции применения всевозможных накопителей энергии: повышение уровня воды в резервуарах при понижении нагрузки электростанций; применение дополнительных устройств, запасящих энергию при торможении автомобиля, и т.д.

Такие накопители, будучи подключенными, когда необходимо, к штатным источникам энергии, облегчают их работу при повышенных нагрузках. Обсудим это направление более подробно.

В ряде работ [60 -70] рассмотрены вопросы использования емкостных накопителей энергии в комбинированных силовых установках, применяемых в автотранспортных средствах.

Штатная свинцовая аккумуляторная батарея имеет, как уже отмечалось, высокую удельную энергию, но низкую удельную мощность [23]. Поэтому при низких температурах приходится применять аккумуляторные батареи большой номинальной емкости со значительным запасом неиспользуемой электрической энергии. Отмечается [24, 67, 68, 69], что запасенную в аккумуляторной батарее энергию при температуре от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  удается использовать лишь на 10 – 15%. При еще более низких температурах отдача аккумуляторной батареи по энергии и мощности может снизиться настолько,

что пуск ДВС становится вообще невозможным.

В начальный период развития рассматриваемой идеи в качестве накопителей применяли электролитические конденсаторы относительно высокого напряжения (до 400 В), что позволяло увеличивать запасаемую ими энергию пропорционально квадрату напряжения [67, 68, 69, 70, 71]. При этом, однако, возникает дополнительная проблема электробезопасности.

Подключение параллельно батарее емкостного накопителя энергии (НЭ), способного быстро накапливать и отдавать накопленную энергию [24, 67], позволяет повысить частоту вращения коленчатого вала ДВС в начальный период пуска без замены штатной аккумуляторной батареи. Это происходит благодаря уменьшению эквивалентного внутреннего сопротивления источника электропитания, что во много раз увеличивает ток, который способен отдать такой комбинированный источник при электростартерном пуске. При меньшем внутреннем сопротивлении НЭ берет на себя большую часть токовой нагрузки в начале пуска ДВС, обеспечивая большее число попыток пуска и увеличивая срок службы ДВС.

Теория работы подобного комбинированного источника тока представлена в [24, 67].

В качестве преимуществ таких источников отмечают [67]:

- возможность внедрения их не только на проектируемые, но и на уже находящиеся в эксплуатации транспортные средства;
- применение накопителей энергии в сочетании с аккумуляторной батареей, имеющей меньшее число аккумуляторов, либо с аккумуляторами меньшей емкости, дает возможность уменьшить массу источника энергии;
- срок службы накопителей энергии соизмерим со сроком службы автомобиля;
- место положения и пространственная ориентация установки некоторых типов накопителей энергии может быть произвольной, поскольку они герметичны и не требуют технического обслуживания в эксплуатации;
- накопители энергии обладают большой скоростью отдачи энергии,



которая практически не зависит от температуры;

- их применение соответствует требованиям электробезопасности.

Электрическая схема подключения накопителя энергии показана на рисунке 1.10 [67].

Конденсатор С заряжается от аккумуляторной батареи GB через диод VD. При полном заряде НЭ срабатывает реле К и от параллельно соединенных НЭ и аккумуляторной батареи напряжение подается на электростартер. Силовые контакты тягового реле К, так же, как и в традиционных системах электропуска с аккумуляторной батареей, замыкаются после входа в зацепление шестерни привода стартера с венцом маховика ДВС. Диод VD предотвращает разряд НЭ на аккумуляторную батарею [67].

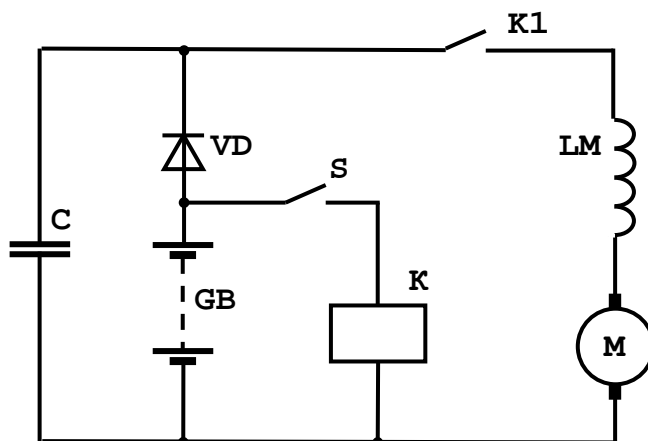


Рисунок 1.10 – Электрическая схема подключения комбинированного источника

Имеются и другие варианты комбинированного источника.

В схеме, показанной на рисунке 1.11, после замыкания контактов выключателя S1 тяговое реле К вводит шестерню привода в зацепление с венцом маховика ДВС и аккумуляторная батарея через диод VD1 обеспечивает электроснабжение стартера М. Одновременно через диод VD2 НЭ заряжается до напряжения, соответствующего напряжению на выводах аккумуляторной батареи [67].

В этой системе электропуска предусмотрена также контактная пара S2, управляемая кулачком на распределительном валу. Профиль кулачка обеспечивает подключение НЭ к стартеру только тогда, когда за счет сжатия топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя увеличивается момент сопротивления прокручиванию. В результате увеличивается частота и равномерность вращения коленчатого вала ДВС. Однако, как упоминалось выше, в области низких температур основную долю момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала ДВС составляет момент сил жидкостного трения, что делает подобные устройства малоэффективными.

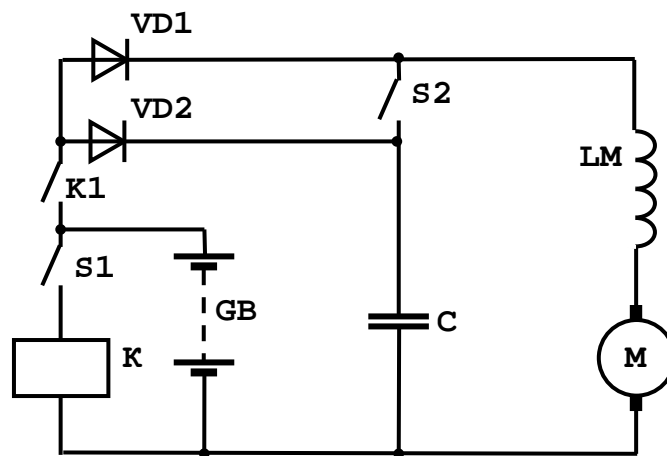


Рисунок 1.11 – Схема кратковременного подключения НЭ в систему электропуска

При рассмотрении процесса разряда емкостного накопителя энергии обычно принимают средний ток, потребляемый стартером, постоянным [24], что верно только при равенстве напряжений на аккумуляторной батарее и накопителе энергии, либо при небольшом их отличии, когда напряжение на стартере слабо изменяется в процессе пуска. Однако это не только не единственно возможный, но и не лучший вариант.

Как видно из зависимостей, приведенных на рисунке 1.7 и рисунке 1.8, средний момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала сначала имеет значение в несколько раз больше установившегося, а потом убывает во времени в течение 1 – 2 с, пока не стабилизируется. По этой причине особенно важно получить повышенные значения вращающего момента в первые се-

кунды пуска ДВС, что можно сделать, зарядив НЭ до напряжения большего, чем напряжение аккумуляторной батареи.

В процессе такого пуска, благодаря снижению вязкости масла в узлах трения ДВС после окончания разряда НЭ, даже сильно разряженная батарея сможет вращать коленчатый вал с частотой, необходимой для надежного пуска ДВС [24].

В работе [67] рассмотрен вариант такого подключения емкостного НЭ к аккумуляторной батарее, которое обеспечивает повышенное напряжение при пуске. Аккумуляторную батарею и накопитель энергии соединяют последовательно, как показано на рисунке 1.12. Такую схему целесообразно использовать для автомобилей, у которых система пуска рассчитана на напряжение 24 В [24].

Ток заряда НЭ проходит от аккумуляторной батареи через диод VD и нормально замкнутые контакты K1.1 реле K1. На время заряда накопитель энергии и аккумуляторная батарея соединяются параллельно. При пуске ДВС после замыкания контактов выключателя S контакты K1.1 размыкаются, а контакты K1.2 и K1.3 реле K1 замыкаются, при этом НЭ и аккумуляторная батарея соединяются последовательно и на выводах электростартера можно получить напряжение 24 В, используя одну аккумуляторную батарею напряжением 12 В [67].

Это повышает напряжение, подаваемое на стартер, но не позволяет снизить внутреннее сопротивление источника энергии. Кроме того, повышение напряжения (вдвое) ограничено при этом лишь одним значением, ничем не обоснованным с точки зрения необходимой реакции компонентов системы пуска.

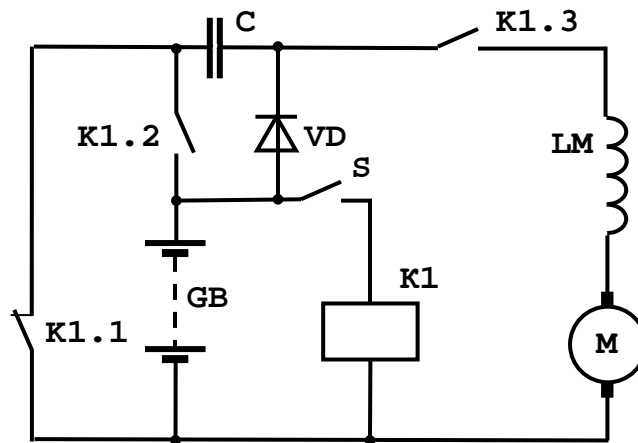


Рисунок 1.12 – Схема с удвоением напряжения

Представляется более логичным заряжать накопитель до такого напряжения, которое обусловлено не ограничениями комплектующих изделий и выбранной схемой, а количественно проанализированными потребностями самого пуска. При этом пуск следует производить непосредственно от накопителя до тех пор, пока напряжение на стартере не уменьшится до напряжения бортовой сети, после чего аккумуляторная батарея возьмет на себя часть токовой нагрузки.

Следует также отметить, что повышенное напряжение целесообразно подавать на стартер только при низких температурах, а при нормальных температурах этого делать не следует, поскольку избыточное напряжение приводит к увеличению момента на валу стартера, частоте вращения его ротора и ускоренному износу [22, 39, 72]. Остается также открытым вопрос, как именно нужно повышать напряжение на стартере при холодном пуске. Здесь следует учитывать, что избыточный момент на валу стартера может вывести из строя как двигатель внутреннего сгорания, так и сам стартер.

Таким образом, основные вопросы остаются пока не выясненными. Они состоят в том, какой именно должна быть емкость накопителя и до каких напряжений ее следует заряжать, а это зависит от характеристик системы пуска, которые в таком контексте не изучены.

В заключение параграфа можно сделать следующие выводы:

- аккумуляторная батарея имеет ограничения по низкотемпературному пуску двигателя;

- использование накопителей энергии для улучшения пусковых характеристик двигателей АТ при последовательном соединении с аккумуляторной батареей увеличивают пусковое напряжение в пределах, превышающих допустимые, а при параллельном соединении возможности накопителей энергии используются только частично;

- в зависимости от условий эксплуатации автомобиля полезно применение того или иного сочетания предпусковых устройств, реализующих различные виды предпускового подогрева и усовершенствований системы электроснабжения;

- указанные недостатки могут быть устранены применением адаптивной системы электропитания.

## **1.6 Анализ проблем системы зажигания**

Система зажигания предназначена для своевременного воспламенения рабочей смеси в цилиндрах двигателя. На нее подается напряжение бортовой сети, она состоит из устройств, предназначенных для преобразования, распределения и применения электрической энергии для зажигания рабочей смеси и включает сопутствующие контрольные и регулировочные приборы.

Система зажигания должна соответствовать ряду требований [3, 4, 5, 18, 23, 48, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81]:

- учитывать особенности двигателя (число цилиндров, количество тактов и т.д.).

- обеспечивать бесперебойное искрообразование при всех режимах работы двигателя;

- выдерживать механическую нагрузку в диапазоне частот и амплитуд, определяемых вибрацией мест крепления;

- оставаться работоспособной в климатических условиях эксплуатации двигателя;

- обеспечивать возможность подавления радиопомех;

Системы зажигания могут быть классифицированы следующим образом [23]:

- по назначению (пусковые, рабочие);

- по способу воспламенения рабочей смеси (калильные, искровые);

- по величине напряжения (низковольтные, высоковольтные);

- по типу источника энергии (батареи, магнето);

- по способу накопления энергии (в емкости, в индуктивности, без накопления);

- по типу коммутирующего элемента (контактные, электронные).

Наибольшее распространение получили батарейные системы зажигания с накоплением энергии в индуктивности и высоковольтным разрядом.

Работоспособность автомобилей с бензиновыми двигателями во многом определяется характеристиками системы зажигания, на долю которой приходится до половины отказов электрооборудования [18, 19, 48]. Отказ или неисправность системы зажигания приводят к вынужденной остановке автомобиля, а отыскание и устранение неисправностей требует наличия большого опыта у водителя [17, 23, 75, 76, 82, 83].

Характеристики системы зажигания влияют на содержание вредных веществ в отработавших газах, что, в свою очередь, влияет на экологию, приводит к утомляемости водителя и повышает вероятность дорожно-транспортных происшествий [35, 78, 82, 83].

Возросшие в последнее время технико - экономические требования, предъявляемые к современным автомобилям, предполагают снижение токсичности отработавших газов, повышение топливной экономичности и надежности работы [16, 29, 78, 84], что достигается не только модернизацией топливной аппаратуры, поиском новых видов топлива [85, 86, 87, 88], выбо-

ром форм камеры сгорания и повышением степени сжатия, но и совершенствованием системы зажигания [16, 29, 35, 76, 84, 89, 90, 91,92].

Простейшая классическая система зажигания, электрическая схема которой показана на рисунке 1.13 [23], состоит из выключателя зажигания S1, добавочного резистора R1, катушки зажигания T1, прерывателя S2, конденсатора C1, распределителя S3, и свечей зажигания F1 – F4. Электроснабжение системы зажигания осуществляется от соединенных параллельно аккумуляторной батареи и генераторной установки. Принцип работы такой системы зажигания хорошо известен и подробно описан в литературе [30, 38, 79].

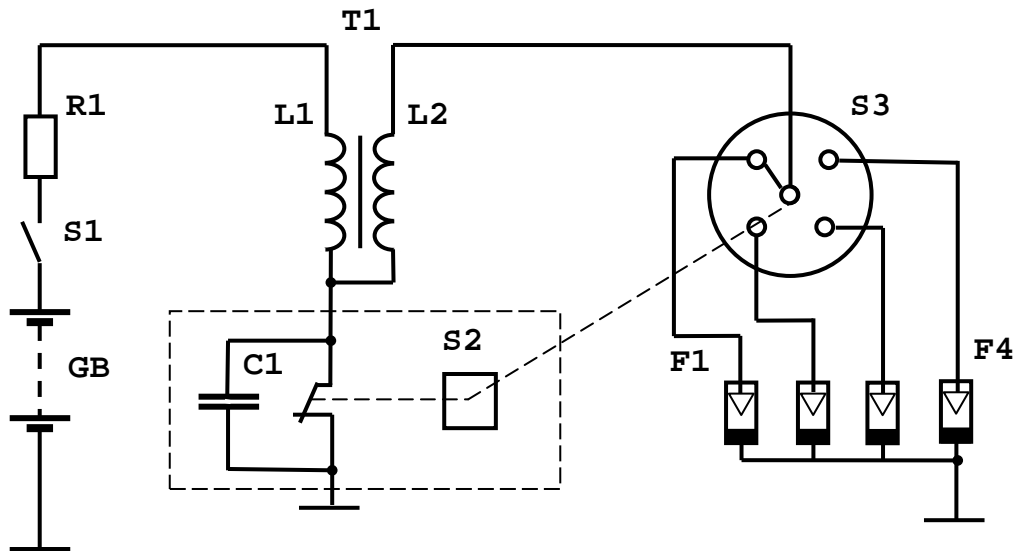


Рисунок 1.13 - Электрическая схема классической системы зажигания

Важнейшим параметром, характеризующим работу такой системы, является ток разрыва  $I_p$  :

$$I_p = \frac{U_\delta}{R_{1\Sigma}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{120R_{1\Sigma}\tau_3}{L_1 n z}\right) \right], \quad (1.4)$$

где  $U_\delta$  - напряжение подаваемое на систему зажигания, В;

$R_{1\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление первичной цепи, Ом;

$\tau_3$  - время замкнутого состояния контактов прерывателя, с;

$L_1$  -индуктивность первичной обмотки катушки зажигания, Гн;

$n$  – частота вращения коленчатого вала ДВС, об/мин;

$z$  – число цилиндров двигателя.

После размыкания контактов прерывателя ЭДС самоиндукции первичной обмотки заряжает конденсатор  $C_1$  до напряжения  $U_1$ . Первичная обмотка и конденсатор образуют контур, в котором происходит колебательный разряд конденсатора.

Вторичная обмотка вместе с распределенной емкостью  $C_2$  вторичной цепи, заряженной до напряжения  $U_2$ , равного ЭДС взаимной индукции, образуют вторичный колебательный контур, связанный с колебательным контуром первичной обмотки общим магнитным потоком. Величина максимального вторичного напряжения во вторичной цепи оценивается по балансу энергии, из которого следует приближенное амплитудное значение импульса вторичного напряжения [23]:

$$U_{2M} = I_p \varepsilon_1 \left( \frac{w_2}{w_1} \right) \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 \left( \frac{w_2}{w_1} \right)^2}} \cdot \eta \quad , \quad (1.5)$$

где  $\eta$  - коэффициент, учитывающий потери энергии;

$w_1$  и  $w_2$  - число витков первичной и вторичной обмоток катушки зажигания;

$C_1$  и  $C_2$ -суммарные емкости первичной и вторичной цепей, Ф;

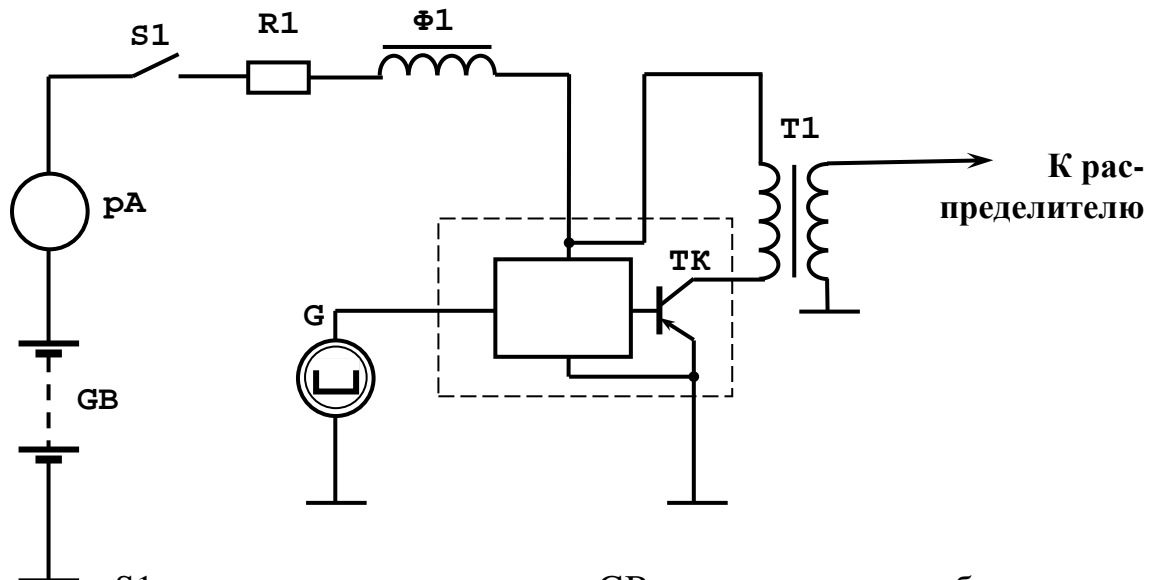
$\varepsilon_1$  – коэффициент, учитывающий уменьшение вторичного напряжения в связи с тем, что не весь магнитный поток, формируемый первичной обмоткой, пронизывает вторичную (наличие потока рассеяния).

Законы изменения вторичного напряжения и энергии искрового разряда зависят от режима работы системы зажигания. Нормальным рабочим режимом системы зажигания с индуктивным способом накопления энергии является переходный режим, при котором энергия, запасаемая в магнитном поле катушки зажигания, переходит в энергию искрового разряда в свече зажигания.



Электронные системы зажигания отличаются от контактных применением электронных ключей – коммутаторов, что позволяет увеличить силу тока разрыва в первичной цепи и тем самым повысить надежность и быстродействие системы в целом. Однако принцип действия остается при этом неизменным. Соотношения (1.4) – (1.5) для таких систем также остаются справедливыми [76, 77, 78, 82].

В соответствии с ГОСТ 28772-90 [81] различают еще бесконтактные – электронные системы зажигания, вообще не содержащие контактного прерывателя. Вместо них здесь применяют электромагнитный датчик или датчик Холла. Функциональная схема бесконтактной электронной системы зажигания показана на рисунке 1.14 [93].



S1 – выключатель зажигания; GB – аккумуляторная батарея; pA – амперметр; R1 – добавочный резистор; Φ1 – фильтр подавления радиопомех; T1 – катушка зажигания; G – датчик импульсов; ТК – транзисторный коммутатор ТК 200-01-0.

Рисунок 1.14 - Функциональная схема бесконтактной электронной системы зажигания

Она отличается от аналогичной схемы контактной системы зажигания только наличием электронного ключа – коммутатора ТК–200-01, электромагнитного датчика импульсов G и фильтра подавления радиопомех Φ1.

Существуют и более сложные - микропроцессорные системы зажигания [4, 5, 17, 18, 94]. Они имеют большое количество датчиков (детонации, температуры окружающего воздуха, количества воздуха, поступающего в карбюратор, температуры охлаждающей жидкости, скорости вращения коленчатого вала и других).

В таких системах напряжения датчиков с помощью аналого-цифровых преобразователей трансформируются в цифровые коды и по заданной программе обрабатываются микропроцессором, изменяя время накопления энергии в первичной цепи катушки зажигания и угол опережения зажигания [5, 17, 18, 94].

Подобные системы имеют повышенную сложность, в частности, большое количество датчиков, что существенно снижает их ремонтпригодность.

Существуют системы зажигания с низковольтным распределением искры по свечам цилиндров двигателя - так называемые системы зажигания без распределителя (по ГОСТ 28827-90 [81]). Они содержат несколько коммутаторов и катушек зажигания, что позволяет избавиться от высоковольтного распределителя, но требует дополнительных устройств, применение которых снижает надежность работы.

В ряде работ [4, 17, 23] отмечается, что бесконтактные системы зажигания обладают существенными преимуществами по сравнению с контактными. Они обусловлены применением мощного транзистора в ключевом режиме вместо механических контактов прерывателя, что позволяет избежать быстрого износа контактов при увеличении первичного тока. При этом появляется возможность увеличить первичный ток разрыва и, как следует из (1.5), повысить вторичное напряжение.

Исследования, проведенные авторами работ [17, 18, 43], показали, что в зависимости от внешних условий и режима работы двигателя для надежного воспламенения рабочей смеси требуется различная энергия и разная продолжительность искрового разряда. Если двигатель прогрет, работает на установившемся режиме и температура рабочей смеси близка к температуре

самовоспламенения, то для ее воспламенения требуются небольшие энергия и продолжительность искрового разряда. В то же время при работе двигателя на неустановившихся режимах – на холостом ходу, во время разгона и, особенно, при его холодном пуске – нужна уже существенно большая энергия искрового разряда (до 0,1 Дж).

Бесконтактные системы зажигания обеспечивают достаточный запас вторичного напряжения и энергии во вторичной цепи. Однако нужно иметь в виду следующее.

При избыточном коэффициенте запаса вторичного напряжения на электродах свечи выделяется значительно большая энергия, чем необходимо для надежного воспламенения рабочей смеси даже при неустановившихся режимах работы двигателя. В результате происходит ускоренный износ электродов свечей зажигания, повышается вероятность выхода из строя электронных узлов (силового транзистора коммутатора) и система зажигания в целом будет работать в неблагоприятном режиме.

Более того, если велики частота импульсов, подаваемых на свечу зажигания и ее разрядные токи, то при повышенных запасах электромагнитной энергии в свече может возникнуть дуговой разряд. Это явление недопустимо, так как при таком разряде свечи быстро выходят из строя из-за эрозии и оплавления катодов.

Следует также заметить, что в том случае, когда искровой разряд обеспечивает надежное воспламенение рабочей смеси, дальнейшее увеличение его энергии никакого влияния на процесс сгорания и эффективность работы двигателя не оказывает [43].

С другой стороны, коэффициент запаса – с учетом проблемы пуска – существенно понижать также нельзя, особенно в тех распространенных случаях, когда аккумуляторная батарея частично разряжена. При снижении напряжения  $\leq 8V$  ни одна из существующих систем зажигания не будет отвечать предъявляемым к ней требованиям по бесперебойному искрообразованию.

Таким образом, к системе зажигания предъявляются прямо противоположные требования. Отсюда следует, что для уменьшения электрической эрозии свечей при одновременном повышении надежности системы зажигания необходимо гибко изменять ее параметры в зависимости от режимов работы двигателя.

Для определения возможности улучшения параметров различных систем зажигания следует сопоставить их характеристики (таблица 1.2) [3, 95, 96, 97]. Для удобства анализа здесь осуществлена группировка по применяемым катушкам зажигания.

Как видно из таблицы, катушки зажигания контактных систем обладают заметно более высокой индуктивностью и сопротивлением первичной цепи. Это обусловлено необходимостью ограничения тока разрыва с целью получения приемлемых срока службы и надежности работы контактов прерывателя. При токе разрыва более 4А контакты очень быстро выходят из строя [4,23]. Поэтому подобные системы зажигания морально устарели и не представляют интереса как предмет исследования. С целью увеличения тока разрыва без снижения надежности работы, как уже отмечалось, применяют электронные ключи – транзисторы.

Транзисторные системы зажигания с регулируемым временем накопления отличаются тем, что ток разрыва в них стремятся поддерживать постоянным, что стабилизирует энергию, запасаемую в первичной цепи [3]. Это достигается благодаря тому, что коммутаторы, работающие с регулированием времени накопления, выполнены в виде интегральной микросхемы и работают по заданному алгоритму [3, 95]. Однако, как следует из изложенного выше, эта энергия первичной цепи должна зависеть от режима работы ДВС (она может изменяться в 500 раз [98, 99]). Таким образом, ее вовсе не следует поддерживать на постоянном уровне. Энергия первичной цепи определяется током разрыва первичной цепи  $I_p$ , который в бесконтактных системах зажигания зависит от ее сопротивления.

Таблица 1.4 - Применяемость систем зажигания

Катушки	Первичная цепь		Вторичная цепь		Коэфф. трансф. $w_2/w_1$	Добавочный резистор	Система зажигания**	Применение на автомобильной технике
	$R_1$ , Ом	$L_1$ , мГн	$R_2$ , кОм	$C_2$ , пФ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б114	0,37-0,41	3-3,3	21,5-23	31-36	227	СЭ10 7	КТ	ЗиЛ-- 431410, ПАЗ,
Б115	1,86-2	9,3-9,8	8,3-9,2	38-44	68	Б115	К	АДБ- 309,305, ЭСБ--12
Б116	0,78-0,79	5,4-5,6	15,6	55-57	153	СЭ10 7	БЭ	УАЗ-3151, 2966 "Гу- сар", ГАЗ- 3308, 3307
Б118*	0,72-0,73	5,6-5,8	15	55-57	115	СЭ32 5	БЭ ЭМ	ЗиЛ-- 431410, ПАЗ
27.3705	0,4-0,5	3,7-3,8	4,5-5,5	31	82	-	БЭ ДХ	ВАЗ-2121
30.3705	0,4-0,55	5,6-6,2	6,3-6,4	24	70	-	МП,БЭ, ЭМ	ГАЗ-3302

\* - экранированное исполнение;

\*\* - К - контактная, КТ - контактно-транзисторная, БЭ - бесконтактная электронная, МП- микропроцессорная, ДХ – с датчиком Холла, ЭМ – с электромагнитным датчиком.

Из анализа приведенных табличных данных следует, что сопротивление первичной цепи катушек зажигания, применяемых в бесконтактных и контактно-транзисторных системах зажигания, отличаются в 1,5-2 раза и составляют в среднем около 0,5-0,6 Ом.

Сопротивление добавочного резистора, который включается последовательно с первичной цепью катушки зажигания, составляет 1-1,9 Ом. Эквивалентное сопротивление первичной цепи (за исключением режима пуска ДВС) равно сумме этого сопротивления и сопротивления соединительных проводов. Поскольку напряжение питания всех систем зажигания, приведенных в таблице 1.2, одинаково, то максимальный ток разрыва в первичной цепи, определяемый законом Ома, составит с учетом падения напряжения на открытом транзисторе коммутатора ~6 А. Если учесть, что энергия, запасенная в первичной цепи, определяется выражением  $W_1 = L_1 \cdot I_p^2 / 2$ , а индуктивности первичных цепей катушек зажигания, используемых в бесконтактных системах зажигания, также близки по величине, то можно сделать вывод, что бесконтактные системы зажигания как с датчиком Холла, так и с электромагнитным датчиком по запасаемой энергии различаются несущественно.

Косвенно об этом же свидетельствуют типы транзисторов, применяемых в выходном каскаде коммутаторов этих систем [99] КТ808А - в бесконтактной системе зажигания «Искра», и КТ848А - в системе зажигания с датчиком Холла, – параметры этих транзисторов очень близки [100] (большинство систем зажигания с датчиком Холла выполняются с регулируемым временем накопления).

Из изложенного следует вывод, что по энергетическим характеристикам обе бесконтактные системы зажигания – как с регулируемым временем накопления, так и типа «Искра» - примерно одинаковы. Однако только последняя может быть подвергнута модификации – в свете высказанных сооб-

ражений. К тому же она обладает относительно невысокой стоимостью при высокой надежности, в связи с чем и нашла весьма широкое применение в автомобильной технике. Таким образом, очевидно, нужно исследовать именно ее.

Заметим, что пробивное напряжение  $U_{2np}$  между электродами свечи описывается законом Пашена. Поскольку давление в цилиндрах ДВС при такте сжатия всегда выше 1 атм., то зависимость пробивного напряжения от давления имеет линейный характер [30,80].

Изменение пробивного напряжения  $U_{2np}$  происходит также при изменении угла опережения зажигания. Кроме того, на напряжение пробоя оказывают влияние [17, 19, 43, 101, 102, 103]: состав рабочей смеси в зоне искрового промежутка, давление и температура среды в камере сгорания. При работе ДВС температура в камере сгорания постоянно изменяется, вследствие воздействия различных факторов: состава смеси, скорости вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя [17, 33,101].

Во время пуска температура в камере сгорания равна температуре окружающей среды и влияние отработавших газов незначительно. На частичных нагрузках уменьшение температуры, давления и увеличение угла опережения зажигания комплексно влияют на пробивное напряжение таким образом, что абсолютные значения  $U_{2np}$  меньше, чем при пуске ДВС.

Экспериментальные работы [35, 77] подтверждают влияние температурного режима на пробивное напряжение. В них, в частности, отмечается, что наибольшее значение пробивного напряжения оказывается при разгоне и, особенно, - при пуске холодного ДВС.

Кроме того, на  $U_{2np}$  сильно влияет скорость открывания дроссельной заслонки. Наиболее резкое увеличение пробивного напряжения наблюдается в случае быстрого открывания дроссельной заслонки и при низких оборотах коленчатого вала [104, 105]. Этот эффект объясняют ухудшением процесса смесеобразования: рабочая смесь становится гетерогенной.

Рассмотрим факторы, влияющие на вторичное напряжение. Его определяют параметры первичной и вторичной цепей катушки зажигания и ток разрыва первичной цепи (1.4), который, в свою очередь, определяется сопротивлением первичной цепи, напряжением питания и временем замкнутого состояния контактов прерывателя [30, 34, 77,105].

На вторичное напряжение влияет и длительная работа свечи, вследствие образования шунтирующего сопротивления  $R_{III}$ , вызванного отложением углеродистых соединений и солей металла (свинца или магния) на тепловом конусе ее изолятора. Из-за наличия  $R_{III}$  нарастающее после записания транзистора вторичное напряжение создает во вторичной цепи ток утечки, который, циркулируя во вторичной цепи до пробоя искрового промежутка, вызывает падение напряжения на вторичной обмотке катушки зажигания и уменьшение подводимого к свече эффективного напряжения.

При малом шунтирующем сопротивлении ток утечки возрастает и вторичное напряжение может снизиться до уровня, даже меньшего, чем пробивное напряжение. Практически  $R_{III}$  может снижаться до значения  $0,25 \cdot 10^6$  Ом [84], при котором искра в свече вообще не возникает.

Вторичное напряжение, развиваемое системой зажигания, определяется также производственными факторами. Исследования [104, 106] показали, что катушки зажигания и распределители имеют значительный разброс по вторичному напряжению (до 45 и 38 % соответственно).

Пусковая и рабочая характеристики бесконтактной системы зажигания выражаются зависимостью  $U_2 = f(n)$ . Исследования, проведенные за последнее время, показывают, что  $U_{2M}(n)$  всегда выше требуемых  $U_{2ПР}(n)$ , обеспечивая коэффициент запаса  $k_z$  более 1,8 [42, 43, 78, 107, 108,109].

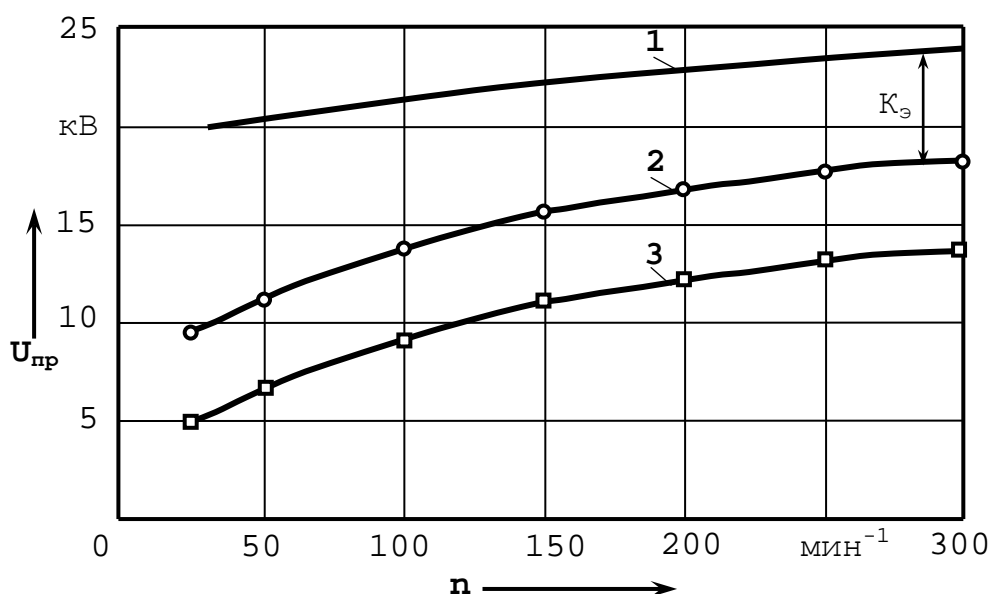
Для количественных сопоставлений описанных характеристик системы зажигания на рисунках 1.15, 1.16 представлены зависимости вторичного и пробивного напряжений от частоты вращения коленчатого вала ДВС для



режимов пуска (рисунок 1.15) и разгона (рисунок 1.16) по данным работы [104].

Итак, на напряжение пробоя  $U_{2пр}$  оказывают влияние:

- изменение угла опережения зажигания;
- изменение расстояния между электродами свечи зажигания из-за их электрической эрозии в процессе эксплуатации;
- нагрузка, с которой работает ДВС;
- давление в камере сгорания в момент пробоя искрового промежутка свечи;
- температура среды в камере сгорания в момент электрического пробоя;
- скорость открытия дроссельной заслонки;
- состав рабочей смеси в зоне искрового промежутка.



1 – вторичное напряжение; 2 – пробивное напряжение при искровом промежутке свечи зажигания 1,2 мм; 3 – пробивное напряжение при искровом промежутке свечи зажигания 0,7 мм.

Рисунок 1.15 - Зависимости вторичного и пробивного напряжений от скорости вращения коленчатого вала ДВС для области режима пуска

Следовательно, пробивное напряжение  $U_{2пр}$  зависит от большого количества изменяющихся при эксплуатации факторов и потому получить аналитическое выражение для его расчета практически невозможно.

Величина вторичного напряжения также зависит от целого ряда факторов:

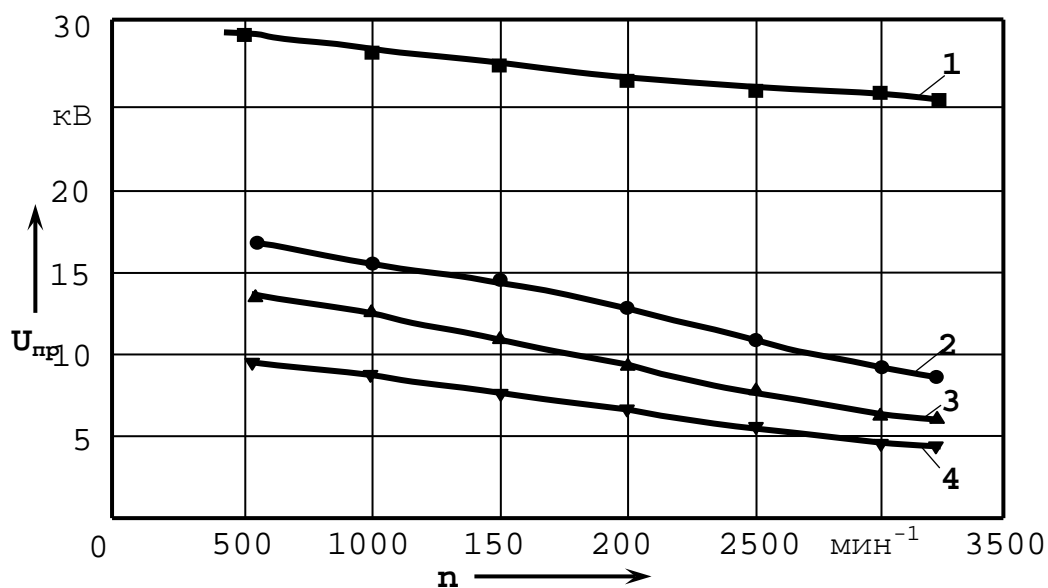
- параметров первичной и вторичной цепей катушки зажигания;
- образования шунтирующего сопротивления, вызванного отложением углеродистых соединений и солей металлов на тепловом конусе изолятора свечи;
- технологического разброса по вторичному напряжению катушек зажигания и распределителей;
- тока разрыва первичной цепи (1.4), который, в свою очередь, определяется сопротивлением первичной цепи, подаваемым напряжением и временем замкнутого состояния контактов прерывателя.

При увеличении частоты вращения коленчатого вала в рабочей области частот до значений, близких к максимальным, происходит снижение вторичного напряжения, что обусловлено уменьшением времени замкнутого состояния контактов и, соответственно, энергии, запасаемой в катушке зажигания. С другой стороны, при увеличении оборотов коленчатого вала возрастает пробивное напряжение. Обе причины ведут к уменьшению коэффициента запаса.

В процессе эксплуатации ДВС существенно изменяются как пробивное, так и вторичное напряжения, а, следовательно, и их отношение. В силу этих причин, как уже отмечалось, приходится выбирать значительный коэффициент запаса с целью обеспечения надежной работы ДВС на всех режимах, но с вытекающими отсюда существенными недостатками [17, 19, 110 -117].

При низких температурах в режиме пуска двигателя в работе системы зажигания проявляются некоторые особенности [17, 19]. Момент сопротивления на валу стартера резко возрастает, растет при этом и стартерный ток, что приводит к уменьшению напряжения бортовой сети. При малых напряжениях питания ни одна из перечисленных ранее систем зажигания не обеспечивает бесперебойного искрообразования, за исключением системы зажи-

гания с регулируемым временем накопления энергии [27], которая отличается более высокой стоимостью и сложностью.



1 – вторичное напряжение; 2 – пробивное напряжение при полной нагрузке; 3 – пробивное напряжение при 0,5 от полной нагрузки; 4 – пробивное напряжение при малой нагрузке.

Рисунок 1.16 - Зависимости вторичного и пробивного напряжений от скорости вращения коленчатого вала ДВС в области рабочих частот на неустановившихся режимах

При пуске двигателя время замкнутого состояния первичной цепи велико из-за низкой скорости вращения коленчатого вала ДВС, и потому ток в первичной цепи достигает установившегося значения в соответствии с уравнением (1.4). Поэтому во время пуска ДВС ток разрыва в основном зависит от напряжения поданного на систему зажигания, т.е. от напряжения аккумуляторной батареи.

При пуске холодного ДВС из-за уменьшения вторичного напряжения  $U_{2M}$  и увеличения пробивного напряжения  $U_{2np}$  (по указанным выше причинам) снижается коэффициент запаса. Решить проблему холодного пуска ДВС с позиций системы зажигания можно, регулируя напряжение на системе зажигания при помощи адаптивной системы электроснабжения.

В заключение параграфа можно сделать следующие основные выводы:

- значительный диапазон изменений напряжения бортовой сети учитывается в существующих системах зажигания избыточным коэффициентом запаса по вторичному напряжению, что снижает надежность работы и ресурс аппаратов зажигания;
- недостатки систем зажигания, которые проявляются, с одной стороны, при низкотемпературном пуске ДВС, а с другой – при высоких оборотах коленчатого вала двигателя, в значительной степени обусловлены жесткой привязкой их параметров к напряжению бортовой сети;
- указанные недостатки могут быть устранены применением адаптивной системы электроснабжения.

## **1.7 Классификация преобразователей параметров электрической энергии**

В предыдущих параграфах отмечалось, что недостатки той или иной системы бортового электрооборудования могут быть устранены применением адаптивных систем электроснабжения. Рассмотрим их более подробно.

Система электроснабжения является неотъемлемой частью автомобильного электрооборудования, и может быть классифицирована по области применения, назначению и виду объекта установки. В зависимости от объекта установки системы электропитания (СЭП) можно разделить на две группы: СЭП подвижной и СЭП стационарной аппаратуры [118].

Задача синтеза структуры СЭП содержит: выбор принципов построения; распределение функций преобразования энергий и управления электропитанием по уровням иерархии СЭП; определение наиболее эффективных взаимосвязей между всеми составляющими структуры СЭП; выбор технических средств, предназначенных для решения основной задачи и осуществления связи в СЭП. При разработке структуры СЭП предполагается

ся, что предварительно определены ее назначение, критерии эффективности, перечень решаемых ею задач, возможные звенья, предполагаемые технические средства и их характеристики.

Основное назначение СЭП состоит в преобразовании входных напряжений и токов, необходимых для работы различных устройств и вспомогательного оборудования. Функциональные устройства СЭП различаются назначением, условиями эксплуатации, видом входной электроэнергии, способом преобразования электроэнергии, методом регулирования, выходными характеристиками, числом каналов, элементной базой.

С точки зрения качества используемого электроснабжения оборудование можно разделить на две группы с соответствующей организацией. К первой относится аппаратура, участвующая в обработке полезного сигнала и его формировании. Требования к качеству напряжения составляют  $\pm 1...2$  % по допустимой нестабильности  $\pm 0,1...0,2$  % по переменной составляющей. Для выполнения этих довольно высоких требований целесообразно использовать децентрализованные или комбинированные СЭП [118].

Подобные устройства рассмотрены в работе [119], для получения СЭП имитирующей внешнюю характеристику солнечной батареи. Очевидно, что подобные системы необходимы для реализации регулятора напряжения, поддерживающего с высокой точностью напряжение бортовой сети автотранспортного средства ( $13,9 \pm 0,1В$ ).

Ко второй группе относится аппаратура, не участвующая в обработке полезного сигнала, а также не требующая высокого качества электроснабжения. Для такой аппаратуры целесообразно использовать источники импульсного действия.

В составе аппаратуры СЭП является согласующим звеном между нагрузкой и системой электроснабжения, обеспечивая ряд номиналов напряжений и мощностей, компенсируя отклонение выходных параметров системы электроснабжения под действием влияющих факторов. Требования

к показателям СЭП вытекают из требований к данной аппаратуре в целом [118].

В процессе проектирования система электроснабжения не поддается изменениям, варьируются параметры СЭП и нагрузки. Системы электропитания различного функционального назначения имеют существенные отличия по принципу построения, элементной базе, конструкции и технологии входящих в них функциональных устройств.

При комплексном подходе к проектированию СЭП возможна ее оптимизация. Под оптимизацией СЭП понимается выбор параметров, элементной базы, тепловых режимов по основному критерию – комплексному показателю качества. Решение задачи оптимизации СЭП включает: составление исходных данных, их анализ и принятие решения; расчет экономических показателей на ранних стадиях проектирования и сравнение с установленными на них ограничениями; расчет показателя качества для выбранного решения и сравнение его с аналогичными показателями для других решений [118].

В основе любой СЭП лежит источник питания, который может быть линейным или импульсным. Хотя линейные источники имеют некоторые преимущества, такие как простота, низкие выходные пульсации и шум, превосходные значения стабильности по напряжению и току, быстрое время восстановления, главным их недостатком является невысокий КПД [120]. Этот недостаток ограничивает область применения относительно небольшими мощностями. Схемотехника подобных устройств хорошо известна [118] и в данной работе подробно не рассматривается.

Рассматриваемые преобразователи [120] являются вторичными источниками, тогда как к первичным источникам относится сеть переменного тока (50/60 Гц), различные гальванические элементы (аккумуляторы), солнечные батареи и т.п.

Соответственно, по типу входного и выходного напряжений импульсные вторичные источники питания можно разделить на:

- преобразователи переменный ток – переменный ток (АС/АС - конвертеры);
- преобразователи переменный ток – постоянный ток - сетевые источники питания (АС/DC-конвертеры);
- преобразователи постоянного напряжения батареи гальванических или других элементов (DC/DC-конвертеры);
- преобразователи постоянный ток – переменный ток (DC/АС-конвертеры).

В качестве АС/АС - конвертера может использоваться любой двухтактный импульсный преобразователь [321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328]. К ним относятся, например, так называемые электронные трансформаторы, преобразующие напряжение сети 50/60 Гц в нестабилизированное низковольтное переменное напряжение для питания электролюминесцентных ламп.

В основе сетевых источников лежит АС/DC-конвертер. Однако импульсные источники питания выпрямляют и фильтруют напряжение сети переменного тока без использования первичного трансформатора на 50/60 Гц. Полученный в результате этого постоянный ток коммутируется мощным ключом, а затем преобразуется высокочастотным трансформатором, и, наконец, выпрямляется и фильтруется. Из-за высокой частоты переключения, которая составляет от 20 кГц до 1 МГц, трансформатор и конденсаторы фильтров имеют намного меньшие размеры, чем их эквиваленты для частоты 50/60 Гц. КПД импульсных источников питания может достигать 98% [328 - 344].

DC/DC - конвертеры используют принцип действия импульсных источников, но применяются для того, чтобы преобразовать одно напряжение постоянного тока в другое, обычно хорошо стабилизированное. Эти устройства используются там, где электронное оборудование должно снабжаться энергией от батареи или другого автономного источника постоянного тока.

Интегральные DC/DC-конвертеры широко используются для преобразования и распределения постоянного напряжения питания. Это напряжение питания обычно поступает в систему от сетевого источника питания или батареи, может быть нестабилизированным и иметь значительную шумовую компоненту.

Распространенное применение DC/DC-конвертеров - это преобразование напряжения батареи в напряжение другого номинала, необходимое для питания различных устройств [335 - 346]. Напряжение батареи может изменяться в широких пределах. Например, напряжение аккумуляторной батареи транспортного средства может подниматься до 15 В и выше во время заряда и опускаться до 6 В при пуске двигателя [120]. В таком случае для питания электронных схем требуется DC/DC - конвертер, чтобы из изменяющегося входного напряжения произвести устойчивое, хорошо стабилизированное выходное напряжение.

Классификация преобразователей по схеме построения приведена в таблице 1.3 [120].

Рассмотрим более подробно индуктивные преобразователи без гальванической развязки, поскольку именно они обладают повышенным коэффициентом полезного действия и чаще применяются для создания устройств автомобильной электроники.

Таблица 1.3 - Классификация преобразователей по схеме построения

Импульсные преобразователи								
Конденсаторные	Индуктивные							
	Без гальванической развязки			С гальванической развязкой				Резонансные
	Повышающие (boost)	Понижающие (buck)	Инвертирующие (inverter)	Однотактные		Двухтактные		
				Прямые (forward)	Обратные (flyback)	Мостовые	Полумостовые	



Первая схема показана на рисунке 1.17а - это понижающий стабилизатор (buck) [118, 344]. Понижающий стабилизатор работает следующим образом. При открывании силового ключа 1 схемой управления 2 катушка индуктивности заряжается током от входной цепи, а при запираании ключа 1 энергия, запасенная в катушке «сбрасывается» в конденсатор. В преобразователе не используется трансформатор и не имеется гальванической развязки входа и выхода схемы. В качестве схемы управления обычно используется широтно- импульсный модулятор (ШИМ – модулятор) [327]. Эти устройства часто выступают в качестве высокоэффективного стабилизатора с тремя выводами.

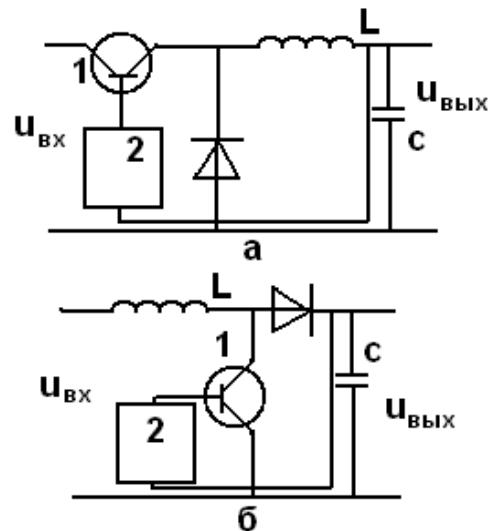


Рисунок 1.17 – Схемы понижающего (а) и повышающего (б) преобразователей

В связи с бурным развитием микропроцессорной техники появились мощные понижающие стабилизаторы для питания быстродействующих процессоров типа Pentium. При снижении выходного напряжения определяющую роль начинают играть потери на диоде Шоттки, хотя время пролета основных носителей заряда через этот слой невелико, но падение напряжения на нем приводит к избыточным потерям мощности [121-129]. Его замена на МОП-транзистор (металл-окисел-полупроводник) с малым сопротивлением открытого канала в режиме синхронного выпрямления

позволила значительно повысить выходной ток при высоком уровне КПД. Такие схемы получили название синхронных выпрямителей [338]. В отличие от обычного двухтактного выходного каскада, для предотвращения сквозных токов в них предусмотрено так называемое время неперекрывания (dead time) - время между открытым состоянием верхнего и нижнего ключевых транзисторов [339, 342].

Схема повышающего стабилизатора (boost) [120, 344, 345] показана на рисунке 1.17б и работает подобно схеме понижающего стабилизатора, за исключением того, что выходное напряжение выше, чем входное. Фактически выходное напряжение равно входному напряжению плюс напряжение, определяемое переключением индуктивности.

Инвертирующий преобразователь (inverter) можно получить из схемы понижающего преобразователя, при этом соответствующим образом должно быть преобразовано напряжение обратной связи. Отметим, что современный уровень развития преобразовательной техники [118, 327, 348, 347] позволяет получить диапазон мощностей до десятков киловатт, и токов до нескольких сотен ампер.

Для создания СЭП электропуска нам потребуется заряжать накопительный конденсатор большой емкости. Коротко рассмотрим возможные способы реализации СЭП, выполняющей данную функцию. Простейший способ заряда накопительного конденсатора заключается в передаче энергии при подключении накопительного конденсатора непосредственно к источнику постоянного напряжения. Этот способ аналогичен способу передачи энергии в нагрузку обычного, а не импульсного типа. Из теории электрических цепей известно [130] что способ передачи энергии от источника постоянного напряжения в конденсатор через токоограничивающее активное сопротивление характеризуется низкими энергетическими показателями: максимально достижимый КПД при этом способе не зависит от активного сопротивления зарядного контура и не превышает 50%. Изменение активного сопротивления влияет лишь на скорость заряда. Известно [131], что мак-

симальный КПД заряда обеспечивается при передаче энергии от источника тока. Эффективное использование энергии в системах заряда накопительных конденсаторов возможно лишь с помощью специальных устройств, преобразующих определенным образом параметры потока электрической энергии от источника в конденсатор - преобразователей.

Простейшая схема такого устройства состоит из трансформатора, токоограничивающего резистора или дросселя и выпрямителя, к выходу которого и подключен накопительный конденсатор. Процессы в подобных схемах исследованы в ряде работ [132, 133, 134, 135]. Известны также полупроводниковые преобразователи с реактивными LC – четырехполюсниками, включенными между выходом трансформатора и входом выпрямителя, работающие в режиме преобразования источника напряжения в источник тока [134]. В некоторых случаях [320] применяют интегральные RLC элементы, отметим, что при интегральном исполнении достаточно просто реализуется режим автоматического отключения преобразователя при снижении напряжения батареи ниже некоторого уровня [118, 344].

### **1.8 Выводы. Постановка задач. Принципы совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники**

В результате анализа проблем основных систем электрооборудования автомобильной техники становятся очевидными следующие **выводы**:

- готовность аккумуляторной батареи к пуску двигателя и срок ее службы в значительной мере определяются точностью регулирования степени ее заряда, следовательно, очевидна необходимость применения адаптивной системы электроснабжения, которую следует использовать для улучшения эксплуатационных характеристик батарей;

- погрешность настройки порядка десятых долей вольта существующих регуляторов напряжения не обеспечивает максимального срока службы аккумуляторной батареи и готовности ее к пуску, хотя по трудоемкости технического обслуживания они занимают первое место среди приборов

электрооборудования;

- существующие регуляторы напряжения не обеспечивают необходимой компенсации температурной зависимости ЭДС аккумуляторной батареи, с точки зрения ее максимального срока службы и готовности к пуску ДВС;

- аккумуляторная батарея имеет ограничения по низкотемпературному пуску двигателя;

- использование емкостных (конденсаторных) накопителей энергии для улучшения пусковых характеристик двигателей АТ при последовательном соединении с аккумуляторной батареей увеличивает пусковое напряжение в пределах, превышающих допустимые, а при параллельном соединении возможности накопителей энергии используются только частично;

- значительный диапазон изменений напряжения бортовой сети учитывается в существующих системах зажигания избыточным коэффициентом запаса по вторичному напряжению, что снижает надежность работы и ресурс аппаратов зажигания;

- электропривод вспомогательного оборудования имеет низкий коэффициент полезного действия и эргономические характеристики.

На основании выводов, полученных в результате проведенного анализа можно сформулировать **задачи исследования**:

- 1 выполнить анализ состояния проблем электроснабжения бортовых потребителей электроэнергии автомобильной техники;

- 2 разработать теоретическую модель процесса электрического пуска автомобильного двигателя в широком диапазоне питающих напряжений электродвигателя стартера;

- 3 разработать численную модель функционирования системы зажигания бензинового двигателя для широкого диапазона подаваемых напряжений, теоретически обосновать систему автоматического регулирования системы зажигания, обеспечивающую стабильную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению;

4 провести теоретические исследования, выявить и сформулировать закономерности изменения эксплуатационных характеристик потребителей энергии в зависимости от величины подаваемых напряжений системы электропитания и на основе выявленных закономерностей исследовать возможности увеличения срока службы аккумуляторных батарей, установленных на автомобиле;

5 исследовать зависимости эксплуатационных характеристик электроприводов вспомогательного оборудования систем вентиляции и отопления салона, охлаждения ДВС, стеклоочистителей, стеклоподъемников от подаваемых напряжений и теоретически доказать возможность автоматического регулирования величины их напряжений;

6 на основе предложенных теоретических положений, математических моделей, полученных экспериментальных зависимостей, разработать принципы построения бортового электрооборудования автомобилей, предусматривающие дифференцированное напряжение потребителей и плавное изменение подаваемых напряжений первичных источников на основе высокочастотного импульсного автоматического регулирования с помощью адаптивных преобразователей параметров электрической энергии при напряжениях больших и меньших напряжений основных источников с целью получения экономичных и рациональных характеристик электрооборудования;

7 разработать принципиально новые эффективные электрические устройства и технические решения для основных систем электрооборудования автомобильной техники с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии, обеспечивающие улучшение пусковых свойств двигателя внутреннего сгорания, бесперебойное искрообразование системы зажигания, улучшение эксплуатационных характеристик системы электропитания с учетом режимов работы потребителей энергии, улучшение эргономических, скоростных, температурных и прочих эксплуатационных характеристик, обеспечиваемых электроприводом;

8 провести экспериментальные исследования усовершенствованных систем пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования с разработанными адаптивными преобразователями параметров электрической энергии в автомобильной технике.

Мы рассмотрели устройство, функционирование и недостатки основных систем электрооборудования автомобиля, а также существующие тенденции устранения этих недостатков. Можно выделить в этой картине общие признаки. Принципы построения электрооборудования автомобильной техники базируются на едином для всех потребителей напряжении бортовой сети, которое изменяется в зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания, других систем автомобиля, параметров окружающей среды и регулируется путем низкочастотного прерывания тока в обмотке возбуждения генератора.

Все это требует пересмотра общих принципов конструирования электропитания бортовой сети. Очевидно, что каждый потребитель имеет свои собственные характеристики и особенности работы и потому предъявляет к электроснабжению свои специфические требования.

Очевидно, необходимо регулировать напряжения, подаваемые на системы электрооборудования с целью оптимизации эксплуатационных характеристик с помощью адаптивных импульсных источников энергии. Можно сформулировать новые принципы построения электрооборудования АТ, которые состоят в теоретическом обосновании необходимых для получения рациональных характеристик электрооборудования закономерностей изменения подаваемых напряжений, разработке и исследовании адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии, реализующих полученные закономерности, и базируются на следующих *принципах*:

- напряжение бортовой сети рассматривается не как универсальное, равно пригодное для всех потребителей электрооборудования, а как исходное

значение для преобразования в большую или меньшую величину практически без потерь энергии;

- на основе анализа специфики работы каждого потребителя вырабатываются требования к величине и закономерностям изменения в зависимости от режима эксплуатации подаваемого напряжения и потребляемой энергии;

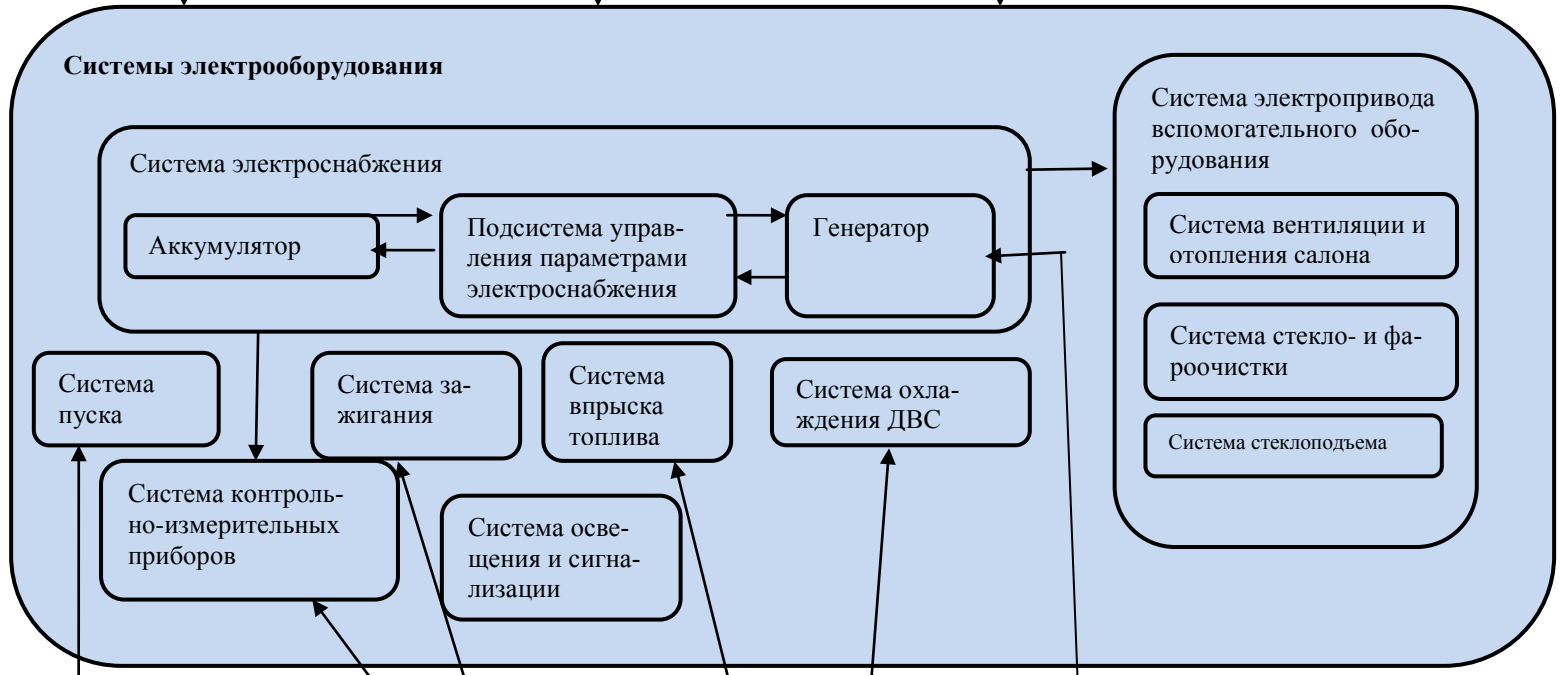
- на базе выявленных требований разрабатываются адаптивные системы электроснабжения на основе управляемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников энергии, преобразующих напряжение бортовой сети в необходимое для каждого потребителя или их комбинации.

Теоретические основы совершенствования системы электрооборудования автомобиля представлены на рисунке 1.18 и содержат шесть блоков, в которых схематично показано как взаимное влияние систем электрооборудования и окружающей среды, так и методы анализа и снижения указанного влияния.

# Теоретические основы совершенствования электрооборудования автомобилей

Структура и условия функционирования систем электрооборудования

Внешняя среда:  
- температура;  
- давление;  
- влажность;  
- дорога;  
- водитель;



## Двигатель внутреннего сгорания

**Главная цель** - обеспечение работоспособности автомобиля и его систем в пределах установленных параметров в различных, в том числе и экстремальных условиях эксплуатации

2 Цели и задачи функционирования электрооборудования автомобилей

- Обеспечение надежного пуска ДВС в экстремальных условиях эксплуатации
- Обеспечение надежной работы ДВС в различных условиях эксплуатации
- Обеспечение экономичности и эффективности работы автомобиля
- Обеспечение экологических характеристик автомобиля в процессе эксплуатации
- Обеспечение эргономических характеристик автомобиля

3 принципы обеспечивающие эффективность функционирования систем электрооборудования автомобилей

- Оценка влияния окружающей среды и других систем автомобиля на характеристики систем электрооборудования автомобилей
- Дифференцированное снабжение потребителей с целью обеспечения их рациональных эксплуатационных характеристик
- Организация электропитания потребителей с учетом обратных связей на основе регулируемых импульсных адаптивных источников энергии
- Экспериментальная проверка разработанных схем дифференцированного электропитания потребителей



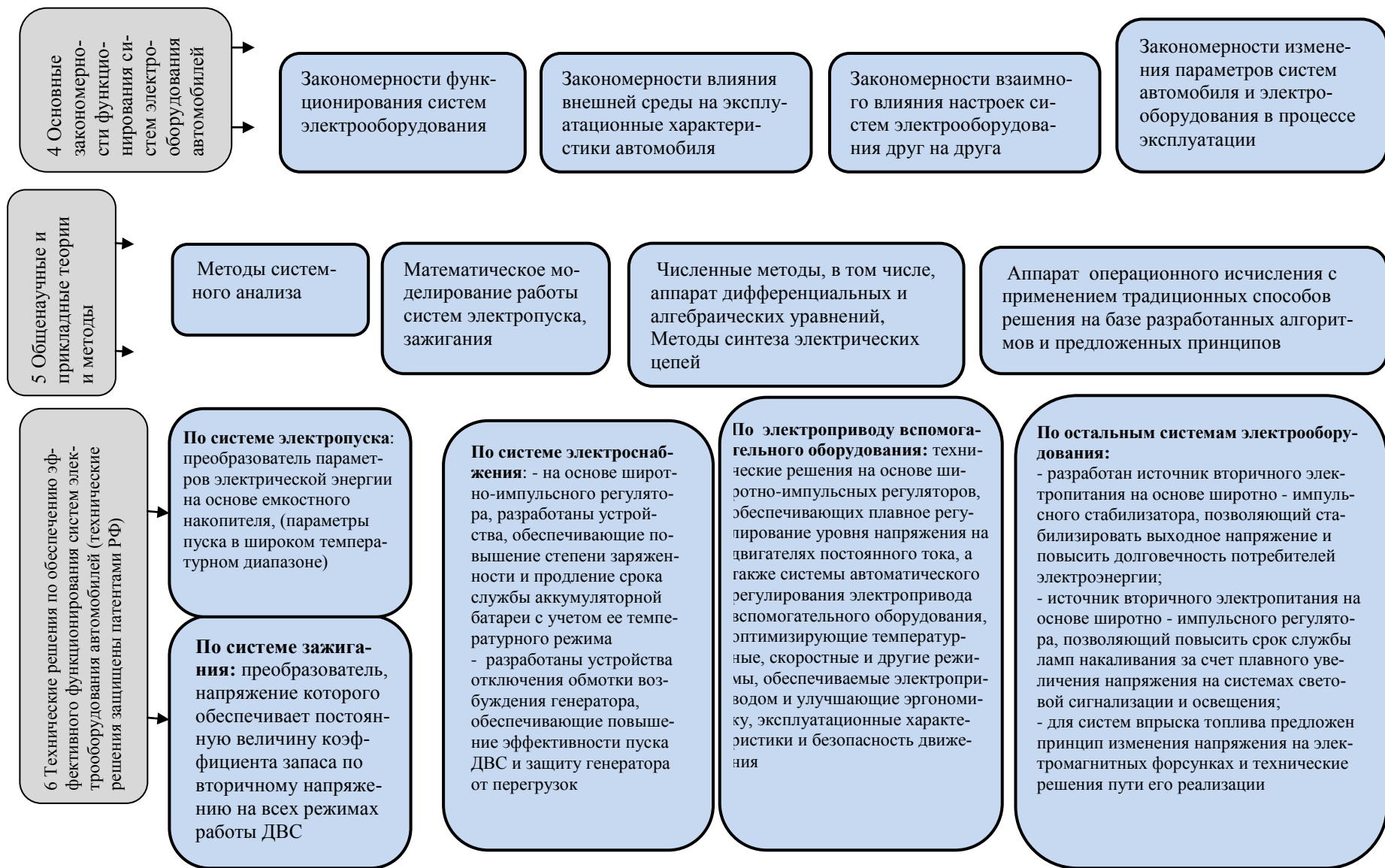


Рисунок 1.18 - Пути совершенствования электрооборудования автомобилей

## **Глава 2 Обоснование принципов построения электрооборудования, теоретическое исследование и моделирование рациональных закономерностей изменения параметров электроснабжения систем электрооборудования автомобилей**

Как отмечалось в первой главе, системы электрооборудования автомобилей не только оказывают взаимное влияние друг на друга, но и воздействуют на окружающую среду. В свою очередь, параметры окружающей среды (давление, температура, влажность) и режимы работы двигателя внутреннего сгорания влияют на работу систем электрооборудования.

Для реализации рациональных законов изменения параметров электроснабжения на основе анализа специфики работы каждого потребителя вырабатываются требования к величине подаваемого на него напряжения и потребляемой энергии. При этом напряжение бортовой сети, в соответствии с принципами построения электрооборудования, рассматривается как исходное значение для преобразования его уровня в большую или меньшую величину практически без потерь энергии.

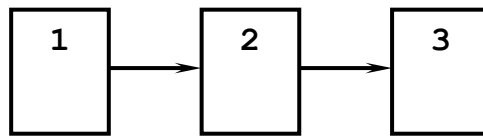
Определим рациональные законы изменения параметров питающих напряжений для систем электрооборудования автомобильной техники.

### **2.1 Математическая модель системы электропуска**

Проведенный анализ существующих проблем позволил одновременно наметить стратегию их решения. Рассмотрим задачу повышения эффективности пуска холодного ДВС путем применения накопителей электроэнергии.

Как следует из соображения, высказанного в обзоре (глава 1), напряжение на накопителе энергии, в отличие от аккумуляторной батареи, не является дискретным, поскольку с помощью управляемого преобразователя оно может быть доведено до практически любого значения. Основная проблема состоит в таком выборе емкости накопителя и величины исходного напряжения, который – в соответствии с принципами настоящей работы – сможет обеспечить надежный пуск ДВС.

Аналитическое рассмотрение оптимизации пусковых характеристик ДВС осложняется тем, что мы имеем дело с комплексной системой, содержащей как электрические, так и механические элементы (рисунок 2.1).



1 – система электропитания стартера;  
2 – электродвигатель стартера; 3 - вал стартера и коленчатый вал ДВС, связанные через редуктор.

Рисунок 2.1 – Система электрического пуска

Проблема «сшивания» решений, получаемых для каждого из этих элементов, требует дополнительного анализа.

Система электропитания 1 имеет на выходе напряжение, создающее ток  $i$  электродвигателя 2 стартера. В свою очередь, этот ток должен обеспечить на валу стартера, соединенного с коленчатым валом ДВС через венечный маховик 3, механический момент, равный моменту сопротивления прокручиванию коленчатого вала.

Известно [54], что момент на валу стартера, представляющего собой двигатель постоянного тока с последовательным соединением обмоток статора и якоря, определяется соотношением:

$$M = c i \Phi, \quad (2.1)$$

где  $c$  - конструктивная постоянная стартера;

$i$  – ток, потребляемый стартером, А;

$\Phi$  – магнитный поток, Вб.

С другой стороны, известно [4, 23], что у большинства стартеров магнитная система входит в насыщение при напряжении на нем свыше 7–8 В. Тогда, если рассматривать ситуацию, когда стартер запитан от емкостного накопителя с исходным напряжением, превышающим напряжение аккумуляторной батареи, то условие насыщения, очевидно, выполняется. В этом случае магнитный поток  $\Phi$  можно считать приблизительно постоянным и уравнение (2.1) может быть переписано в виде:

$$i(t) = k M(t), \quad (2.2)$$

где  $k = \frac{1}{c\Phi}$  - некоторый постоянный в условиях данной задачи коэффициент.

Полученное уравнение интересно тем, что позволяет «сшить» механический параметр  $M(t)$  и электрический  $i(t)$ , то есть компоненты 2 и 3 системы, показанной на рисунке 2.1.

Следующая задача – определить для пограничной области компонентов 2 и 3 функции  $M(t)$ , описывающие изменение момента сопротивления во время раскручивания коленчатого вала при пуске двигателя. Если бы затем удалось по таким функциям подобрать электрическую схему, в которой ток изменяется таким же образом, как в стартерной цепи, то это позволило бы «сшить» также и компоненты 1,2 системы на рисунке 2.1. Таким образом, решив эти две задачи, можно смоделировать реальную электромеханическую систему эквивалентной схемой замещения и рассчитать режим ее работы.

Зависимости момента сил жидкостного трения от времени при различных установившихся частотах прокручивания (различных напряжениях на стартере) экспериментально установлены [12] и представлены на рисунке 1.7. Как уже отмечалось, при низких температурах он составляет наибольшую часть момента сил сопротивления (моментом, обусловленным сжатием топливно-воздушной смеси в цилиндрах можно пренебречь).

С целью получения математической модели электропуска зависимости  $M(t)$ , показанные на рисунке 1.7 необходимо аппроксимировать. Экспериментальные точки максимального и установившегося моментов лежат практически на прямой линии. Из рисунка видно, что они имеют максимумы, обусловленные, как отмечается в [12], прогревом масла на стенках цилиндра при движении поршня. Только через  $\sim 2$  с после начала прокручивания момент достигает установившегося значения  $M_{уст}$ , соответствующего установившейся частоте прокручивания  $\omega_{уст}$ .

Поэтому аппроксимирующую функциональную зависимость можно представить линейной регрессией  $y=ax+v$ . Коэффициенты,  $a$  и  $v$  находим методом наименьших квадратов (рисунок 2.2). В случае аппроксимирующих зависимостей относительное среднеквадратичное отклонение не превышает 2%.

С учетом этого, каждая экспериментальная зависимость  $M(t)$ , показанная на рисунке 1.7, может быть аппроксимирована следующим образом:

$$M(t) = (M_{\max} - M_{уст})e^{-at} + M_{уст}, \quad (2.3)$$

где  $M_{\max}$  и  $M_{уст}$  - максимальное и установившееся значения аппроксимирующей экспоненты,

исходя из критерия постоянной площади под кривой  $M(t)$ . Поскольку ток, потребляемый стартерной цепью прямо пропорционален моменту при насыщенной магнитной цепи, то площадь под кривой пропорциональна заряду, потребленному стартером. Так, например, для верхней кривой справедливо уравнение  $M(t) = 21e^{-1.5t} + 6, Нм$  исходя из критерия постоянной площади под кривой с коэффициентом корреляции 0,97, что, в соответствии с критерием Чаддока соответствует практически полной корреляции.

Из анализа рисунка 2.2 (перестроенный рисунок 1.7) зависимости максимального и установившегося моментов хорошо описываются следующими функциями:  $M_{уст} = 0,94 \sqrt{\omega_{уст}} + 2,5$ , (2.4)

$$M_{\max} = 8 \sqrt{\omega_{уст}}, \quad (2.5)$$

где  $M_{уст}$  и  $M_{макс}$  в Нм,  $\omega_{уст}$  в  $c^{-1}$ .

Как следует из рисунка 1.7 постоянная  $\alpha$  формулы (2.3) не зависит от значений  $M_{макс}$  и  $M_{уст}$  и составляет около  $1,5 c^{-1}$ . Аппроксимирующие зависимости  $M(t)$  показаны на рисунке 2.2 пунктирными линиями для нескольких установившихся частот прокручивания (15, 10, 5 и  $2 c^{-1}$ ). Здесь же для сравнения приведены зависимости  $M(t)$  рисунка 1.7.

На основании (2.2) выражение (2.3) принимает вид:

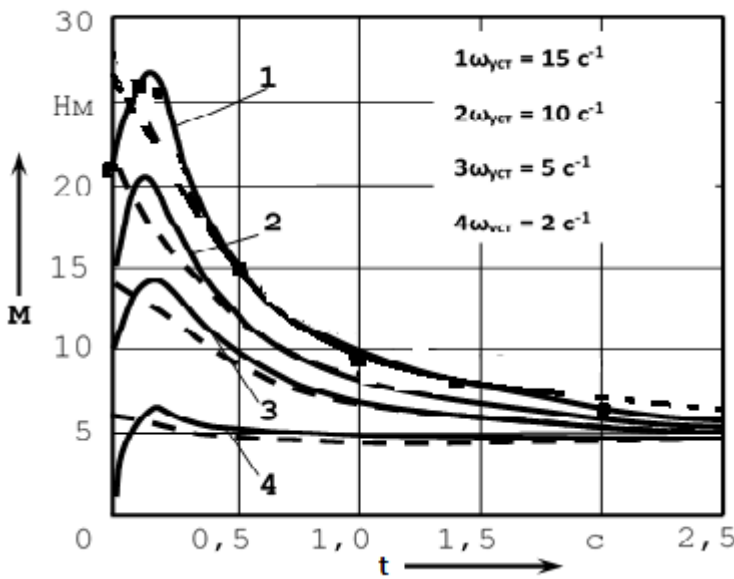


Рисунок 2 - Зависимости момента сопротивления вращению коленчатого вала ДВС от времени при различных установившихся частотах. Пунктиром показаны аппроксимированные зависимости.

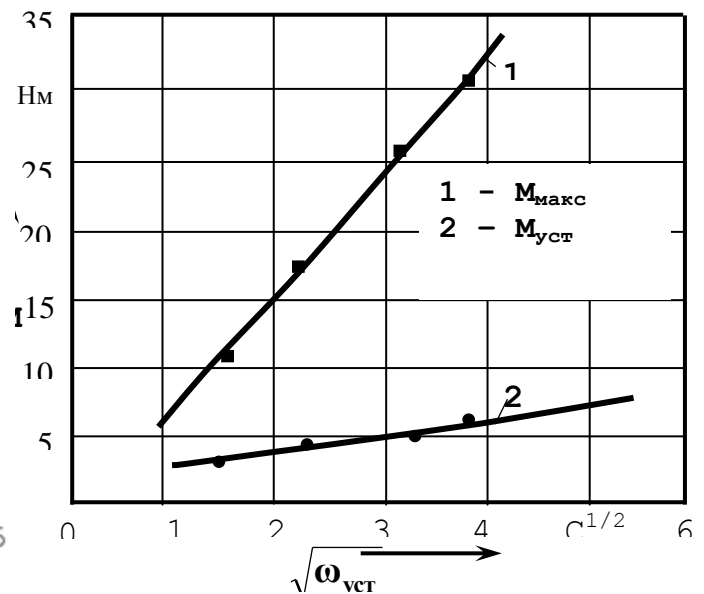


Рисунок 3 - Аппроксимация максимального и установившегося моментов

$$i(t) = (i_{макс} - i_{уст}) e^{-\alpha t} + i_{уст} \quad (2.6)$$

Это уравнение и служит основой для поиска эквивалентной схемы замещения.

С целью синтеза эквивалентной электрической схемы замещения системы стартер - коленчатый вал ДВС определим входное сопротивление цепи  $Z(j\omega)$ . Для этого найдем спектральную плотность ступеньки входного напряжения  $U(j\omega)$  и спектральную плотность тока в цепи  $I(j\omega)$ , а затем разделим первую на вторую. Спектр напряжения  $U(j\omega)$  в соответствии с интегралом Фурье [137, 138]:

$$U(j\omega) = \int_0^{\infty} U e^{-j\omega t} dt = \frac{U}{j\omega}. \quad (2.7)$$

Спектр тока в цепи на основании (2.6):

$$\begin{aligned} I(j\omega) &= \int_0^{\infty} i(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} (i_{\text{макс}} - i_{\text{уст}}) e^{-\alpha t} e^{-j\omega t} dt + \int_0^{\infty} i_{\text{уст}} e^{-j\omega t} dt = \\ &= \frac{i_{\text{макс}} - i_{\text{уст}}}{\alpha + j\omega} + \frac{i_{\text{уст}}}{j\omega} = \frac{j\omega i_{\text{макс}} + \alpha i_{\text{уст}}}{j\omega(\alpha + j\omega)}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

отсюда

$$Z(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{(\alpha + j\omega)U}{j\omega i_{\text{макс}} + \alpha i_{\text{уст}}} = \frac{\alpha + j\omega}{j\omega \frac{i_{\text{макс}}}{U} + \alpha \frac{i_{\text{уст}}}{U}} = \frac{\alpha + j\omega}{j\omega g_{\text{макс}} + \alpha g_{\text{уст}}}, \quad (2.9)$$

где  $g_{\text{макс}} = \frac{i_{\text{макс}}}{U}$  - начальная проводимость цепи;

$g_{\text{уст}} = \frac{i_{\text{уст}}}{U}$  - установившаяся проводимость цепи.

Учтем, что интеграл прямого и обратного преобразования Фурье соответствует прямому и обратному преобразованию Лапласа. Заменяя  $j\omega$  на  $p$ , получим [137, 138]:

$$Z(p) = \frac{p + \alpha}{pg_{\text{макс}} + \alpha g_{\text{уст}}} = \frac{N(p)}{M(p)}, \quad (2.10)$$

где  $N(p) = p + \alpha$ ,  $M(p) = pg_{\text{макс}} + \alpha g_{\text{уст}}$  (2.11)

– полиномы числителя и знаменателя.

Как известно из теории синтеза электрических цепей, выражение  $Z(p)$  может быть представлено в виде цепной дроби [138]:

$$Z(p) = Z_1(p) + \frac{1}{G_2(p) + \frac{1}{Z_3(p) + \frac{1}{G_4(p) + \dots}}}, \quad (2.12)$$

где  $Z_k(p)$  и  $G_k(p)$  являются изображением элементов схемы (рисунок 2.5) и определяются по промежуточным результатам деления числителя (2.10) на знаменатель:

$$\frac{N(p)M(p)}{Z_1(p)} \Big| \frac{M(p)Z_1(p)}{Z_1(p)} \Big| \frac{M(p)}{Q_1(p)G_2(p)} \Big| \frac{Q_1(p)}{G_2(p)} \Big| \frac{Q_2(p)}{Q_2(p)Z_3(p)} \Big| \frac{Q_2(p)}{Z_3(p)} \Big| \dots \Big| \frac{Q_n(p)}{Q_n(p)}$$

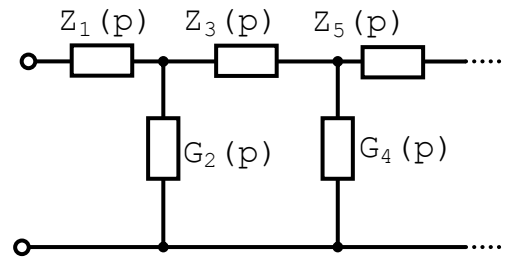


Рисунок 2.4 – Синтезированная цепь

где  $Q_n(p)$  – остаток от деления

Для нашего случая:

$$\frac{p+a}{Z_1(p)g_{\max}p + Z_1(p)g_{уст}a} \Big| \frac{g_{\max}p + g_{уст}a}{Z_1(p)}$$

Здесь вид  $Z_1(p)$  и последующих промежуточных выражений определяется, исходя из минимизации числа операций деления и получения их результата без остатка.

Принимая  $Z_1(p) = r$ , получим:

$$\frac{p+a}{g_{\max}rp + g_{уст}ra} \Big| \frac{g_{\max}p + g_{уст}a}{Z_1(p) = r}$$

$$\frac{g_{\max}p + g_{уст}a}{Ca \left[ 1 - \frac{g_{уст}}{g_{\max}} \right]} \Big| \frac{0 + a \left[ 1 - \frac{g_{уст}}{g_{\max}} \right]}{G_2(p) = rC}$$

$$\frac{a \left[ 1 - \frac{g_{уст}}{g_{\max}} \right]}{g_{\max}} \Big| \frac{ag_{уст}}{Z_3(p) = R}$$

$$\frac{ag_{уст}}{a \left\{ 1 - \frac{g_{уст}}{g_{\max}} - g_{уст} \right\}}$$

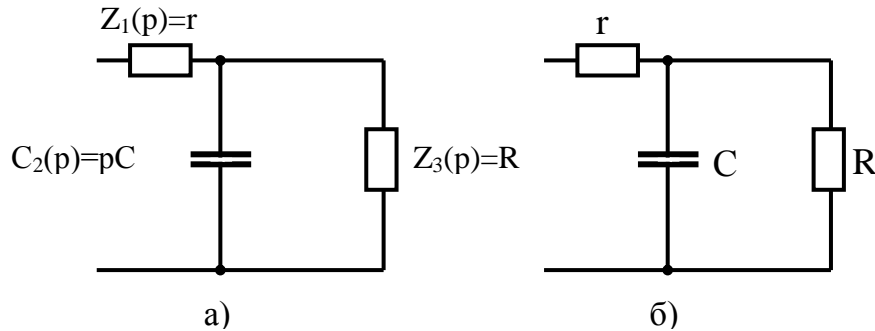
Как видно из этой записи, в промежуточных выражениях принято

$$g_{\max} = Ca \left( 1 - \frac{g_{уст}}{g_{\max}} \right) \text{ и } \left\{ 1 - \frac{g_{уст}}{g_{\max}} - g_{уст} R \right\} = 0.$$

Электрическая эквивалентная схема замещения системы стартер – коленчатый вал ДВС при этом принимает вид, показанный на рисунке 2.5.



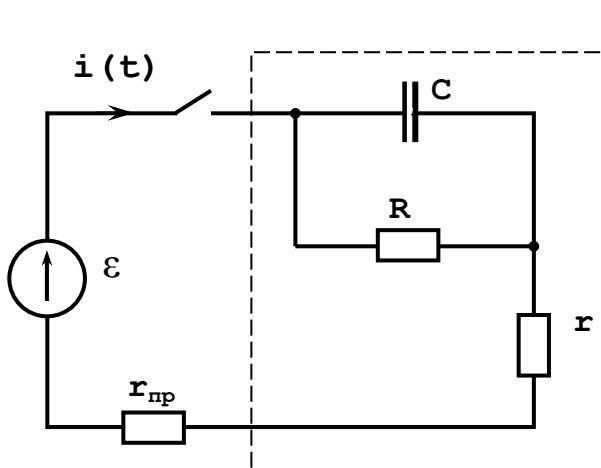
Схема подключения эквивалентной схемы замещения (рисунок 2.5б) к аккумуляторной батарее показана на рисунке 2.7. Здесь приняты следующие обозначения:  $\mathcal{E}$  - ЭДС аккумуляторной батареи,  $r_{np}$  - сопротивление проводов вынесено в виде отдельного элемента цепи,  $r$  и  $R$  - сопротивления эквивалентной схемы замещения,  $C$  - емкость эквивалентной схемы.



а) – синтезированная цепь; б) – эквивалентная схема замещения.

Рисунок 2.5 – Результат синтеза

Как следует из синтеза эквивалентной схемы замещения, ее параметры  $r$ ,  $R$ ,  $C$  зависят от установившейся частоты прокручивания  $\omega_{уст}$ . В то же время, как следует из рисунка 1.7, сама  $\omega_{уст}$  зависит от напряжения, подаваемого на стартер. Поэтому эквивалентная схема замещения позволяет



определить ток, потребляемый стартером при любой величине ступеньки напряжения, поданной на ее вход (величине ЭДС).

Рисунок 2.6 – Эквивалентная схема замещения системы стартер - коленчатый вал ДВС.

Таким образом, используя схему рисунка 2.6, можно проводить расчет электромеханической системы, показанной на рисунке 2.1 как варианта электрической линейной цепи. Методы расчета подобных цепей достаточно хорошо известны. При анализе будем считать, что в случае пуска стартера от аккумуляторной батареи напряжение на стартерной цепи в процессе пус-

ка изменяется слабо. Это позволяет получить зависимость переходной проводимости цепи от времени  $g(t)$  [137, 138], т. е. зависимость тока в цепи от времени при единичной ступеньке напряжения, поданной на её вход (функция Хевисайда).

Операторная схема для расчета переходной проводимости показана на рисунке 2.7.

Как известно из литературы [137, 138, 139, 140], для схемы рисунка 2.7 реакция цепи на единичную функцию Хевисайда (переходная проводимость) в операторной форме записи  $G(p)$  с использованием преобразования Лапласа записывается следующим образом:

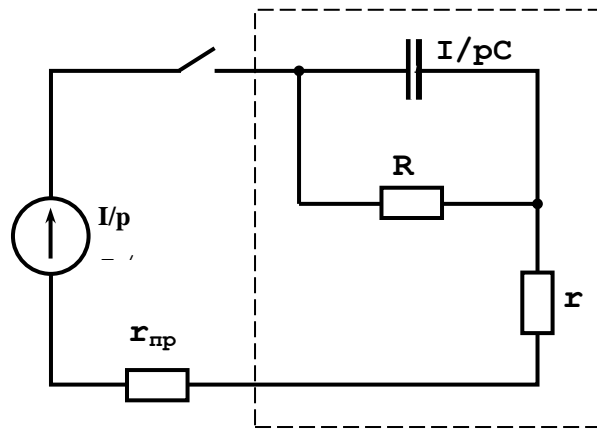


Рисунок 2.7 – Операторная схема расчета переходной проводимости

$$G(p) = \frac{1}{p \left( r_{гп} + r + \frac{R \frac{1}{pC}}{R + \frac{1}{pC}} \right)} = \frac{1 + pRC}{p[r_{гп} + r + R + pCR(r + r_{гп})]} = \frac{N(p)}{M(p)}, \quad (2.13)$$

где  $N(p)$  и  $M(p)$  - полиномы числителя и знаменателя.

Как следует из (2.13), характеристическое уравнение  $M(p)=0$  имеет вид:

$$p[r_{гп} + r + R + pCR(r + r_{гп})] = 0, \quad (2.14)$$

а его корни  $p_0 = 0$ ;  $p_1 = -\frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC}$ .

Тогда в соответствии с формулой разложения [137, 138]:

$$\begin{aligned} M'(p) &= r_{np} + r + R + 2pRC(r + r_{np}), \quad M'(0) = r_{np} + r + R, \\ M'(P_1) &= r_{np} + r + R + 2\left[-\frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC}\right] \cdot RC(r + r_{np}) = -(r_{np} + r + R), \\ N(0) &= 1, \\ N(P_1) &= 1 - \frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC} \cdot RC = -\frac{R}{r_{np} + r}. \end{aligned}$$

Пользуясь этими выражениями, находим переходную проводимость как функцию времени:

$$g(t) = \frac{N(0)}{M'(0)} + \frac{N(P_1)}{M'(P_1)} \cdot e^{P_1 t} = \frac{1}{r_{np} + r + R} \left[ 1 + \frac{R}{r_{np} + r} e^{-\alpha t} \right], \quad (2.15)$$

где 
$$\alpha = \frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC}. \quad (2.16)$$

С учетом зависимости  $r$ ,  $R$  и  $C$  от подаваемого напряжения (установившейся частоты  $\omega_{ycm}$ ) формулы (2.15) – (2.16) позволяют найти ток в эквивалентной схеме замещения при постоянном напряжении, подаваемом на стартер (не обязательно равном напряжению аккумуляторной батареи).

Как следует из анализа применения накопителей энергии (глава 1), перед холодным пуском их целесообразно заряжать до напряжений, более высоких, чем напряжение аккумуляторной батареи. Тогда в процессе разряда накопителя через стартер напряжение на нем уменьшается, пока не сравняется с напряжением аккумуляторной батареи. После этого аккумуляторная батарея берет часть токовой нагрузки на себя.

Таким образом, электроснабжение эквивалентной схемы замещения от накопителя энергии существенно отличается от рассмотренного ранее,

поскольку напряжение накопителя не остается постоянным. Тем не менее, как будет видно из дальнейшего, выражения (2.15) – (2.16) позволяют анализировать ситуацию и в этом случае.

Для определения временной зависимости тока, потребляемого стартером от емкостного накопителя при пуске, рассмотрим подключение стартера к емкостному накопителю энергии, заряженному до исходного напряжения  $U_n(0)$ . Электрическая схема подключения показана на рисунке 2.8, а на рисунке 2.9 - операторная электрическая схема замещения цепи. Здесь и далее введены обозначения  $I(p)$  - изображение тока  $i(t)$ ,  $G(p)$  - изображение переходной проводимости  $g(t)$ .

Поскольку напряжение на стартерной цепи в данном случае из-за разряда накопительной емкости  $C_n$  снижается, выражение для тока  $i(t)$  может быть записано в виде интеграла Дюамеля [137, 138]:

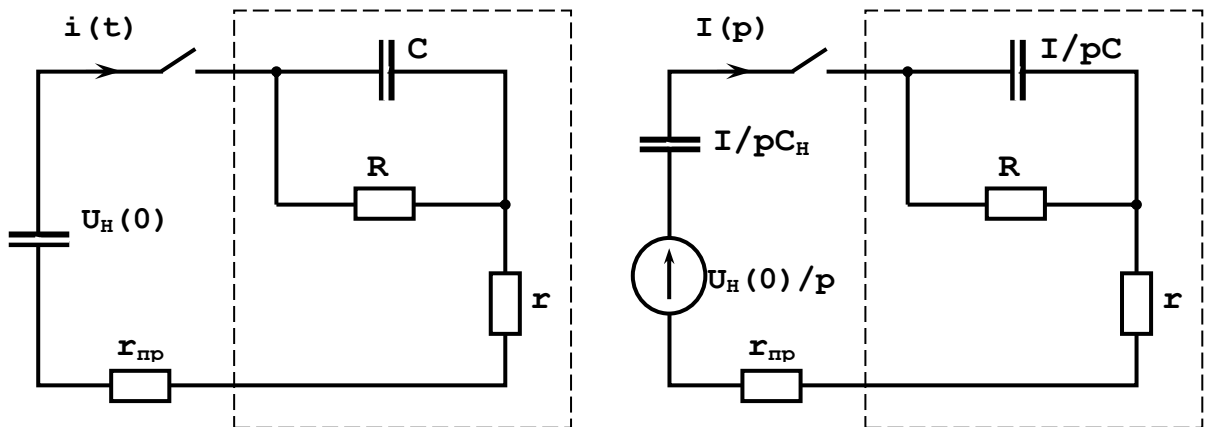


Рисунок 2.8 – Подключение накопителя энергии к эквивалентной схеме

Рисунок 2.9 – Операторная схема замещения

$$i(t) = U_n(0) \cdot g(t) + \int_0^t u'(\tau) g(t - \tau) d\tau, \quad (2.17)$$

где  $U_n(0)$  - начальный скачок напряжения на входе цепи (в момент замыкания контактов тягового реле),

$g(t)$  - переходная проводимость,

$u'(\tau)$  - производная от входного напряжения,

$\int_0^t u'_n(\tau)g(t-\tau)d\tau$  - интеграл свертки.

Производная  $u'_n(t)$ , по очевидным причинам, может быть определена следующим образом:

$$u'_n(t) = \frac{du_n(t)}{dt} = -\frac{i}{C_n} \quad (2.18)$$

Это позволяет записать интеграл свертки в виде [139]:

$$\int_0^t u'_n(t)g(t-\tau)d\tau = -\frac{1}{C_n} \int_0^t i(t) \cdot g(t-\tau)d\tau = -\frac{1}{C_n} I(p)G(p) \quad (2.19)$$

Тогда интеграл Дюамеля в операторной форме:

$$I(p) = U_n(0) \cdot G(p) - \frac{1}{C_n} I(p) \cdot G(p), \quad (2.20)$$

отсюда

$$I(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n \cdot G(p)}{C_n + G(p)}. \quad (2.21)$$

Напряжение на накопителе энергии уменьшается по очевидному закону:

$$u_n(t) = U_n(0) - \frac{1}{C_n} \int_0^t i(t)dt. \quad (2.22)$$

Тогда изображение напряжения на накопителе:

$$U_n(p) = \frac{U_n(0)}{p} - \frac{1}{pC_n} I(p), \quad (2.23)$$

где  $\frac{U_n(0)}{p}$  - изображение постоянной, а  $\frac{I(p)}{p}$  - изображение интеграла в правой части.

Учитывая (2.21), получим:

$$U_n(p) = \frac{U_n(0)}{p} - \frac{1}{p} \cdot \frac{U_n(0) \cdot G(p)}{C_n + G(p)} = \frac{U_n(0)}{p} \left[ 1 - \frac{G(p)}{C_n + G(p)} \right] = \frac{U_n(0)}{p} \cdot \frac{C_n}{C_n + G(p)} \quad (2.24)$$

Используя уравнения (2.21), (2.24), можно определить ток стартера и напряжение на накопителе энергии для *любой зависимости*  $M(t)$  и, соответственно, *любой зависимости*  $g(t)$ .

Для рассматриваемого режима (с насыщающейся магнитной системой стартера) подставим (2.13) в (2.21) и (2.24). В результате получим:

$$I(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n (1 + pRC)}{p^2 (r + r_{np}) \cdot RCC_n + p [RC + (r + r_{np}) \cdot C_n + RC_n] + 1} = \frac{N_1(p)}{M_1(p)}, \quad (2.25)$$

$$U(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n [r + r_{np} + R + p(r_{np} + r) \cdot RC]}{p^2 (r + r_{np}) \cdot RCC_n + p [RC + (r + r_{np}) \cdot C_n + RC_n] + 1} = \frac{N_2(p)}{M_1(p)} \quad (2.26)$$

Корни характеристического уравнения  $M_1(p) = 0$ :

$$p_{1,2} = -\delta \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{2}{[RC + (r_{np} + r) \cdot C_n + RC_n] \cdot \delta}} \right], \quad (2.27)$$

$$\text{где } \delta = \frac{RC + (r_{np} + r) \cdot C_n + RC_n}{2rRCC_n}. \quad (2.28)$$

Для дальнейшего анализа соотнесем постоянную времени эквивалентной схемы замещения с постоянной времени разряда накопителя энергии.

Как следует из рисунка 1.7 постоянная времени эквивалентной схемы независимо от установившейся частоты прокручивания коленчатого вала должна составлять  $\sim 0,5$  с. В то же время, как упоминалось выше, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к пуску ДВС, время прокручивания коленчатого вала карбюраторного ДВС около 10 с, а дизельного – 15 с. В течение этого времени накопитель должен поддерживать частоту прокручивания коленчатого вала не ниже пусковой, то есть напряжение на нем должно убывать достаточно медленно. Это означает, что постоянная времени разряда накопителя должна быть много больше постоянной времени эквивалентной схемы замещения, и потому режим разряда накопительной емкости  $C_n$  можно считать квазиустановившимся.

Сказанное дает основания полагать, что в каждый момент времени на схему подано постоянное напряжение, которому соответствует некоторая установившаяся частота прокручивания коленчатого вала  $\omega_{уст}$ , то есть емкость накопителя  $C_n$  много больше емкости  $C$  эквивалентной схемы замещения. С учетом этого (2.28) принимает вид:

$$\delta \cong \frac{r + r_{np} + R}{2(r + r_{np}) \cdot RC}, \quad (2.29)$$

а (2.27) при разложении в ряд:

$$p_{1,2} = -\delta \left[ 1 \pm \left( 1 - \frac{1}{(r_{np} + r + R)\delta C_u} \right) \right], \quad (2.30)$$

$$p_1 = -2\delta = -\frac{r + r_{np} + R}{(r_{np} + r)RC} = -\alpha, \quad (2.31)$$

$$p_2 \approx -\delta \left[ 1 - 1 + \frac{1}{(r_{np} + r + R)\delta C_u} \right] = -\frac{1}{(r_{np} + r + R)C_u} = -\frac{1}{\tau}, \quad (2.32)$$

где  $\tau = (r_{np} + r + R)C_u$ . (2.33)

Применяя теорию вычетов [137, 138, 139, 140, 141] и опуская промежуточные вычисления, получим:

$$i(t) = \frac{U_n(0)}{r_{np} + r + R} \left[ e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{R}{r_{np} + r} e^{-\alpha t} \right], \quad (2.34)$$

$$u_n(t) = U_n(0) e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.35)$$

Как следует из (2.34), максимальное значение тока в цепи:

$$i(0) = \frac{U_n(0)}{r_{np} + r}. \quad (2.36)$$

Очевидно, что вращающий момент обусловлен не всем напряжением  $u_n(t)$ , а только той его частью, которая приложена к сопротивлениям  $r$  и  $R$  (в него не входит падение напряжения на сопротивлении  $r_{np}$ , включающем сопротивление проводов  $R_{np}$ , контактов между щеткой и коллектором стартера  $R_{щ}$ , а также внутреннее сопротивление источника электрической энергии  $R_u$ ).

Отсюда следует, что накопитель энергии нужно располагать как можно ближе к стартеру. В подобной ситуации определяющую роль может играть сопротивление  $R_{щ}$ : при плохом контакте щетка-коллектор стартера здесь может выделяться существенно большая мощность, чем при пуске от

аккумуляторной батареи. Это связано с повышенным напряжением накопителя и его много меньшим внутренним сопротивлением, чем у батареи аккумуляторов.

Обозначим как  $u(t)$  напряжение, создающее вращающий момент:

$$u(t) = u_n(t) - i(t)r_{np}. \quad (2.37)$$

После подстановки (2.34) и ряда преобразований получим:

$$u(t) = \frac{U_n(0)}{\frac{r_{np}}{r+R} + 1} \left\{ e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{1}{\left(\frac{r}{r_{np}} + 1\right)\left(\frac{r}{R} + 1\right)} e^{-\alpha t} \right\}. \quad (2.38)$$

Уравнение (2.38) может быть использовано для оценочного расчета накопителя энергии: его емкости и начального напряжения.

Для этого следует иметь в виду, что входящие в него параметры эквивалентной схемы замещения зависят от механических характеристик конкретного ДВС, в частности, числа цилиндров, количества узлов трения, а также вклада каждого из них в общий момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала.

Масштабируя зависимость для одного цилиндра, показанную на рисунке 1.7, на ДВС в целом, получим суммарный момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала. О корректности такой операции свидетельствует тот факт, что зависимость момента сопротивления в подшипниках коленчатого вала от времени при прокручивании коленчатого вала ДВС, приведенная в [12], качественно имеет тот же вид, что и аналогичные зависимости для одного цилиндра ДВС. Следовательно, суммарный момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала:

$$M_{ДВС} = \xi M, \quad (2.39)$$

где  $\xi$  - коэффициент, учитывающий число цилиндров и конструктивные



особенности ДВС;

$M$  – момент, создаваемый одним цилиндром, Нм.

Учтем также коэффициент редукции  $m$  системы стартер – маховик ДВС. Тогда момент на валу и частота вращения стартера:

$$M_{CT} = \frac{\xi}{m} M, \quad \omega_{CT} = m\omega, \quad (2.40)$$

где  $\omega$  – частота прокручивания коленчатого вала ДВС.

Из механики следует [12]:

$$P_{\text{мех}} = \omega \cdot M_{\text{ДВС}} = \omega_{\text{УСТ.СТ}} (1 - \exp(-\alpha_{\omega} t)) \cdot M_{CT}, \quad (2.41)$$

где  $P_{\text{мех}}$  – механическая мощность на валу стартера, Вт;

$\alpha_{\omega}$  - электромеханическая постоянная стартера,  $\text{с}^{-1}$ ,

причем  $\alpha_{\omega} \approx 10 \text{ с}^{-1} \gg \alpha \gg 1/\tau$ .

Исходя из этого, выражение (2.41) принимает вид:

$$P_{\text{мех}} = \omega_{\text{УСТ.СТ}} \cdot M_{CT}. \quad (2.42)$$

Из приблизительного равенства потребляемой электрической и развиваемой механической мощностей стартера с учетом потерь энергии:

$$\eta \cdot u(i) \cdot i(t) = \omega_{\text{УСТ.СТ}}(t) \cdot M_{CT}(t), \quad (2.43)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия.

Здесь учтено, что с изменением напряжения, подаваемого на стартер, изменяются как развиваемый им момент, так и  $\omega_{\text{УСТ.СТ}}$  (см. рисунок 1.7).

Коэффициент  $k$  в соотношении (2.2) может быть определен для каждого стартера по паспортным данным в режиме полного торможения  $i_{\text{ПТ}} = k \cdot M_{\text{ПТ}}$ , где  $i_{\text{ПТ}}$  и  $M_{\text{ПТ}}$  - ток и момент стартера в режиме полного торможения. Тогда из (2.2) следует:

$$i = i_{\text{ПТ}} \cdot \frac{M_{CT}}{M_{\text{ПТ}}}. \quad (2.44)$$

С учетом (2.44), (2.43) приобретает вид:

$$\eta \cdot u(i) \cdot i(t) = \omega_{\text{УСТ.СТ}}(t) \cdot \frac{i(t) \cdot M_{\text{ПТ}}}{i_{\text{ПТ}}}. \quad (2.45)$$

Отсюда, сокращая ток  $i(t)$  в левой и правой частях, получаем:

$$u(t) = \omega_{уст.ст} \frac{M_{III}}{i_{III} \cdot \eta} = \frac{\omega_{уст}(t) \cdot m \cdot M_{III}}{i_{III} \cdot \eta}. \quad (2.46)$$

Проведем теперь анализ «сшивания» электрических и механических характеристик прокручивания коленчатого вала ДВС при электроснабжении стартера от накопителя энергии. Для этого определим связь параметров эквивалентной схемы замещения с установившейся частотой прокручивания коленчатого вала ДВС  $\omega_{уст}$ .

Для определения параметров эквивалентной схемы замещения запишем установившуюся и начальную переходную проводимости в виде:

$$g_{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} g(t) = \frac{1}{r + R}, \quad g_{макс} = \frac{1}{r + R} \lim_{t \rightarrow 0} [1 + \frac{R}{r} e^{-at}] = \frac{1}{r}. \quad (2.47)$$

На основании (2.40), (2.44) и с учетом аппроксимации (2.4)  $M_{уст}$  для одного цилиндра ДВС:

$$g_{уст} = \frac{i_{уст}}{U} = \frac{i_{III} \cdot \xi}{m \cdot M_{III} \cdot U} (0,94\sqrt{\omega_{уст}} + 2,5),$$

отсюда с учетом (2.47)

$$r + R = \frac{m \cdot U \cdot M_{III}}{\xi \cdot i_{III} (0,94\sqrt{\omega_{уст}} + 2,5)}. \quad (2.48)$$

Аналогично для начальной проводимости:

$$g_{макс} = \frac{i_{макс}}{U} = \frac{\xi \cdot i_{III} 8\sqrt{\omega_{уст}}}{m \cdot M_{III} \cdot U},$$

отсюда с учетом (2.47)

$$r = \frac{m \cdot M_{III} U}{\xi \cdot i_{III} 8\sqrt{\omega_{уст}}}. \quad (2.49)$$

Второй параметр эквивалентной схемы замещения  $R$  можно найти, вычитая (2.49) из (2.48).

Наконец, емкость  $C$  определим по установленным  $r$  и  $R$  из выражения (2.16) с учетом  $r_{пр}=0$ :

$$C = \frac{r + R}{\alpha r R}.$$

Однако следует иметь в виду, что уравнения (2.48) и (2.49) были по-

лучены при ступеньке напряжения на входе цепи, равной  $U_{\text{бат}}$ . В случае работы эквивалентной схемы от накопителя энергии вместо этого напряжения должно фигурировать  $u(t)$  в соответствии с (2.46). Тогда (2.48) и (2.49) преобразуются к виду:

$$r + R = \frac{m \cdot u(t) \cdot M_{\text{ПТ}}}{\xi \cdot i_{\text{ПТ}} (0,94\sqrt{\omega_{\text{уст}}} + 2,5)} = \frac{m^2 \cdot M_{\text{ПТ}}^2 \cdot \omega_{\text{уст}}}{\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2 (0,94\sqrt{\omega_{\text{уст}}} + 2,5)}, \quad (2.50)$$

$$r = \frac{m^2 \cdot M_{\text{ПТ}}^2 \cdot \sqrt{\omega_{\text{уст}}}}{8\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2}. \quad (2.51)$$

Теперь мы можем «сшить» электрические и механические характеристики прокручивания коленчатого вала ДВС при подключении стартера к накопителю энергии. Для этого из уравнения (2.38), пренебрегая вторым членом ввиду его более быстрого убывания ( $\alpha \approx 2 \text{ c}^{-1} \gg 1/\tau$ ), получим:

$$u(t) = \frac{U_n(0)}{\frac{r_{\text{np}}}{r + R} + 1} \cdot \exp\left(-t/\tau\right). \quad (2.52)$$

Подставляя в (2.52) выражения для параметров схемы замещения, можно получить связь между напряжением  $u(t)$  и установившейся частотой прокручивания, причем следует учитывать, что  $\tau$  также является функцией установившейся частоты  $\omega_{\text{уст}}$ , как это следует из (2.33), с учетом (2.50):

$$\tau = \left( r_{\text{np}} + \frac{m^2 M_{\text{ПТ}}^2 \omega_{\text{уст}}}{\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2 (0,94\sqrt{\omega_{\text{уст}}} + 2,5)} \right) \cdot C_n. \quad (2.53)$$

Приравнявая  $u(t)$  по уравнениям (2.46) и (2.52), получим в неявном виде  $\omega_{\text{уст}}(t)$ :

$$\left( r_{\text{np}} + \frac{m^2 M_{\text{ПТ}}^2 \omega_{\text{уст}}}{\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2 (0,94\sqrt{\omega_{\text{уст}}} + 2,5)} \right) \cdot C_n \cdot \ln \frac{\eta i_{\text{ПТ}} U_n(0) M_{\text{ПТ}} m}{\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2 (0,94\sqrt{\omega_{\text{уст}}} + 2,5) + m^2 M_{\text{ПТ}}^2 \omega_{\text{уст}}} = t. \quad (2.54)$$

Отметим, что в знаменателе находится выражение  $(0,94\sqrt{\omega_{уст}} + 2,5)$ , что соответствует установившемуся моменту по (2.4). Действительно, поскольку мы считаем процесс квазистационарным, то максимальное значение момента (рисунок 1.7) не играет заметной роли. Это обусловлено тем, что процесс убывания момента от максимального до установившегося занимает очень небольшую часть времени, отводимого на пуск ДВС. В силу этого, после прохождения максимального момента за время примерно 1с стартер работает практически в режиме установившегося момента на его валу и уравнение (2.54) позволяет рассчитать процесс прокручивания именно для этого квазиустановившегося режима.

Оценим возможности применения емкостного накопителя энергии для преодоления максимального момента (рисунок 1.7), что особенно важно при низких температурах.

В соответствии с аппроксимацией (2.5) и исходя из (2.40), можно записать соотношение

$$M_{СТ.МАКС} = \frac{\xi}{m} \cdot 8\sqrt{\omega_{уст}} \quad (2.55)$$

Определим ток стартера, используя уравнения (2.2) и (2.44)

$$i_{СТ.МАКС} = i_{ИТ} \cdot \frac{M_{СТ.МАКС}}{M_{ИТ}} = \frac{i_{ИТ} \xi 8\sqrt{\omega_{уст}}}{M_{ИТ} \cdot m} \quad (2.56)$$

С другой стороны, ток стартера и напряжение на накопителе энергии в начале пуска связаны между собой уравнением (2.36), из которого следует

$$U_n(0) = i(0) \cdot (r + r_{np}), \quad (2.57)$$

где  $r$  – сопротивление эквивалентной схемы замещения, определяемое из соотношения (2.51), а  $i(0)$  - начальный ток в цепи, соответствующий максимальному току  $i_{СТ.МАКС}$  по уравнению (2.55).

Подставляя (2.56) и (2.51) в уравнение (2.57), получим выражение для минимального начального напряжения на накопителе энергии, при котором система электростартерного пуска способна отдать необходимый стартерный ток и преодолеть начальный момент сопротивления прокручиванию

коленчатого вала ДВС

$$U_{н.мин}(0) = \frac{i_{пт} \cdot \xi \cdot 8 \sqrt{\omega_{вст}}}{M_{пт} \cdot m} \left\{ \frac{m^2 M_{пт}^2 \sqrt{\omega_{вст}}}{8 \xi \eta \cdot i_{пт}^2} + r_{np} \right\}. \quad (2.58)$$

При оценках емкости и начального напряжения накопителя, необходимых для пуска ДВС следует исходить не только из уравнения (2.54), но и из соотношения (2.58).

Отметим, что применение емкостного накопителя энергии позволяет более успешно, чем при пуске от аккумуляторной батареи, преодолеть повышенный момент сопротивления в начале пуска из-за меньшего внутреннего сопротивления и повышенного напряжения источника.

Примерный расчет пусковых характеристик двигателя внутреннего сгорания при пуске от емкостного накопителя приведен в приложении.

Выводы по *параграфу*:

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобиля разработана математическая модель процесса электропуска двигателя внутреннего сгорания для широкого диапазона подаваемых на систему пуска напряжений от емкостного накопителя энергии;

- на основе предложенной модели процесса электропуска проведен примерный расчет пусковых характеристик ДВС;

- задачами дальнейшего исследования следует считать проведение экспериментальных исследований с целью проверки предложенной модели процесса электропуска ДВС и разработку принципиальной электрической схемы преобразователя параметров электрической энергии для обеспечения более надежного пуска ДВС в условиях низких температур окружающей среды.

## 2.2 Математическая модель метода регулирования напряжения питания системы зажигания

Как следует из анализа, проведенного в главе 1, на зажигание рабочей смеси в цилиндре двигателя влияет одновременно целый ряд постоянных и переменных факторов.

С целью получения бесперебойного искрообразования оценим влияние на этот процесс как внешних факторов, так и параметров системы зажигания. Для этого в уравнение (1.5) подставим выражение (1.4) для тока разрыва:

$$U_{2M} = \frac{U_B}{R_{1\Sigma}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R_{1\Sigma}\tau_3 120}{L_1 n z}\right) \right] \varepsilon_1\left(\frac{w_2}{w_1}\right) \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2}} \cdot \eta \quad (2.59)$$

С учетом выражения (1.6) уравнение (2.59) показывает, что наибольшее влияние на вторичное напряжение  $U_{2M}$  и, соответственно, на коэффициент запаса  $k_3$ , оказывают напряжение питания  $U_B$  и сопротивление первичной цепи  $R_{1\Sigma}$ .

Поскольку в существующих системах зажигания  $U_B = const$ , то до сих пор пользовались только второй зависимостью. Для этого, например, на время пуска двигателя изменяют сопротивление первичной цепи  $R_{1\Sigma}$ , замыкая добавочное сопротивление, входящее в  $R_{1\Sigma}$ . Это частично компенсирует уменьшение  $U_{2M}$ , поскольку роль экспоненциального члена в (2.59) (из-за большого  $\tau_3$  во время пуска) незначительна.

Недостатки подобного регулирования очевидны. Во-первых, оно дискретно. Во-вторых, сопротивление  $R_{1\Sigma}$  в принципе не может быть меньше сопротивления первичной цепи катушки зажигания, что существенно ограничивает диапазон регулирования. Наконец, как показывает опыт эксплуатации, такой регулировки оказывается недостаточно при снижении напряжения питания системы зажигания до 8В, что при пуске двигателя случает-

ся нередко. Поэтому для обеспечения бесперебойного искрообразования во время пуска для любой системы зажигания было бы гораздо эффективней изменять напряжение.

Вопрос о выборе, но не о непрерывном регулировании напряжения питания системы зажигания рассматривался и в литературе [142].

Такое непрерывное изменение можно осуществить, если применить в соответствии с принципами настоящей работы такой преобразователь параметров энергии, который вместе с системой зажигания был бы включен в общую систему автоматического регулирования.

Подобная схема работает следующим образом. В случае снижения напряжения аккумуляторной батареи, например, при пуске двигателя, преобразователь повышает напряжение системы зажигания, восстанавливая его до прежнего (необходимого) значения, и в результате бесперебойное искрообразование будет поддерживаться автоматически.

С этой схемы мы и начали экспериментальные исследования возможности совершенствования системы зажигания, результаты которых приведены в следующей главе.

Однако, подобное решение обладает и недостатками: в области пусковых частот добавочный резистор замкнут. В то же время, как видно из экспериментальных данных, приведенных в четвертой главе, напряжение на выходе преобразователя даже при напряжениях бортовой сети 6 - 8В составляет 9,8 - 11,8 В.

Следовательно, бесперебойное искрообразование обеспечивается ценой токовой перегрузки первичной цепи со всеми вытекающими последствиями: перегревом и снижением надежности работы катушки зажигания и коммутатора.

Это ставит вопрос об оптимизации характеристик преобразователя. В принципе, его выходное напряжение можно регулировать, однако остается неясным, к какой именно характеристике следует стремиться.

Таким образом, возникает такая же задача, как и при оптимизации

электропуска. Нужно найти необходимую зависимость выходного напряжения преобразователя от скорости вращения коленчатого вала, причем не только в области пусковых частот.

В соответствии с возникшей задачей проведены дальнейшие теоретические исследования.

Следует учитывать, что при смене режимов работы ДВС изменяется не только напряжение бортовой сети, но и пробивное напряжение (в силу причин, указанных в первой главе).

В результате коэффициент запаса по напряжению также непредсказуемым образом изменяется в широких пределах, что отрицательно сказывается на работе системы зажигания и двигателя в целом.

Для получения рациональной зависимости энергии искрового разряда  $W_i$ , вторичного напряжения  $U_{2M}$  и, соответственно, коэффициента запаса  $k_3$  от частоты вращения коленчатого вала двигателя проанализируем выражения (2.59), (1.4), (1.5).

Поскольку величины, характеризующие катушку зажигания и двигатель внутреннего сгорания  $R_{1\Sigma}, L_1, C_1, C_2, \tau_3, \xi_1, \frac{w_2}{w_1}, \eta, z$  постоянны для данной конкретной системы зажигания, оптимальная зависимость вторичного напряжения  $U_{2M}$  от частоты вращения коленчатого вала двигателя определяется *законом изменения* напряжения питания системы зажигания  $U_B = f(n)$ .

Для получения этой зависимости найдем из выражения (2.59) напряжение питания и вместо вторичного напряжения подставим пробивное напряжение, умноженное на коэффициент запаса по вторичному напряжению  $k_3$ :



$$U_B = \frac{R_{1\Sigma} U_{IP} k_3}{\left[ 1 - \exp\left(-\frac{R_{1\Sigma} \tau_3 120}{L_1 n z}\right) \right] \varepsilon_1\left(\frac{w_2}{w_1}\right) \sqrt{C_1 + C_2\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2 \eta}} \quad (2.60)$$

Это выражение и определяет оптимальное значение напряжения питания системы зажигания при разных частотах вращения коленчатого вала двигателя с позиций постоянства коэффициента запаса  $k_3$ .

Что касается входящего в (2.60) напряжения пробоя искрового промежутка  $U_{IP}$ , то оно может быть взято из работы [104] (см. рисунки 1.15 и 1.16).

В результате совместной обработки на ПЭВМ этих зависимостей и числовых значений величин, входящих в уравнение (2.60), для системы зажигания (с помощью программ Mathcad 5.0 и EASYFORMULA 1.2) получена зависимость минимально необходимого напряжения питания от частоты вращения коленчатого вала двигателя, представленная точками на рисунке 2.10.

Как следует из рисунка, в этой зависимости есть три характерных участка, отличающихся либо нарастанием, либо убыванием  $U_B(n)$ . К ним мы подобрали следующие аппроксимирующие функции (показаны сплошными линиями):

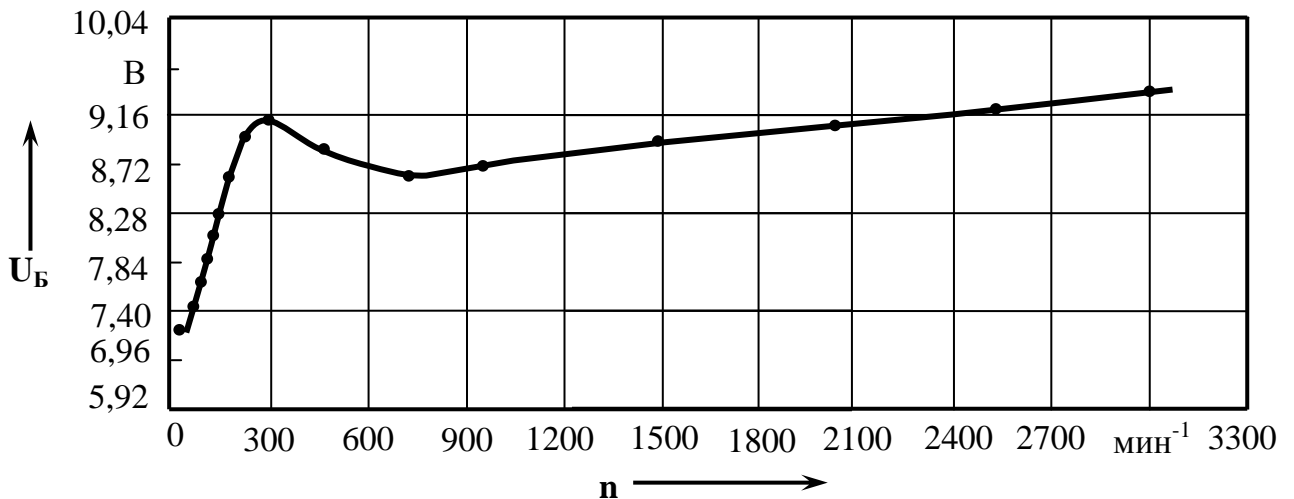


Рисунок 2.10 - Изменение минимально необходимого напряжения питания от частоты вращения коленчатого вала двигателя

$$U_B = \frac{-226}{n} + 10,04, \quad \text{для } n \text{ от } 50 \text{ до } 300 \text{ мин}^{-1}, \quad (2.61)$$

$$U_B = \frac{1}{\frac{22,6}{n} + 1,127 \cdot 10^{-4} n}, \quad \text{для } n \text{ от } 301 \text{ до } 750 \text{ мин}^{-1}, \quad (2.62)$$

$$U_B = 2,449 \cdot 10^{-4} n + 8,516, \quad \text{для } n \text{ от } 751 \text{ до } 3200 \text{ мин}^{-1}. \quad (2.63)$$

Как видно из рисунка, аппроксимирующие функции достаточно хорошо описывают экспериментальные зависимости.

Из этого рисунка и уравнения (2.61) для области пусковых частот с очевидностью следует, что заданное руководством по эксплуатации системы зажигания [93] минимальное напряжение питания системы зажигания 8В не отражает существа реальной проблемы. В действительности в диапазоне частот вращения коленчатого вала 50-150 мин<sup>-1</sup> пуск двигателя может быть осуществлен при меньшем напряжении, что и требует ГОСТ 28827 – 90 [81]. С другой стороны, напряжение в 8В в диапазоне частот вращения коленчатого вала ДВС от 150 до 300 мин<sup>-1</sup> не обеспечивает бесперебойного искрообразования. Это именно та кривая, к которой должна стремиться характеристика преобразователя напряжения, полученная нами на первом этапе (см. рисунок 2.11).

Таким образом, с целью получения бесперебойного искрообразования при пуске ДВС без перегрузки первичной цепи напряжение питания системы зажигания необходимо изменять по закону (2.61). Это означает, что функциональная схема устройства, рассмотренного выше, не удовлетворяет решаемым задачам. Поскольку напряжение питания должно быть функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя, то и преобразователь напряжения должен управляться сигналом от датчика этой частоты в соответствии с уравнениями (2.61 – 2.63).

Выводы по *параграфу*:

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники разработан метод регулирования вторичного напряжения системы зажигания бензинового ДВС за счет применения импульсного преобразователя параметров электрической энергии;

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобиля разработана численная модель процесса работы системы зажигания двигателя внутреннего сгорания для широкого диапазона питающих ее напряжений;

- задачами дальнейшего исследования следует считать проведение экспериментальных исследований с целью проверки предложенных принципов и модели работы системы зажигания бензинового ДВС и разработку электрической схемы преобразователя параметров электрической энергии для систем зажигания ДВС автомобиля в условиях низких температур окружающей среды.

### **2.3 Основы теории применения импульсных адаптивных систем электропитания в системе электроснабжения**

Как следует из первой главы, регулирование напряжения бортовой сети должно обеспечивать его значение в соответствии с требованиями потребителей электроэнергии, минимизировать нагрузку аккумуляторной батареи и обеспечить максимальную степень ее заряженности с учетом температурного режима эксплуатации.

Рассмотренные в параграфе 1.3 существующие схемы регуляторов напряжения не удовлетворяют в должной мере ни отдельным из перечисленных требований, ни тем более их совокупности.

С точки зрения обеспечения пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС), особенно при низких температурах следует иметь близкую к 100 % степень заряженности аккумуляторной батареи. Этому же требует условие ее максимального срока службы. Для поддержания максимальной заряженности аккумуляторной батареи необходимо поддерживать с высокой степенью точности напряжение бортовой сети (см. главу 1).

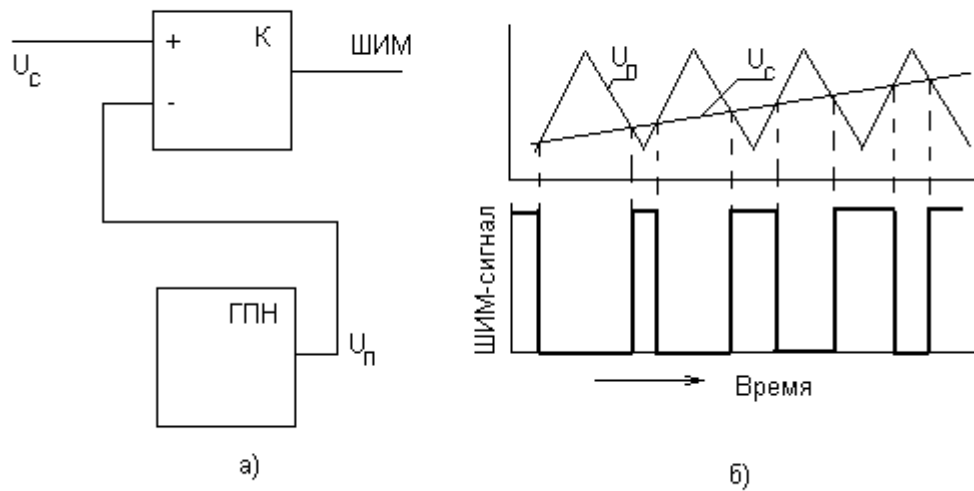
Замена регуляторов напряжения дискретного действия аналоговыми регуляторами [143] проблемы не снимает, хотя и позволяет несколько повысить точность регулирования. Система обладает низким коэффициентом полезного действия и оказывается ненадежной из-за большой мощности, рассеиваемой выходным силовым транзистором.

Выход из сложившейся ситуации можно найти в применении схем широтно-импульсной модуляции (ШИМ), которые в принципе могут обеспечить точность регулирования не меньшую, чем точность аналоговых систем, однако при этом весьма существенно (на 1 - 2 порядка) снижают потери мощности. Рассмотрим эти системы более подробно.

Способ получения ШИМ - сигнала достаточно хорошо известен из специальной литературы, рассмотренной в первой главе. Он состоит в сравнении с помощью компаратора модулирующего напряжения с напряжением пилообразной формы, как это показано на рисунке 2.11.

Если напряжение модулирующего сигнала (сигнала управления) превышает напряжение пилообразного напряжения, то на выходе компаратора устанавливается высокий уровень напряжения; если ситуация обратная – то низкий. Как видно из рисунка, длительность импульса прямо пропорциональна модулирующему напряжению.

Если период следования импульсов  $T$  остается постоянным, а длительность импульса  $t_u$  изменяется, то постоянная составляющая  $U_{cp}$  (среднее напряжение) всей последовательности импульсов тоже будет изменяться, и это переменное  $U_{cp}$  можно использовать для питания двигателя.



К – компаратор; ГПН – генератор пилообразного напряжения

Рисунок 2.11 – Схема (а) и принцип (б) получения ШИМ сигнала

Широтно–импульсная модуляция характеризуется коэффициентом заполнения (величина, обратная скважности)  $\gamma = t_u / T$ , где  $t_u$  – длительность импульса управления, а  $T = f^{-1}$  – период повторения импульсов. Как следует из этого выражения, коэффициент заполнения изменяется в пределах 0-1. Соответственно среднее напряжение на потребителе:

$$U = U_{пит} \frac{t_u}{T}, \quad (2.64)$$

где  $U_{пит}$  – напряжение питания, В.

Применение ШИМ по такой схеме позволяет существенно снизить мощность рассеивания на регулирующем элементе схемы, особенно если в качестве такого элемента применить мощный полевой транзистор.

При открытом транзисторе мощность рассеивания на транзисторе невелика из-за небольшого напряжения насыщения, а при закрытом транзисторе – из-за малого протекающего через него тока. В случае коротких пе-

реднего и заднего фронтов импульсов ( $\sim 10$  нс) мощность, рассеиваемая при переключениях также невелика. Если учесть, что ток обмотки возбуждения генератора невелик (около 4 А), то в качестве ключа можно использовать даже более дешевый мощный биполярный транзистор.

Очевидно, что подобным образом можно изменять среднее значение напряжения на потребителе энергии, однако, остается открытым вопрос – как получить необходимую зависимость опорного (модулирующего) напряжения от температуры.

Недостатком применяемых в настоящее время регуляторов напряжения является применение параметрического стабилизатора в качестве источника опорного напряжения, что приводит к сильной температурной погрешности регулирования.

Известны схемы трехвыводных источников опорного напряжения на базе двух р-п-переходов с одинаковой шириной запрещенной зоны [144]. Напряжение на таком переходе линейно зависит от температуры, причем крутизна этой зависимости (температурный коэффициент напряжения) зависит от тока через диод [144, 145].

Рассмотрим этот источник более подробно.

Если установить в узле "а" (рисунок 2.12) напряжение, численно равное ширине запрещенной зоны полупроводника (в эВ), то выходное опорное напряжение источника оказывается практически не зависящим от температуры.

Действительно, разность напряжений между эмиттерами транзисторов, включенных по схеме, показанной на рисунке 2.12, определяется выражением:

$$\Delta U_{БЭ} = U_{БЭ1} - U_{БЭ2} = \frac{\kappa T}{e} \ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{\kappa T}{e} \ln n_1, \quad (2.65)$$

где  $\kappa$  – постоянная Больцмана, Дж/К;

$T$  – абсолютная температура, К;

$e$  – заряд электрона, Кл;

$n_1$  – отношение токов коллекторов транзисторов, задаваемое выбором сопротивлений, включенных в цепи коллекторов.

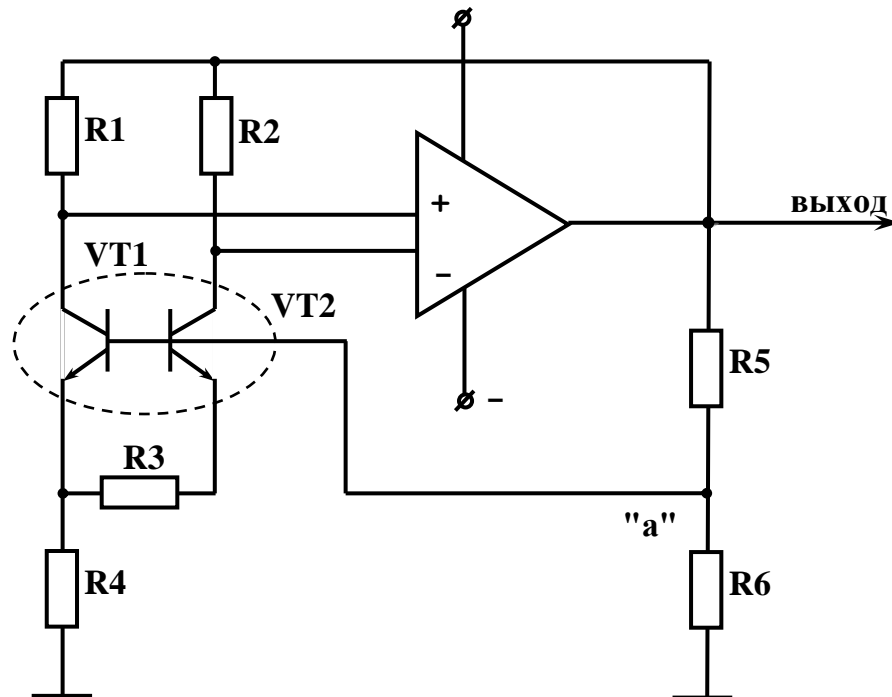


Рисунок 2.12 - Стабилизатор с «шириной запрещенной зоны полупроводника»

С другой стороны, это напряжение может быть определено следующим образом:

$$\Delta U_{БЭ} = I_2 \cdot R_3, \quad (2.66)$$

Приравнявая (2.65) и (2.66), получим

$$I_2 = \frac{\kappa T}{e R_3} \ln n_1. \quad (2.67)$$

Тогда ток через сопротивление R4 можно найти из уравнения

$$I_4 = I_1 + I_2 = n_1 \cdot I_2 + I_2 = \frac{\kappa T (n_1 + 1)}{e R_3} \ln n_1, \quad (2.68)$$

а напряжение на этом сопротивлении:

$$U_4 = \frac{R_4}{R_3} \cdot (n_1 + 1) \frac{\kappa T}{e} \ln n_1. \quad (2.69)$$

Если напряжение  $U_4$  сложить с напряжением между базой и эмиттером транзистора, то получим напряжение на базах транзисторов

$$\begin{aligned}
 U_B &= \frac{\Delta E_g}{e} - \frac{\kappa T}{e} \ln A + \frac{R_4}{R_3} \cdot (n_1 + 1) \frac{\kappa T}{e} \ln n_1 = \\
 &= \frac{\Delta E_g}{e} - \frac{\kappa T}{e} \left[ \ln A - \frac{R_4}{R_3} \cdot (n_1 + 1) \ln n_1 \right] ,
 \end{aligned}
 \tag{2.70}$$

где  $\Delta E_g$  - ширина запрещенной зоны полупроводника, из которого изготовлен дифференциальный усилитель, эВ,

$A$  – величина, практически не зависящая от температуры.

Если установить теперь  $U_B = 1,205$  В для кремниевых транзисторов, то получим

$$\frac{\kappa T}{e} \left[ \ln A - \frac{R_4}{R_3} \cdot (n_1 + 1) \ln n_1 \right] = 0.
 \tag{2.71}$$

Следовательно, в этом случае наблюдается компенсация температурной зависимости  $U_{БЭ}$ .

В отдельных случаях, однако, *полная компенсация* температурной зависимости не отвечает требованиям, предъявляемым к источнику со стороны потребителей. Именно это относится к процессу подзаряда аккумуляторной батареи, ЭДС которой изменяется в зависимости от температуры подкапотного пространства. Из этого следует, что выходное напряжение стабилизатора *должно зависеть от температуры*. Эту зависимость необходимо установить такой же, как и температурная зависимость ЭДС батареи [146, 147].

Как следует из (2.71), регулировка температурного коэффициента напряжения (ТКН) возможна путем варьирования двух переменных:  $n_1$  или  $R_4/R_3$ . Отношение токов коллекторов транзисторов  $n_1$  чаще всего выбирают порядка 10 и поддерживают неизменным на заданном уровне с помощью операционного усилителя. Поэтому регулировку ТКН целесообразно осуществить путем изменения  $R_3$  или  $R_4$ . Мы ее осуществляем с помощью регулировочного сопротивления  $R_3$ .



Эффект компенсации отрицательного температурного коэффициента напряжения между базой и эмиттером биполярного транзистора достигается за счет пониженного (по сравнению со схемой с нулевым температурным коэффициентом напряжения) потенциала точки соединения входов дифференциального усилителя на транзисторах.

Как видно из соотношения (2.69), напряжение на сопротивлении R4 линейно зависит от температуры и может использоваться при построении схем в качестве датчика температуры.

Возможно и другое решение поставленной задачи компенсации температурной зависимости полностью заряженной аккумуляторной батареи. Для достижения этой цели возможно использовать температурную зависимость падения напряжения на прямосмещенных диодах с различной шириной запрещенной зоны, которая по теории полупроводниковых приборов тоже должна быть линейной [144, 145]:

$$U_1 = \frac{\Delta E_{g1}}{e} - \frac{kT}{e} \ln \frac{A_1}{I_{o1}} = \frac{\Delta E_{g1}}{e} - S_1 T, \quad (2.72)$$

$$U_2 = \frac{\Delta E_{g2}}{e} - \frac{kT}{e} \ln \frac{A_2}{I_{o2}} = \frac{\Delta E_{g2}}{e} - S_2 T, \quad (2.73)$$

где  $U_1$  и  $U_2$  - напряжения на прямосмещенных диодах на основе широ-

козонного и узкозонного полупроводников соответственно, В;

$\Delta E_{g1}, \Delta E_{g2}$  - ширина запрещенной зоны широкозонного и узкозонного

полупроводников, Дж;

$A_1, A_2$  - величины, практически не зависящие от температуры;

$S_1, S_2$  - крутизна температурной зависимости р-п переходов на основе широкозонного и узкозонного полупроводников, В/К;

$I_{o1}, I_{o2}$  - токи прямосмещенных р-п переходов на основе широкозонного и узкозонного полупроводников, А.

Как следует из (2.72) и (2.73), разность напряжений между прямосмещенными диодами  $\Delta U$  определяется из уравнения:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{\Delta E_{g1} - \Delta E_{g2}}{e} - T(S_1 - S_2), \quad (2.74)$$

Из (2.74) видно, что, изменяя ток прямо смещенного р-п перехода подстроечным сопротивлением, можно регулировать крутизну температурной зависимости  $S_I$  и, соответственно, получить требуемый температурный коэффициент напряжения для разностного напряжения  $\Delta U$ .

Подобным образом возможно получить напряжение генератора, обеспечивающее наиболее полный заряд аккумуляторной батареи, но следует иметь в виду, что электрооборудование автомобиля содержит и другие потребители, кроме аккумуляторной батареи, которые предъявляют к напряжению бортовой сети *свои собственные требования*, не совпадающие с требованиями со стороны *аккумуляторной батареи*. Рассмотрим эти требования более подробно.

В качестве примера в таблице 2.1 представлены зависимости срока службы и светового потока автомобильных ламп накаливания (с номинальным напряжением 12 В) от величины регулируемого напряжения в процентах от расчетного значения 13,5 В [4, 5].

Из таблицы 2.1 следует, что понижение напряжения от расчетного до номинального несколько уменьшает обеспечиваемый лампами световой поток, но резко увеличивает срок их службы.

Таблица 2.1 – Зависимость срока службы и светового потока автомобильных ламп накаливания от величины напряжения [4]

Наименование показателя	Значение				
Напряжение на лампе, проценты от расчетного напряжения	85	90	100	110	115
Световой поток, проценты от расчетного напряжения	52	68	100	140	225
Срок службы лампы, проценты от расчетного напряжения	420	275	100	45	17

Таким образом, возникает явное противоречие между значением напряжения бортовой сети, необходимым для продления срока службы аккумуляторной батареи, и напряжением, оптимальным для питания других потребителей электрической энергии.

При разработке электрооборудования автомобиля по стандартной схеме обычно приходится идти на компромисс при выборе напряжения бортовой сети, что приводит к снижению срока службы как аккумуляторной батареи, так и других потребителей электрической энергии.

Выходом из сложившейся ситуации может стать применение вторичного источника электропитания (импульсного стабилизатора), который позволяет эти проблемы разделить.

Такой источник призван преобразовать напряжение, поступающее от генератора для заряда батареи, в напряжение, оптимальное для питания других потребителей.

По этой причине следует говорить о необходимости создания регулятора-стабилизатора, имеющего два выхода: выход опорного напряжения для регулирования напряжения в соответствии с требованиями, предъявляемыми аккумуляторной батареей, с одной стороны, и выход стабилизатора для питания остальных потребителей, например, ламп головного света - с другой.

Выводы по *параграфу*:

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники предложен метод широтно – импульсного регулирования выходного напряжения синхронного автомобильного генератора, позволяющий продлить срок службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима;

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники предложен метод разделения напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи и напряжения остальных потребителей электрической энергии;

- задачами дальнейшего исследования следует считать проведение экспериментальных исследований с целью проверки предложенных принципов и методов работы системы электроснабжения и разработку электрических схем преобразователей параметров электрической энергии для систем электроснабжения автомобильной техники, обеспечивающих продление срока службы приборов электрооборудования за счет повышения точности регулирования и учета температурных коэффициентов напряжения без снижения коэффициента полезного действия.

## **2.4 Основы теории применения адаптивных систем электропитания в электроприводе вспомогательного оборудования**

Основу электропривода вспомогательного оборудования составляют электродвигатели постоянного тока, промежуточные устройства и исполнительные механизмы, составляющие вместе электропривод.

Проблема регулирования режима работы электропривода сформулирована в качестве одной из задач, решаемых в настоящей работе. Речь идет о необходимости плавной регулировки режимов работы некоторых систем электрооборудования автомобиля вместо существующих дискретных. Продемонстрируем реализацию этих задач на примере систем вентиляции и отопления салона автомобиля, охлаждения ДВС, стеклоочистки и стеклоподъема.

В главе 1 выявлены три возможных способа регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока (ДПТ).

Два из них – применение сопротивления в цепи якоря и изменение магнитного потока – признаны нецелесообразными или невозможными (в связи с отсутствием в некоторых современных электродвигателях обмотки возбуждения).

Рассмотрим оставшуюся возможность.

Сразу же напрашивается самое очевидное решение: включить в цепь якоря вместо сопротивления транзистор - по схеме, представленной на рисунке 2.13.

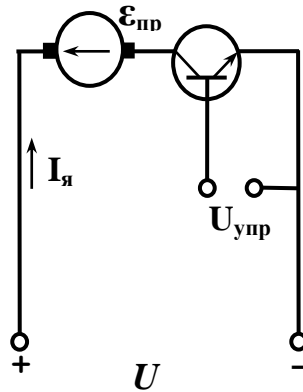


Рисунок 2.13 – Электронная аналоговая регулировка частоты вращения якоря

В такой схеме при изменении управляющего напряжения  $U_{упр}$ , воздействующего на его базу, можно регулировать уровень открывания транзистора VT. При этом в цепи управления можно использовать маломощное и малогабаритное переменное сопротивление. Соответственно, рассеиваемая на нем мощность заметно уменьшается. Однако мощность, рассеиваемая самим транзистором, оказывается чрезмерно высокой.

Это требует применения транзистора с достаточно большим радиатором. В результате практически все указанные выше недостатки сохраняются, и, следовательно, эта схема не снимает названных проблем.

С одной стороны, на двигатель подается постоянное напряжение от источника (батареи), которое мы заменить не можем. С другой стороны, варьировать режим работы двигателя без указанных выше недостатков можно только изменением подаваемого на него напряжения.

Выход подсказывает выдвинутые принципы – создание импульсного источника электроснабжения.

На пути аналогового регулирования невозможно добиться успеха только потому, что транзистор в схеме рисунке 2.14 выполняет, по сути, те

же функции, что и набор добавочных сопротивлений в цепи якоря по рисунку 1.6.

Выход из этой ситуации можно найти в применении широтно - импульсной модуляции (ШИМ), впрочем, подобные попытки предпринимались [148], однако они не получили достаточно широкого развития в связи с отсутствием в то время мощных и надежных силовых ключей на МОП (металл-окисел-полупроводник) транзисторах.

При разработке основ теории применения импульсных адаптивных преобразователей параметров электроэнергии в электроприводе можно воспользоваться тем же принципом, что и при разработке системы электропитания, а именно – применением ШИМ – модуляции, как это было показано на рисунке 2.12.

Если период следования импульсов  $T$  остается постоянным, а длительность импульса  $t_u$  изменяется, то постоянная составляющая  $U_{cp}$  (среднее напряжение) всей последовательности импульсов тоже будет изменяться, и это переменное  $U_{cp}$  можно использовать для питания двигателя постоянного тока (ДПТ).

Соответственно среднее напряжение на потребителе, например, на ДПТ:

$$U = U_{\text{бат}} \frac{t_u}{T}, \quad (2.75)$$

где  $U_{\text{бат}}$  - напряжение бортовой сети автомобиля, В.

При этом следует иметь в виду, что электродвигатель – это механическая система с довольно большим моментом инерции. При низких частотах (больших  $T$ ) он успевает реагировать на наличие и отсутствие импульса напряжения, т.е. работает в прерывистом режиме (включился-выключился). Это снижает надежность работы двигателя и создает дискомфорт (периодический шум и периодические тепловые потоки). С повышением частоты (уменьшением  $T$ ) двигатель вследствие инерционности на отдельные импульсы реагировать уже не успевает и начинает реагировать только на

среднее значение напряжения. При частотах  $f > 100$  Гц описанные выше эффекты исчезают. С шумом пытаются бороться, изменяя конструкцию отопителя [149] - вводя дополнительные перегородки и меняя воздушные потоки, но подобные способы мало эффективны.

Следовательно, в основе импульсного преобразователя специализированной системы электропитания должен лежать импульсный преобразователь постоянного напряжения в переменное (DC/AC – конвертер) с частотой преобразования не ниже нескольких сотен Гц, которые при современном уровне техники реализуются достаточно просто.

Рассмотрим применение указанных принципов применительно к различным системам электрооборудования, содержащим электропривод.

#### ***Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания.***

Как известно, температура ДВС влияет на процесс смесеобразования в цилиндрах двигателя, а, следовательно, на его коэффициент полезного действия, токсичность отработавших газов и ресурс работы [4, 5]. Очевидно, что она зависит от климатических условий, режима работы двигателя и условий его охлаждения.

Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания предназначена для поддержания его теплового режима в том диапазоне температур, в котором он обеспечивает номинальные параметры при максимальной долговечности.

В современных автомобилях система охлаждения устроена таким образом, что коммутация электродвигателя вентилятора системы охлаждения осуществляется автоматически при достижении границ заданного диапазона температуры двигателя.

Подобное построение схемы отличается простотой конструкции, однако имеет основной недостаток: электродвигатель вентилятора дискретно включается на полную мощность и выключается при температурах, определяемых гистерезисом биметаллического датчика.

Это обуславливает погрешности в установке температуры порядка 10 градусов [15], а подобные погрешности приводят как к избыточному перерасходу топлива, так и к снижению ресурса работы ДВС. Выход из подобной ситуации можно найти в применении адаптивной системы электропитания системы охлаждения ДВС на основе ШИМ – регулятора, включенного в цепь обратной связи. Он позволяет включать вентилятор с небольшой скоростью вращения еще до достижения двигателем рабочей температуры и увеличивать ее по мере прогрева ДВС. Способ реализует не только плавный выход на заданную температуру, но и более высокую точность ее поддержания.

### ***Система стеклоочистки.***

Стеклоочиститель предназначен для механической очистки лобового стекла от атмосферных осадков и грязи. По типу привода различают вакуумные, пневматические и электрические стеклоочистители. Последние и получили наибольшее распространение.

Электрический стеклоочиститель состоит из электродвигателя, червячного редуктора, обычно выполненного в одном корпусе с электродвигателем, кривошипного механизма, системы рычагов и щеток. Электродвигатель через червячный редуктор приводит во вращение кривошип, который через системы приводных рычагов и тяг сообщает рычагам щеток качательное движение. Щетки должны перемещаться по стеклу плавно, без толчков, с определенным углом размаха и усилием прижатия к стеклу.

Различные климатические условия и скоростные режимы движения автомобиля обуславливают необходимость изменения производительности стеклоочистителя. Поэтому современные стеклоочистители имеют две или три скорости [5].

Переключение скоростей стеклоочистителей в настоящее время достигается использованием электродвигателей с несколькими переключаемыми щетками, что позволяет изменять конструктивные постоянные двигателя и получать несколько скоростей вращения при одном напряжении [28].



В дополнение к стеклоочистителям устанавливают омыватели стекол и фар, состоящие из бачка с чистой водой и насоса, приводимого в действие вручную, ножной педалью или электродвигателем [4, 5].

Существующие технические решения обладают очевидным недостатком – дискретно изменяемой скоростью движения щеток стеклоочистителя, что не всегда позволяет подобрать оптимальную для качественной очистки стекла скорость их движения при различных погодных условиях.

Для устранения этого недостатка желательно иметь возможность плавной регулировки скорости движения щеток водителем в зависимости от погодных условий. Решить эту задачу можно с помощью все той же широтно-импульсной модуляции, которая, как показано в предыдущих разделах, позволяет получить плавную регулировку скорости вращения якоря электродвигателя постоянного тока.

#### ***Система стеклоподъема.***

Электропривод стеклоподъемников, появившийся на современных автомобилях, содержит электродвигатель, моторредуктор, блок управления стеклоподъемом и управляющие им переключатели.

Что касается блока управления стеклоподъемом (например, 1903.3763), то в нем сигнал на подъем или опускание стекла изменяет полярность электропитания электродвигателя моторредуктора на противоположную, заставляя его вращаться в ту или иную сторону.

Остановку двигателя моторредуктора производит система, реагирующая на величину тока электродвигателя. При установке стекла в крайнее положение, или попадании в щель над закрываемым стеклом руки водителя или пассажира, двигатель затормаживается, ток двигателя возрастает и по сигналу от термобиметаллического микровыключателя, геркона или микровыключателя с датчиком Холла происходит остановка электродвигателя [15].

Недостатками подобной схемы построения электропривода стеклоподъемников являются практически полное отсутствие возможности регу-

лировки тока срабатывания системы отключения электродвигателя с целью регулировки предельно допустимого момента, а также применение в системе изменения полярности питания электродвигателя не очень надежных механических контактов, либо практически столь же ненадежных контактов электромагнитных реле.

Преодолеть первые два указанных недостатка возможно также путем использования ШИМ - модуляции, о чем речь пойдет ниже, а для устранения третьего недостатка следует применять полномостовую схему управления на мощных полевых МДП - транзисторах (металл – диэлектрик - полупроводник), подробное рассмотрение подобных устройств находится за пределами задач данной работы, поскольку они хорошо известны из литературы [120].

Что касается первого и второго недостатков, то для их устранения необходимо получить мягкую скоростную характеристику электродвигателя моторедуктора. Для этого стандартную схему получения ШИМ сигнала следует дополнить обратной связью по току электродвигателя.

Выводы по *параграфу*:

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники предложен метод широтно – импульсного регулирования выходного напряжения для питания электропривода вспомогательного оборудования;

- на основе предложенных принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники предложен новый принцип применения DC-AC конверторов, состоящий в их применении для питания двигателей постоянного тока в электроприводе автомобильной техники, в том числе в системах автоматического регулирования;

- задачами дальнейшего исследования следует считать проведение экспериментальных исследований с целью проверки предложенных принципов и методов работы системы электропривода вспомогательного оборуду-

дования и разработку электрических схем преобразователей параметров электрической энергии.

## **2.5 Формирование требований к системам электрооборудования автомобилей с адаптируемыми преобразователями параметров электрической энергии**

Как отмечалось выше, задачами дальнейшего исследования следует считать формирование требований к адаптируемым преобразователям параметров электрической энергии, при разработке которых необходимо реализовать рациональные законы изменения параметров подаваемых напряжений для систем электрооборудования автомобилей.

Действительно, как отмечалось в первой главе, для реализации рациональных законов изменения параметров электроснабжения на основе анализа специфики работы каждого потребителя вырабатываются требования к величине его напряжения и потребляемой энергии. При этом напряжение бортовой сети рассматривается как исходное значение для преобразования его уровня в большую или меньшую величину практически без потерь энергии.

Очевидно, что разрабатываемые преобразователи для всех без исключения систем электрооборудования автомобильной техники должны удовлетворять некоторым общим требованиям, они должны:

- иметь повышенный по сравнению со стандартной схемой построения электрооборудования коэффициент полезного действия;
- возможность включения преобразователя в систему автоматического регулирования;
- иметь повышенную точность поддержания заданных параметров;
- иметь достаточную надежность в эксплуатации;
- иметь возможность включения в микропроцессорную систему при минимальных доработках.

Рассмотрим специфические требования к адаптируемым преобразователям параметров электрической энергии, работающим в различных системах электрооборудования АТ.

1. Преобразователь параметров электрической энергии для системы электропуска двигателя внутреннего сгорания.

Помимо определения выходного напряжения и компонентов схемы замещения нужно учесть ряд требований, предъявляемых к преобразователю напряжения:

- электрическая схема преобразователя должна обеспечивать уровень выходного напряжения, необходимый для уверенного пуска вне зависимости от степени разряженности и состояния аккумуляторной батареи;

- преобразователь должен автоматически увеличивать выходное напряжение при понижении температуры двигателя с целью компенсации увеличения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала ДВС повышенным вращающим моментом стартера (требование адаптивности);

- выходное напряжение преобразователя должно возрастать при уменьшении температуры масла не более чем до 15 – 17В (для 12В бортовой сети), с целью не допустить поломки и повышенного износа деталей и узлов системы пуска;

- преобразователь должен начинать работать при напряжении на его входе выше 5 – 7В (для бортовой сети 12В), с целью не вывести из строя выходные мощные полевые транзисторы или аккумуляторную батарею;

- коэффициент полезного действия преобразователя должен быть по возможности выше;

- преобразователь должен заряжать емкостной накопитель энергии за минимальное время (при работе на емкостную нагрузку).

- учитывая, что заряд накопителя энергии осуществляется от аккумуляторной батареи, преобразователь должен быть построен по схеме повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение (DC-DC конвертор).

2. Преобразователи параметров электрической энергии для системы *зажигания* бензинового двигателя внутреннего сгорания.

Кроме требований, изложенных в начале параграфа адаптируемый преобразователь параметров электрической энергии для системы зажигания должен отвечать ряду специфических требований, которые мы рассмотрим отдельно для повышающего преобразователя и преобразователя, обеспечивающего постоянный коэффициент запаса по вторичному напряжению.

*Повышающий преобразователь* параметров электрической энергии для системы зажигания бензинового двигателя внутреннего сгорания должен, в соответствии с техническими условиями эксплуатации системы зажигания обеспечивать бесперебойное искрообразование при напряжении бортовой сети не менее 8В. В то же время согласно ГОСТ 28827-90 [81] испытание систем зажигания производится при напряжениях, минимальное значение которых составляет 50 % от номинального значения напряжения бортовой сети, т.е. 6 В.

Из этого следует, что преобразователь параметров электрической энергии должен обеспечивать работу системы зажигания не только при оговоренных для нее минимальных напряжениях, но и в диапазоне напряжения бортовой сети 6 - 8 В, более того, по некоторым источникам [23], нижний предел напряжения бортовой сети в условиях низких температур и разряженной аккумуляторной батареи может упасть до 5 - 5,5 В. Поэтому преобразователь должен начинать работать уже при таких напряжениях.

С целью экономии электроэнергии при входном напряжении порядка 10В преобразователь автоматически должен прекращать работу и напряжение питания системы зажигания в этом режиме должно соответствовать напряжению бортовой сети (за вычетом напряжения на открытом ключе преобразователя), поскольку система зажигания при напряжении 10В обеспечивает бесперебойное искрообразование. Кроме того, в области пусковых частот добавочный резистор замкнут. В то же время напряжение на выходе преобразователя даже при низких входных напряжениях бортовой сети со-

ставляет около 10В. Следовательно, бесперебойное искробразование обеспечивается ценой токовой перегрузки первичной цепи со всеми вытекающими последствиями: перегревом и снижением надежности работы катушки зажигания и коммутатора. Это ставит вопрос об оптимизации характеристик преобразователя.

*Понижающий преобразователь* параметров электрической энергии.

Следует учитывать, что при смене режимов работы ДВС изменяется не только напряжение бортовой сети, но и пробивное напряжение. В результате коэффициент запаса по напряжению также изменяется, что отрицательно сказывается на работе системы зажигания и двигателя в целом.

Выше была получена зависимость вторичного напряжения  $U_{2M}$  от частоты вращения коленчатого вала двигателя, которая определяется законом изменения напряжения системы зажигания  $U_B = f(n)$  в соответствии с уравнениями (2.61 – 2.63).

Эти выражения и определяют оптимальное, с точки зрения постоянства коэффициента запаса  $k_z$ , значение напряжения системы зажигания при разных частотах вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

Поскольку напряжение должно быть функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя, то и преобразователь напряжения должен управляться сигналом от датчика этой частоты, либо быть включенным в систему автоматического регулирования, поддерживающую постоянный коэффициент запаса (должен быть адаптируемым к постоянному коэффициенту запаса по вторичному напряжению).

3. Преобразователи параметров электрической энергии для системы *электропитания* должны обеспечить регулирование напряжения бортовой сети в соответствии с требованиями потребителей электроэнергии:  
- обеспечить защиту генератора от токов короткого замыкания;

- минимизировать нагрузку аккумуляторной батареи, для этого необходимо не только разработать схему отключения обмотки возбуждения генератора на время пуска ДВС, но и схему отключения зарядного тока батареи с целью уменьшения потерь энергии при температуре выше  $45^{\circ}\text{C}$ ;
- обеспечить максимальную степень заряженности аккумуляторной батареи с учетом температурного режима эксплуатации (это следует как из требований надежного пуска, так и получения максимального срока службы аккумуляторной батареи).
- данное требование, возможно реализовать только при существенном повышении точности регулирования выходного напряжения генератора ( $13,9 \pm 0,1$  В для бортовой сети 12В), что возможно при применении ШИМ - регулятора;
- реализация поставленной задачи возможна только при создании высокоточного источника опорного напряжения, с помощью которого возможно учесть температурную зависимость ЭДС заряженной аккумуляторной батареи;
- датчик температуры для компенсации температурного коэффициента напряжения должен иметь ту же температуру, что и электролит аккумуляторной батареи;
- для реализации предложенного метода разделения напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи и напряжения питания остальных потребителей электрической энергии необходимо разработать высокоточный источник вторичного электропитания (ИВЭП), преобразующий уровень напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи в напряжение стабильного уровня для питания остальных потребителей электрической энергии.

4. Требования к преобразователям параметров электрической энергии для системы *электропривода* вспомогательного оборудования:

- в основе преобразователя удобнее использовать метод широтно - импульсной модуляции;

- частота преобразования должна быть не ниже нескольких сотен Гц;
- частота преобразования должна быть не выше 10 кГц, это требование следует из условия минимума радиопомех;
- не следует стремиться к максимальной крутизне фронтов импульсов на выходе мощных силовых ключей, что следует из того же условия минимума радиопомех;
- в качестве силовых ключей лучше использовать мощные полевые транзисторы с целью уменьшения потерь энергии и увеличения коэффициента полезного действия;

Каждая из систем электропривода предъявляет к преобразователям свои собственные требования.

Требования по системе *вентиляции и отопления*:

- обеспечение плавной регулировки температуры в салоне за счет:
  - плавной установки задающим устройством заданной температуры салона;
  - плавной регулировки частоты вращения якоря электровентилятора отопителя;
  - обязательное наличие как регулировки скорости воздушного потока вручную, так и автоматической ее регулировки при выходе на заданный температурный режим;
  - наличие плавной автоматической регулировки температуры радиатора отопителя салона.

Требования по системе *охлаждения* двигателя внутреннего сгорания:

- с целью увеличения ресурса работы ДВС и снижению расхода топлива следует повысить точность поддержания установленной техническими условиями температуры охлаждающей жидкости до  $\pm 1^\circ\text{C}$ ;
- данная задача может быть решена при применении метода широтно - импульсной модуляции с пропорциональным сигналу ошибки плавным выходом на заданную техническими условиями температуру;

Требования по системе *стеклоочистки*:



- желательно иметь возможность плавной регулировки скорости движения щеток водителем, либо автоматически, в зависимости от погодных условий;
- решить эту задачу можно с помощью широтно-импульсной модуляции, которая, как показано в предыдущих разделах, позволяет получить плавную регулировку скорости вращения якоря электродвигателя постоянного тока;
- желательно иметь возможность плавной регулировки водителем в зависимости от погодных условий паузы между циклами движения щеток.

Требования по системе *стеклоподъема*:

- следует предусмотреть возможности регулировки тока срабатывания системы отключения электродвигателя с целью регулировки предельно допустимого момента;
- для изменения полярности питания электродвигателя следует использовать вместо не очень надежных механических контактов, либо практически столь же ненадежных контактов электромагнитных реле ключи на полевых транзисторах.

***Выводы по главе:***

- разработаны принципы совершенствования систем электрооборудования, теоретические основы применения импульсных адаптируемых преобразователей параметров электроэнергии для систем электрооборудования автомобильной техники, способных подстраивается под установленные закономерности изменения параметров электроснабжения систем бортового электрооборудования автомобильной техники для получения их рациональных эксплуатационных характеристик;

- на основе принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники:

- разработана математическая модель процесса пуска двигателя внутреннего сгорания для широкого диапазона подаваемых на систему пуска напряжений емкостного накопителя энергии;

- разработан метод регулирования вторичного напряжения системы зажигания бензинового ДВС за счет применения импульсного преобразователя параметров электрической энергии;

- разработана численная модель процесса работы системы зажигания двигателя внутреннего сгорания для широкого диапазона напряжений;

- предложен метод широтно – импульсного регулирования выходного напряжения автомобильного генератора, позволяющий продлить срок службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима;

- предложен метод разделения напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи и напряжения остальных потребителей электрической энергии;

- предложен метод широтно – импульсного регулирования уровня выходного напряжения для электропривода вспомогательного оборудования;

- разрабатываемые преобразователи параметров электрической энергии для всех без исключения систем электрооборудования автомобильной техники должны удовлетворять некоторым общим требованиям, они должны:

- иметь повышенный по сравнению со стандартной схемой построения электрооборудования коэффициент полезного действия;

- возможность включения преобразователя в систему автоматического регулирования;

- иметь повышенную точность поддержания заданных параметров;

- иметь достаточную надежность в эксплуатации;

- иметь возможность при минимальных доработках включения в микропроцессорную систему.

Задачами дальнейшего исследования следует считать разработку электрических схем адаптируемых преобразователей параметров электрической энергии, а также проведение экспериментальных исследований с целью проверки принципов совершенствования и методов работы систем

электрооборудования автомобильной техники с адаптируемыми преобразователями.

## **Глава 3 Теоретические основы проектирования систем электроснабжения с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии**

На основании требований к адаптируемым преобразователям параметров электрической энергии были разработаны некоторые конкретные схемы преобразователей, схемотехника построения которых и рассмотрена в данной главе.

### **3.1 Система электропуска двигателя внутреннего сгорания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии**

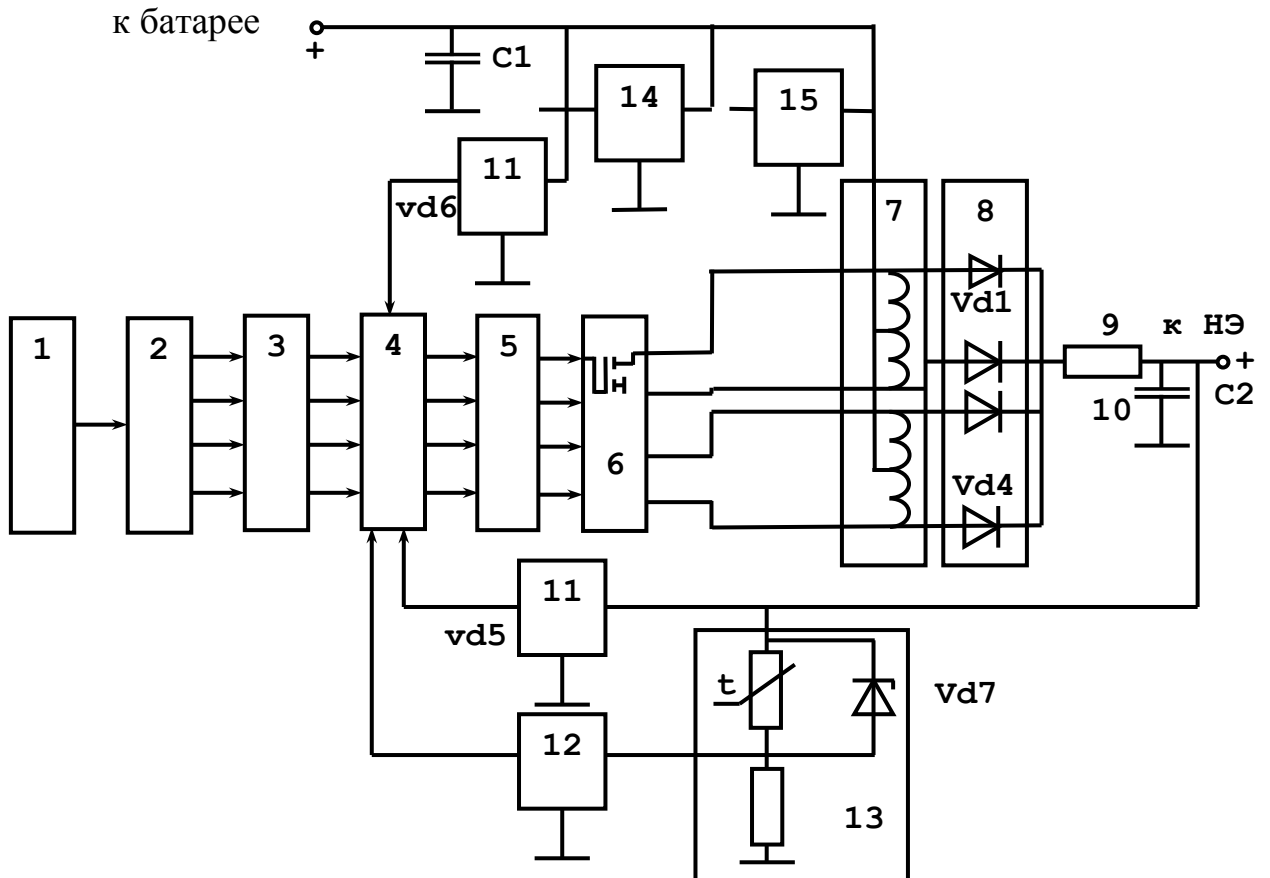
Как отмечалось во второй главе, в выходном каскаде в качестве силовых ключей лучше использовать полевые МДП - транзисторы (металл-диэлектрик-полупроводник) с индуцированным либо встроенным каналом, поскольку в настоящее время выпускаются полевые транзисторы с малым сопротивлением канала, а их входные цепи практически не потребляют энергии (она потребляется только на перезарядку входной емкости транзистора – несколько нФ).

Задача состоит в разработке схемы контроллера, обеспечивающего управление силовыми транзисторами преобразователя.

Функциональная схема разработанного контроллера показана на рисунке 3.1.

Работает устройство следующим образом. Переменное импульсное напряжение с генератора 1 поступает на формирователь четырехтактного сигнала, выполненный на D – триггерах, на выходах которого появляются последовательности импульсов, сдвинутые на  $\pi/2$  друг относительно друга, как показано на рисунке 3.2. Эти импульсы проходят через схему 3 формирования временного промежутка неперекрывания (мертвого времени – «dead time»), в течение которого силовые ключи закрыты (рисунок 3.2).

Логический блок 4 запрещает прохождение импульсов, если напряжение на накопителе энергии (НЭ) меньше нижнего либо выше верхнего порогов, определяемых мониторами минимального и максимального напряжений. Монитор минимального напряжения подключен и к выходу аккумуляторной батареи.



- 1 – генератор; 2 – формирователь четырехтактного сигнала; 3 – схема формирования временного промежутка; 4 – логический блок; 5 – усилители напряжения тактовых импульсов; 6 – выходные силовые ключи; 7 – трансформаторы; 8 – выпрямительные диоды Шоттки; 9 – ограничительное сопротивление; 10 – фильтрующие конденсаторы; 11 – монитор минимального напряжения; 12 – монитор максимального напряжения; 13 – термозависимый делитель напряжения; 14 – стабилизатор 5В; 15 – стабилизатор 9В.

Рисунок 3.1 – Функциональная схема контроллера

Все указанные выше функциональные блоки устройства питаются от напряжения 5 В, поступающего с выхода стабилизатора 14.

Четырехтактная последовательность импульсов с выхода логического блока 4 поступает на усилители 5 тактовых импульсов, повышающих напряжение импульсов до 9 В, что необходимо для надежного управления силовыми ключами на полевых транзисторах 6.

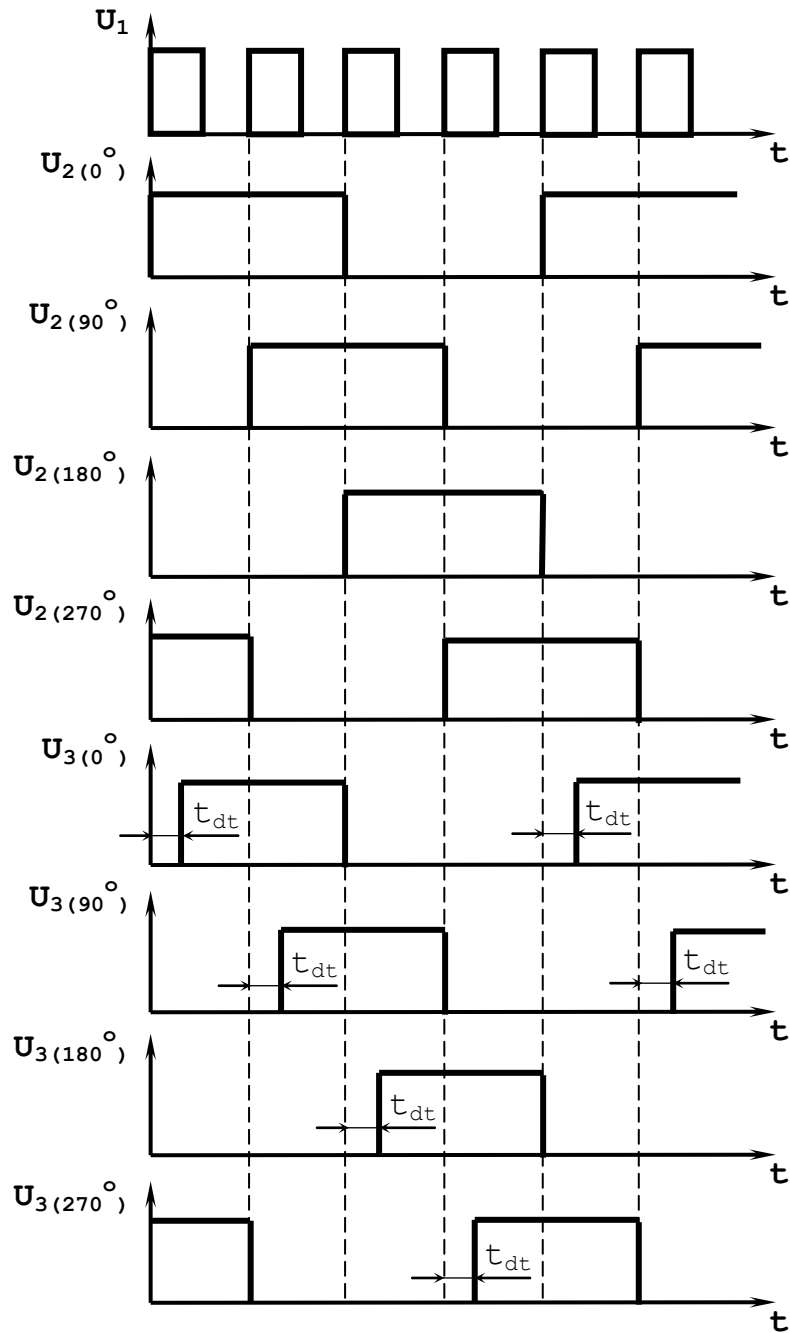
На выходах блока трансформаторов 7 (на стоках полевых транзисторов блока 6) во время каждого такта появляются импульсы напряжения, практически равные по амплитуде удвоенному напряжению аккумуляторной батареи. Эти импульсы выпрямляются блоком 8, и зарядный ток заряжает выходную фильтрующую емкость С2 10 и подключенную параллельно накопителю через ограничительный резистор 9 (0,1 Ом, 50 Вт), защищающий силовую часть схемы от перегрузки по току.

Напряжение с выходной емкости С2 поступает на мониторы минимального 11 и максимального 12 напряжений. Первый монитор минимального напряжения 11 формирует на выходе сигнал логического нуля, если напряжение на НЭ меньше 5 – 7 В (для 12 В бортовой сети). Порог срабатывания регулируется входным делителем напряжения монитора.

Уровень логического нуля с его выхода запрещает прохождение тактовых импульсов на выходные усилители 5 контроллера. Заряд НЭ при этом осуществляется через обмотки трансформаторов блока 7, диоды 8 и ограничительное сопротивление 9 постоянным током от аккумуляторной батареи. Индикация этого режима осуществляется светодиодом VD5.

После того, как напряжение на НЭ достигнет порогового значения, на выходе монитора устанавливается уровень логической единицы, разрешающий прохождение тактовых импульсов на входы силовых ключей.

Второй монитор минимального напряжения, подключенный к бортовой сети, по принципу действия ничем не отличается от первого, но подключен он к входу питания преобразователя. Необходимость его введения в схему обусловлена тем, что при меньших напряжениях на затворах полевые транзисторы могут перейти в аналоговый режим, при этом резко возрастет мощность на их стоках и преобразователь выйдет из строя.



- 1 – напряжение на выходе генератора;  
 2 – напряжение на тактовых выходах четырехтактного формирователя;  
 3 – напряжение на выходах схемы формирования разрыва между импульсами такта (dead time).

Рисунок 3.2 – Временные диаграммы работы контроллера

Монитор максимального напряжения 12 работает совместно с термозависимым делителем напряжения 13. До достижения напряжения на НЭ, рав-

ного сумме напряжения пробоя стабилитрона VD7 и порогового напряжения микросхемы, коэффициент деления термозависимого делителя возрастает с уменьшением температуры терморезистора, что приводит к увеличению напряжения срабатывания монитора и появлению температурной зависимости выходного напряжения. Однако при достижении выходным напряжением преобразователя 15 – 17В (для бортовой сети 12В) стабилитрон VD7 пробивается и монитор максимального напряжения срабатывает, запрещая прохождение тактовых импульсов.

Окончание заряда НЭ индицируется светодиодом VD 6, после начала свечения которого можно осуществлять пуск ДВС. Схемы мониторов 11 и 12 имеют гистерезис по напряжению около 0,5 В, обусловленный наличием в схемах положительной обратной связи, что исключает срабатывание по напряжению наводок.

Силовые ключи устройства выполнены на транзисторах JRF 3205, каждый из которых обеспечивает ток 55 А, диоды Шоттки – сдвоенные типа КД238.

Стабилизаторы питания микросхем контроллера выполнены на микросхемах 142 серии (КРЕН 5А - стабилизатор 5 В и КРЕН 8А - стабилизатор 9 В). Контроллер выполнен на микросхемах 561 серии (561ЛН2 и 561ТМ2). Принципиальная электрическая схема контроллера приведена на рисунке в приложении.

Основные результаты теоретического анализа системы пуска двигателя внутреннего сгорания от импульсной системы электропуска с емкостным накопителем энергии и разработки принципиальной схемы преобразователя напряжения опубликованы в работах [150 - 175].

Отметим, что расчет максимального напряжения, до которого следует зарядить накопитель энергии, на практике крайне затруднен тем, что как максимальный, так и средний моменты сопротивления прокручиванию определяются не только температурой окружающей среды и маркой ДВС, но и его степенью изношенности, вязкостью залитого масла. Следовательно,



необходимо устройство, которое самостоятельно определяло бы до какого напряжения следует заряжать накопитель энергии и при какой температуре масла (в случае использования предпускового подогревателя или ЭФУ) возможен пуск. Идея возможной реализации подобного устройства предложена в работе [153]. Непосредственно перед пуском емкостной накопитель энергии заряжается через адаптивный преобразователь параметров электрической энергии, параллельно с зарядом накопителя производится прогрев двигателя и, как только температура масла в картере двигателя достигнет определенной величины, разомкнутся контакты биметаллического датчика температуры, подогреватель при этом отключается и автоматически производится пуск ДВС. Более простой вариант схемы преобразователя напряжения предложен в работе [161], а вариант схемы мощного импульсного преобразователя напряжения для заряда емкостных накопителей - в работе [159]. Преимуществом рассмотренного ранее импульсного преобразователя является приближенный автоматический учет зависимости момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала ДВС от температуры.

### **3.2 Система зажигания двигателя внутреннего сгорания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии**

Для системы зажигания были разработаны два преобразователя параметров электрической энергии – адаптивный повышающий преобразователь для режима пуска ДВС и адаптивный преобразователь, поддерживающий постоянный коэффициент запаса на всех режимах работы ДВС.

Как отмечалось в предыдущих главах, для обеспечения бесперебойного искрообразования во время пуска для любой системы зажигания следует изменять напряжение питания.

Подобное непрерывное изменение можно осуществить, если применить в соответствии с принципами построения электрооборудования, предложенными в настоящей работе такой преобразователь параметров напряже-

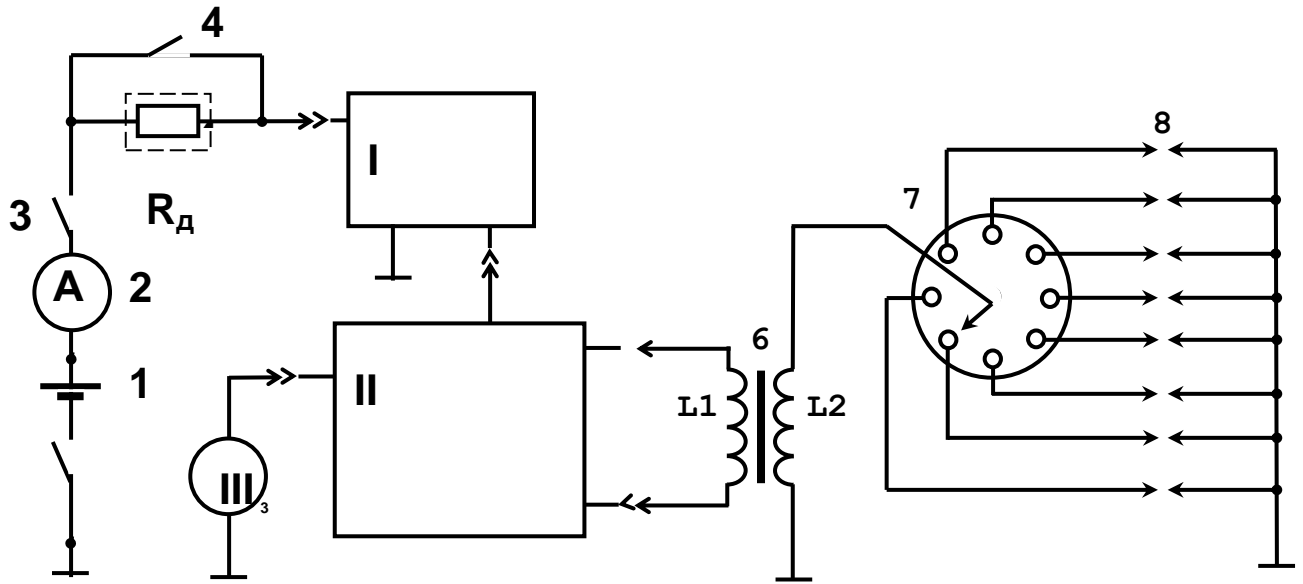
ния, который вместе с системой зажигания был бы включен в общую систему автоматического регулирования, что можно сделать, например, по схеме, показанной на рисунке 3.3, где  $I$  - преобразователь напряжения. При снижении напряжения бортовой сети, преобразователь повышает напряжение системы зажигания, восстанавливая его до значения, при котором обеспечивается бесперебойное искрообразование.

Принципиальная электрическая схема преобразователя показана на рисунке 3.4, и работает устройство следующим образом. Если уровень напряжения на выходе схемы ниже 5,5В, то генератор импульсов, собранный на микросхеме DD1 не работает из-за низкого напряжения питания микросхемы.

Если входное напряжение превышает указанный выше порог, то генератор начинает работать на частоте около 5 кГц и импульсное напряжение с его выхода периодически коммутирует транзистор  $VT1$ .

Во время открытого состояния транзистора происходит заряд током катушки индуктивности  $L1$ , а при закрывании транзистора запасенная в индуктивности энергия через открывшийся диод  $VD1$  заряжает накопительный конденсатор  $C1$ . При следующем цикле открывания транзистора  $VT1$  диод закрывается, предотвращая разряд накопительного конденсатора  $C1$  через открывшийся транзистор  $VT1$ .

Затем процесс повторяется, и напряжение на конденсаторе возрастает. Разряд накопительного конденсатора происходит через работающую систему зажигания (первичную цепь катушки зажигания и выходной ключ коммутатора). За счет применения повышающего преобразователя напряжения система зажигания питается повышенным, по сравнению с уровнем бортовой сети напряжением.



1 - аккумуляторная батарея, 2 - амперметр, 3 - выключатель зажигания, 4 - дополнительное сопротивление, 6 - катушка зажигания, 7 - распределитель, 8 - свечи зажигания, I – преобразователь напряжения, II – коммутатор, III – датчик импульсов.

Рисунок 3.3 – Система зажигания с повышающим преобразователем параметров электрической энергии

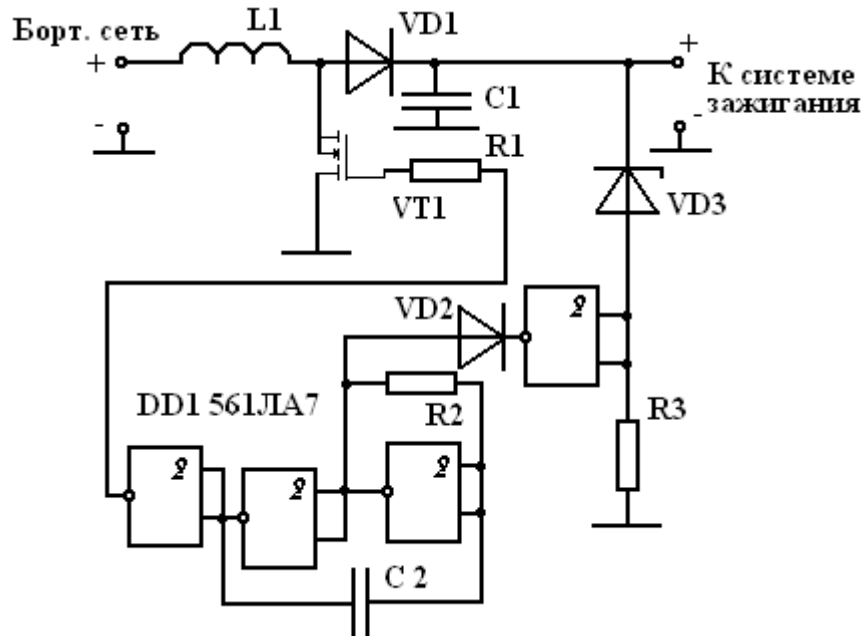


Рисунок 3.4 – Принципиальная электрическая схема повышающего преобразователя параметров электрической энергии

Как уже отмечалось ранее, при превышении выходным напряжением преобразователя уровня около 10В (для 12В бортовой сети) преобразователь следует отключить, с целью исключения перегрузки аппаратов системы зажигания.

Для реализации данного условия в схему включен стабилитрон *VD3*, напряжение пробоя которого в сумме с пороговым напряжением микросхемы *DD1 561ЛА7* и составляет указанную выше величину. После пробоя стабилитрона генератор перестает генерировать импульсное напряжение и на его выходе устанавливается нулевой уровень напряжения.

Транзистор *VТ1* закрывается, и система зажигания напрямую питается от бортовой сети через индуктивность *L1* и диод *VD1*, при этом происходит не только повышение надежности работы системы зажигания, но и экономия ресурсов аккумуляторной батареи.

Как следует из главы 1, основным критерием, определяющим работоспособность системы зажигания, является коэффициент запаса по вторичному напряжению. Он не должен быть ниже некоторого заданного значения, но не должен и заметно превышать его, чтобы не возникало перегрузки цепей системы зажигания.

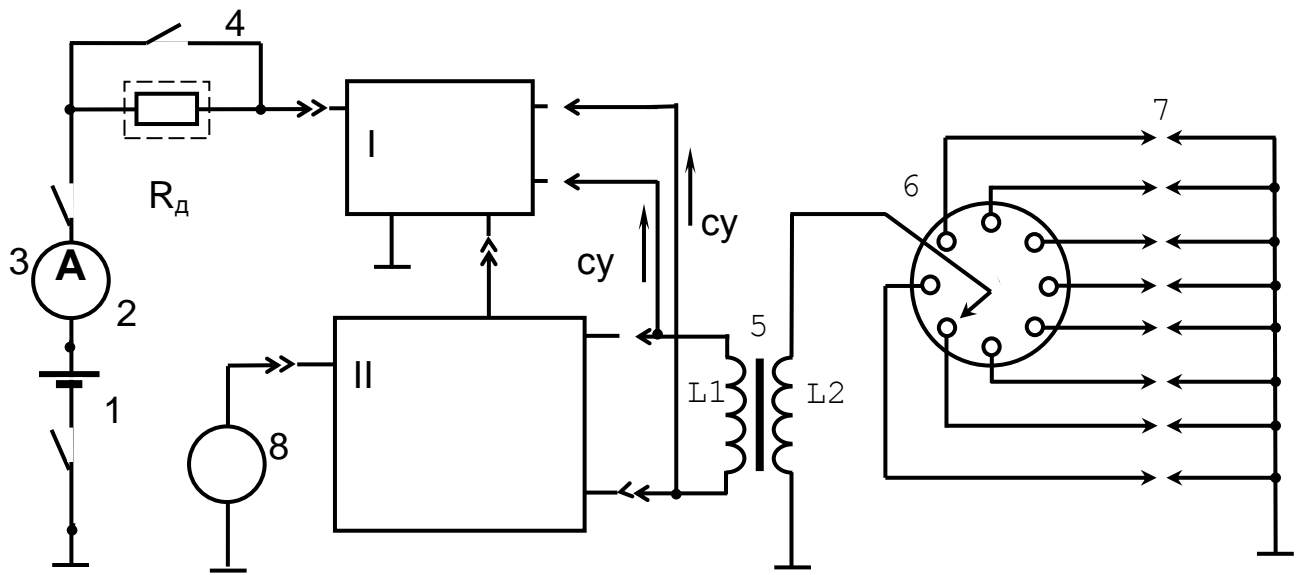
Если опираться на этот критерий, то можно найти более эффективный и простой путь решения рассматриваемых проблем. Он основан на схемотехнической привязке вторичного напряжения к заданному коэффициенту запаса по вторичному напряжению.

Для этого достаточно измерять пробивное напряжение, сравнивать его с вторичным напряжением и поддерживать их отношение постоянным.

Такая задача может быть решена, если ввести в систему зажигания датчики вторичного и пробивного напряжений, схему сравнения напряжений датчиков и регулируемый преобразователь напряжения.

Функциональная схема такого устройства показана на рисунке 3.5. Более подробная функциональная схема силового блока и блока управления системы зажигания с автоматическим поддержанием заданного коэффициента за-

паса напряжения представлена на рисунке 3.6, а его принципиальная схема на рисунке 3.7.



1- аккумуляторная батарея, 2 - амперметр, 3 - выключатель зажигания, 4 - дополнительное сопротивление, 5 - катушка зажигания, 6 - распределитель, 7 - свечи зажигания, 8 - датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя, су- сигнал управления, I - силовой блок и блок управления, II - коммутатор.

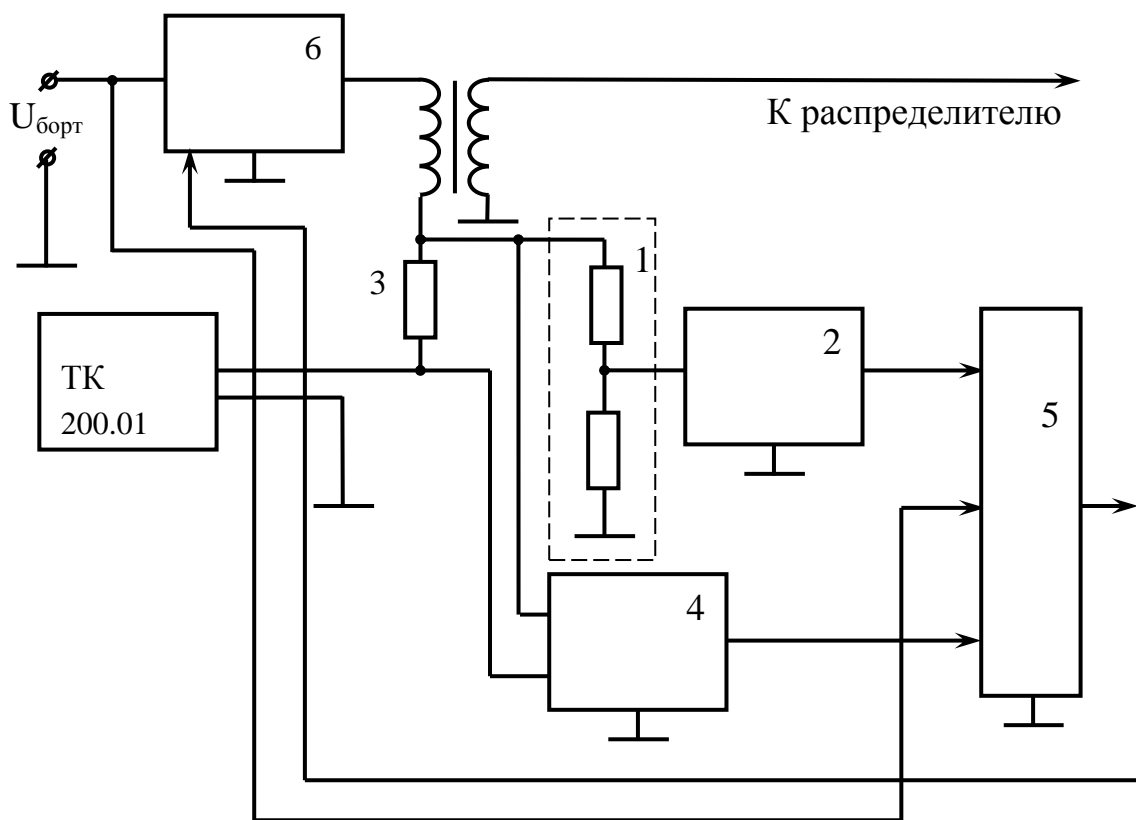
Рисунок 3.5 – Функциональная схема системы зажигания с автоматическим поддержанием коэффициента запаса

Датчик пробивного напряжения состоит из делителя напряжения 1, подключенного к первичной цепи катушки зажигания и первого пикового детектора 2 (рисунок 3.6).

Его работа основана на следующем. При размыкании контактов прерывателя (запирании силового ключа в случае применения электронного коммутатора) в первичной цепи возникает импульс напряжения, амплитуда которого в коэффициент трансформации раз меньше, чем во вторичной цепи. С другой стороны, амплитуда импульса во вторичной цепи определяется моментом, когда нарастание вторичного напряжения прерывается пробоем в свече зажигания.

Амплитуда импульса, возникающего в первичной цепи, уменьшается делителем напряжения 1 и выпрямляется пиковым детектором 2, уровень напряжения на выходе которого оказывается прямо пропорциональным напряжению пробоя межэлектродного промежутка свечи зажигания.

Датчик максимального вторичного напряжения содержит датчик тока первичной цепи 3 и пиковый детектор 4. Максимальное вторичное напряжение пропорционально току разрыва, протекающему в первичной цепи (см. раздел 1.6).



- 1 – делитель напряжения, 2 – первый пиковый детектор,  
 3 - датчик тока первичной цепи, 4 – второй пиковый детектор,  
 5 – схема сравнения, 6 – управляемый преобразователь напряжения.

Рисунок 3.6 – Функциональная схема силового блока и блока управления системы зажигания с автоматическим поддержанием коэффициента запаса

Датчиком тока первичной цепи является активное сопротивление (небольшого номинала), максимальное напряжение на котором пропорционально току разрыва. Это напряжение выпрямляется пиковым детектором 4.

Сравнение напряжений пиковых детекторов 2 и 4 происходит в схеме сравнения 5, выходной сигнал которой управляет работой мощного преобразователя напряжения 6. При этом с помощью импульсных преобразователей напряжения [120, 146, 176 - 183] можно достаточно просто реализовать *любой закон* изменения выходного напряжения в соответствии с опорным.

Для обеспечения требуемого коэффициента запаса на схему сравнения 5 заводится напряжение аккумуляторной батареи. Таким образом, осуществляется автоматическая регулировка тока разрыва, а, следовательно, и вторичного напряжения. Описанное построение схемы позволяет автоматически поддерживать необходимый коэффициент запаса за счет регулирования выходного напряжения преобразователя 6, питающего первичную цепь системы зажигания. Это позволяет компенсировать неконтролируемый уход параметров системы зажигания за счет режима работы двигателя, изменения температуры, износа свечей зажигания, временного дрейфа параметров системы зажигания и других переменных величин, изменение которых непредсказуемо. Таким образом, предлагается двухкомпонентная схема системы зажигания: в области пусковых частот – схема по рисунку 3.4, а в области рабочих – по рисунку 3.6. Переключение с одной схемы на другую осуществляется при штатной работе ключа зажигания.

В разработанных преобразователях используются мощные ключи на полевых транзисторах, что позволяет повысить коэффициент полезного действия устройства. Но, поскольку преобразуемые мощности для системы зажигания невелики, возможно использование более дешевых ключей на биполярных транзисторах без снижения надежности работы преобразователей. Отметим одну интересную особенность разработанного устройства – если пуск двигателя внутреннего сгорания осуществлять от емкостного накопителя энергии, то возможно в системе зажигания использовать только схему по рисунку 3.6. Поскольку электроснабжение систем пуска и зажигания оказывается разделенным, нагрузка на аккумуляторную батарею снижается, и в схеме зажигания оказывается возможным использовать только понижающий

преобразователь параметров электрической энергии, обеспечивающий постоянный коэффициент запаса.

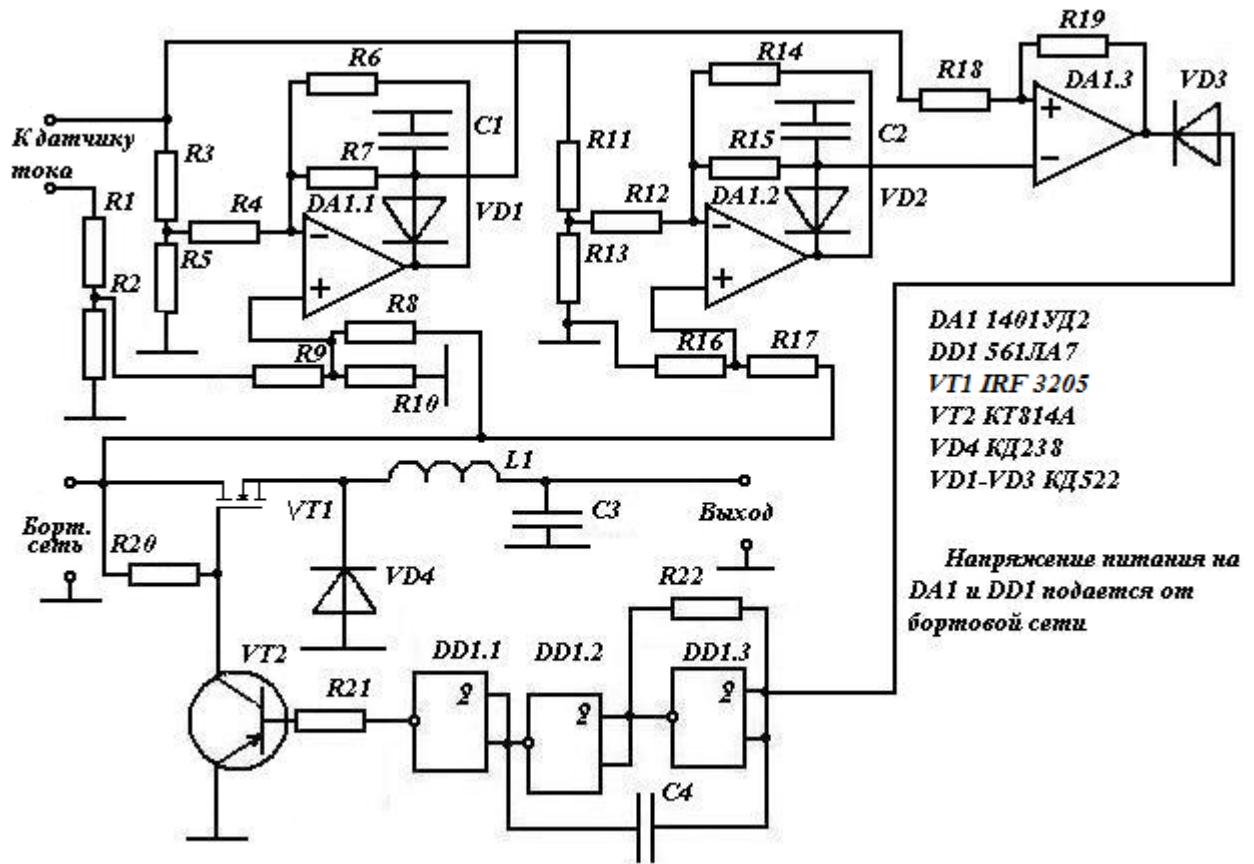


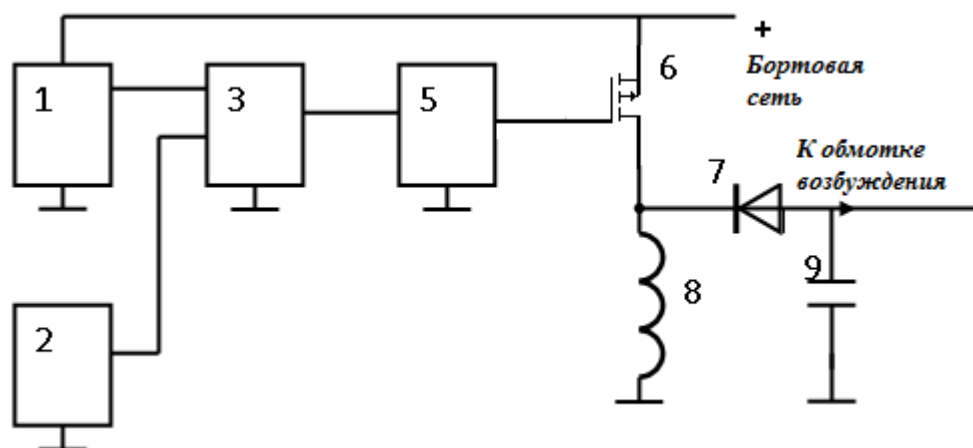
Рисунок 3.7 – Принципиальная электрическая схема преобразователя параметров электрической энергии для системы зажигания с постоянным коэффициентом запаса

### 3.3 Система электроснабжения автомобилей с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии

Как показано в предыдущих главах, для повышения коэффициента полезного действия и точности регулирования напряжения заряда аккумуляторной батареи в пределах  $13,9 \pm 0,1\text{В}$  (для 12В бортовой сети) необходимо использовать импульсное регулирование (при этом наблюдается повышение срока службы аккумуляторных батарей и улучшаются их пусковые возможности). Необходимо также учитывать температурный коэффициент напряжения.



Разработанная схема представлена на рисунке 3.8 и содержит узел более точного регулятора.



1 – измерительное звено, 2 - источник опорного напряжения, 3 – схема сравнения, 5 - высокочастотный мультивибратор – импульсный модулятор, 6 - силовой ключ, 7 - диод, 8 - катушка индуктивности, 9 - сглаживающий конденсатор

Рисунок 3.8 – Функциональная схема регулятора напряжения повышенной точности

В основе его работы лежит применение мощного силового ключа 6, катушки индуктивности 8, диода 7 и конденсатора 9. Измерительное звено 1 представляет собой делитель напряжения бортовой сети на двух последовательно включенных сопротивлениях.

Источник опорного напряжения 2 обычно выполняется в виде параметрического стабилизатора напряжения, состоящего из последовательно соединенных сопротивления и стабилитрона.

Схема сравнения 3 представляет собой разностный усилитель на операционном усилителе.

Управление ключом производится высокочастотным мультивибратором 5 – импульсным модулятором, который, в свою очередь, управляется от схемы сравнения опорного напряжения и напряжения бортовой сети.

Высокочастотный мультивибратор представляет собой типичный мультивибратор, выполненный на логических элементах, генерация которого срывается при поступлении на его вход управления логического нуля от схемы сравнения опорного напряжения и напряжения бортовой сети. Этот регулятор напряжения описан в работах [146, 184 - 191].

Мощный силовой ключ 6 на время импульса мультивибратора 5 открывается и через катушку индуктивности 8 течет ток. После запираания ключа 6 ток через катушку 8 продолжает течь в том же направлении и через диод 7 заряжает фильтрующий конденсатор 9, напряжение с которого и подается на обмотку возбуждения генератора.

Отметим, что из-за большой индуктивности обмотка возбуждения генератора является хорошим фильтром низких частот, ту же роль фильтра низких частот выполняет и конденсатор 9.

Такое построение схемы позволяет питать обмотку возбуждения практически постоянным током, пропорциональным разности между опорным напряжением и напряжением, снимаемым с измерительного звена и равным части напряжения бортовой сети.

Применение импульсного регулятора позволяет повысить точность поддержания напряжения бортовой сети. Однако оно не решает всех проблем, так как погрешности регулирования определяются не только работой силового ключевого каскада, но и источником опорного напряжения.

Мы уже отмечали важное обстоятельство, связанное с влиянием температуры, при которой работает аккумуляторная батарея. Простой расчет показывает, что у батареи, содержащей 6 аккумуляторов, при изменении температуры в подкапотном пространстве от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$  при температурном коэффициенте напряжения  $\sim 2 \cdot 10^{-4}$  В/К возможное изменение ЭДС полностью заряженной 12 вольтовой аккумуляторной батареи составляет  $\sim 0,15$  В.

В разделе 2.3 уже была рассмотрена схема источника опорного напряжения (рисунок 2.12), которая при настройках, отличных от общепринятых, позволяет плавно регулировать температурный коэффициент напряжения, в пределах, включающих ТКН заряженной аккумуляторной батареи.

В основе работы описанной схемы лежит разность напряжений между прямосмещенными р-п-переходами, однако она весьма мала ( $\sim 20\text{мВ}$ ) и поэтому требует применения дорогого прецизионного операционного усилителя.

Возможно и другое решение поставленной задачи компенсации температурной зависимости полностью заряженной аккумуляторной батареи. В том же разделе 2.3 предложен способ, основанный на предположении о том, что напряжение на диоде при прямом включении линейно зависит от температуры.

Доказательства этого факта получены при экспериментальных исследованиях, представленных в следующей главе, а принципиальная электрическая схема, реализующая необходимый ТКН, приведена на рисунке 3.9.

Из (2.73) видно, что, изменяя ток прямосмещенного р-п перехода подстроечным сопротивлением, можно регулировать крутизну температурной зависимости  $S_I$  и, соответственно, получить требуемый температурный коэффициент напряжения для разностного напряжения  $\Delta U$ .

В разработанной схеме [146, 192 - 196], показанной на рисунке 3.9, это напряжение усиливается с помощью операционного усилителя и является выходным напряжением источника опорного напряжения, которое сравнивается с частью напряжения бортовой сети. В результате сравнения вырабатывается напряжение, управляющее импульсным – регулятором, показанным на рисунке 3.8.

Меняя ток прямосмещенного р-п перехода, можно регулировать крутизну температурной зависимости  $S_I$  и установить такой температурный коэффициент  $\Delta U$ , который соответствует температурному коэффициенту ЭДС полностью заряженной аккумуляторной батареи. Поэтому разность между выходным напряжением схемы и частью ЭДС батареи становится темпера-

турно-независимой.

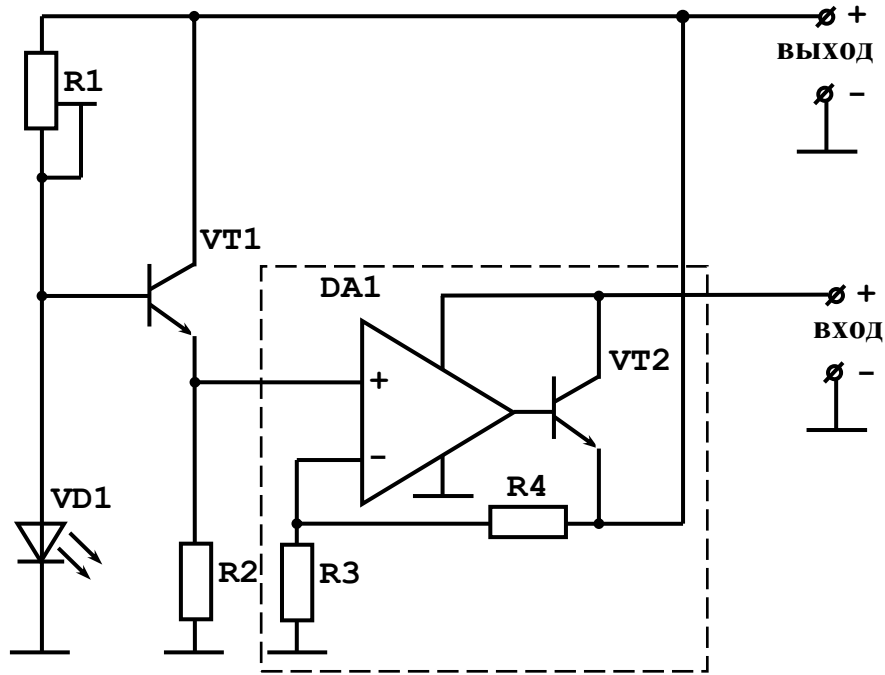


Рисунок 3.9 - Источник опорного напряжения с использованием различия в ширине запрещенной зоны полупроводников

С целью повышения стабильности схемы выходное напряжение используется для питания каскада выделения разностного напряжения. Тем самым регулятор (по рисунку 3.8) обеспечивает близкую к 100 %-ной заряженность аккумуляторной батареи при любой ее рабочей температуре.

Реализация необходимого ТКН требует и соответствующих инженерных решений. Обычно регулятор напряжения стремятся установить на генераторе [4, 23, 197, 198]. Возможно, что с конструктивной точки зрения это и удобно, однако, как ясно из изложенного, датчик температуры, т.е. транзисторы VT1 и VT2 в составе микросборки (по рисунку 2.12) либо диод VD1 и транзистор VT1 (по рисунку 3.9) должны иметь температуру, близкую к температуре электролита. С этой целью источники опорного напряжения следу-

ет располагать между стенкой аккумулятора и общим корпусом аккумуляторной батареи (рисунок 3.10) [199].

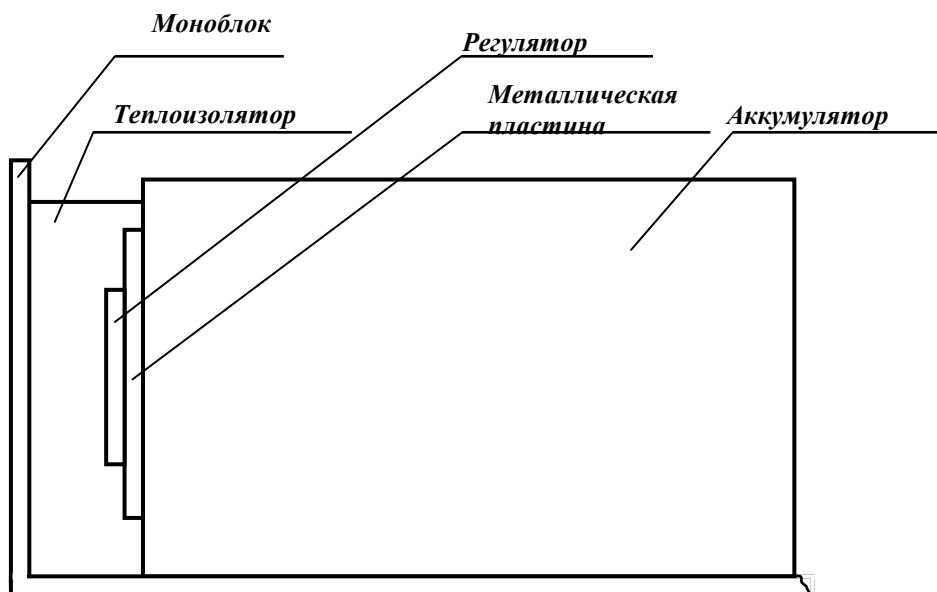


Рисунок 3.10 - Установка источника опорного напряжения

Во время пуска генератор играет, скорее, отрицательную роль. Пуску двигателя он никак не способствует, а только служит дополнительной нагрузкой для аккумуляторной батареи, причем нагрузка эта двойная.

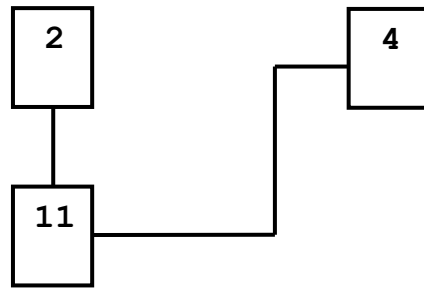
Во-первых, довольно значительный ток ( $\sim 4$  А) потребляет обмотка возбуждения.

Во-вторых, генератор создает дополнительный момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала двигателя, с которым связан вал генератора. Этот момент обусловлен не только трением в подшипниках вала генератора, но и электромагнитными силами. Отсюда следует, что на время пуска ДВС ток в цепи возбуждения следует отключать.

Реализовать это требование можно, дополнительно включив в разработанную схему регулятора напряжения датчик 13 частоты вращения коленчатого вала ДВС и частотный компаратор 12, как показано на рисунке 3.11.







2 – источник опорного напряжения; 4 – логический блок; 11 – компаратор

Рисунок 3.13 – Фрагмент схемы регулятора напряжения, реализующий функцию отключения заряда батареи при повышенных температурах

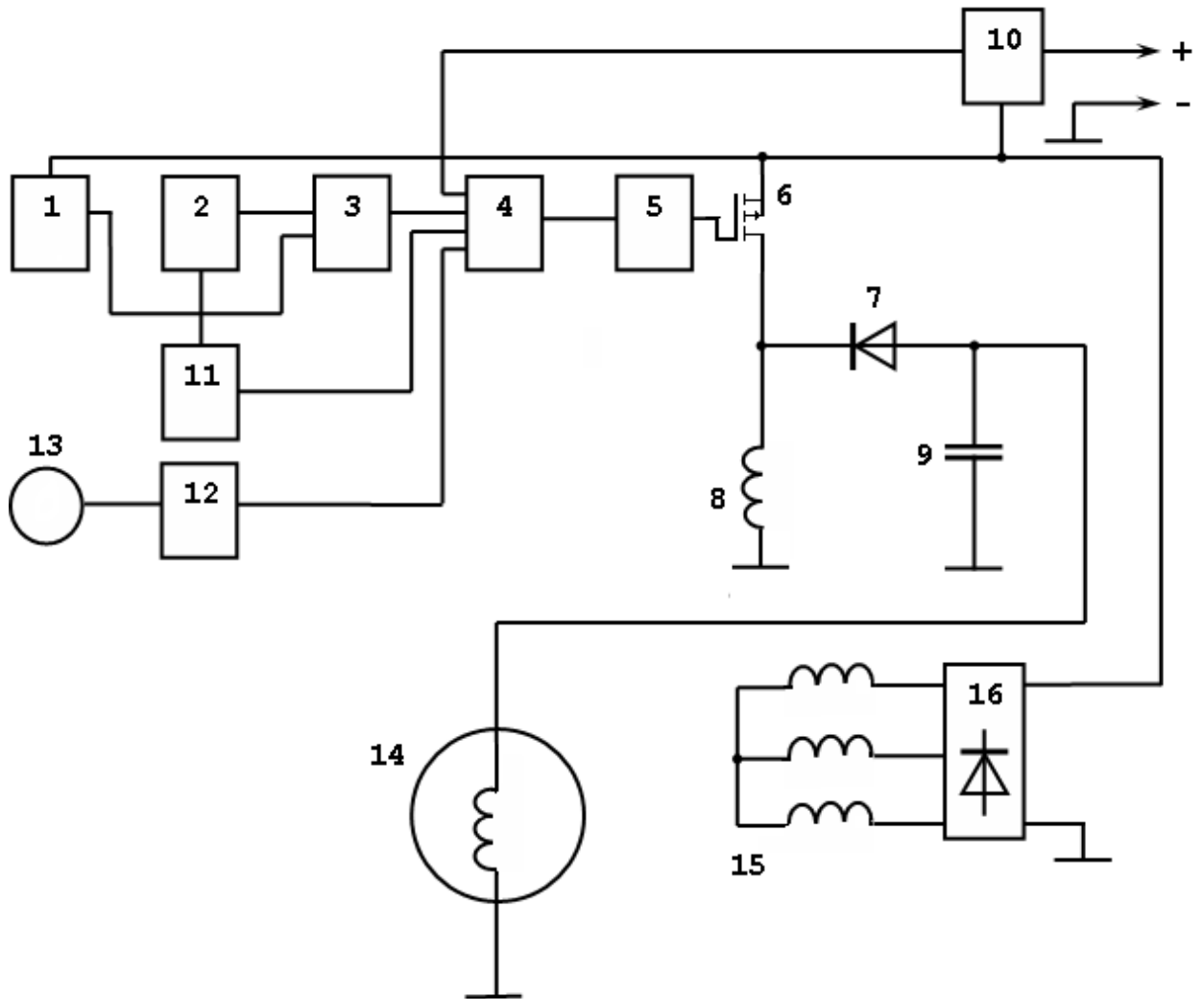
На рисунке 3.14 представлена полная функциональная схема импульсного регулятора напряжения, реализующего как основные, так и описанные выше дополнительные функции.

Импульсный регулятор напряжения состоит из измерительного звена 1, содержащего резистивный делитель напряжения бортовой сети автомобиля, напряжение с выхода которого поступает на первый вход схемы сравнения 3. На второй ее вход подается напряжение от источника опорного напряжения 2.

Выходное напряжение схемы сравнения 3, имеющее уровень логического нуля либо логической единицы в зависимости от результата сравнения, поступает на второй вход логического блока 4.

На третий вход логического блока 4 подается напряжение с датчика тока нагрузки 10, а на четвертый – с компаратора 11.





1 - измерительное звено, 2 - источник опорного напряжения, 3 - схема сравнения, 4 - логический блок, 5 - высокочастотный мультивибратор, 6 - мощный силовой ключ, 7 - диод, 8 - катушка индуктивности, 9 - конденсатор, 10 - датчик тока нагрузки, 11 - компаратор напряжения, 12 - частотный компаратор, 13 - датчик частоты вращения коленчатого вала ДВС

Рисунок 3.14 – Функциональная схема импульсного регулятора напряжения

Стабилизатор реализует все указанные выше функции и выполнена на основе современной элементной базы в одном корпусе небольших размеров.

Как было показано выше, для реализации предложенного во второй главе метода разделения напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи и напряжения питания остальных потребителей электрической энергии.

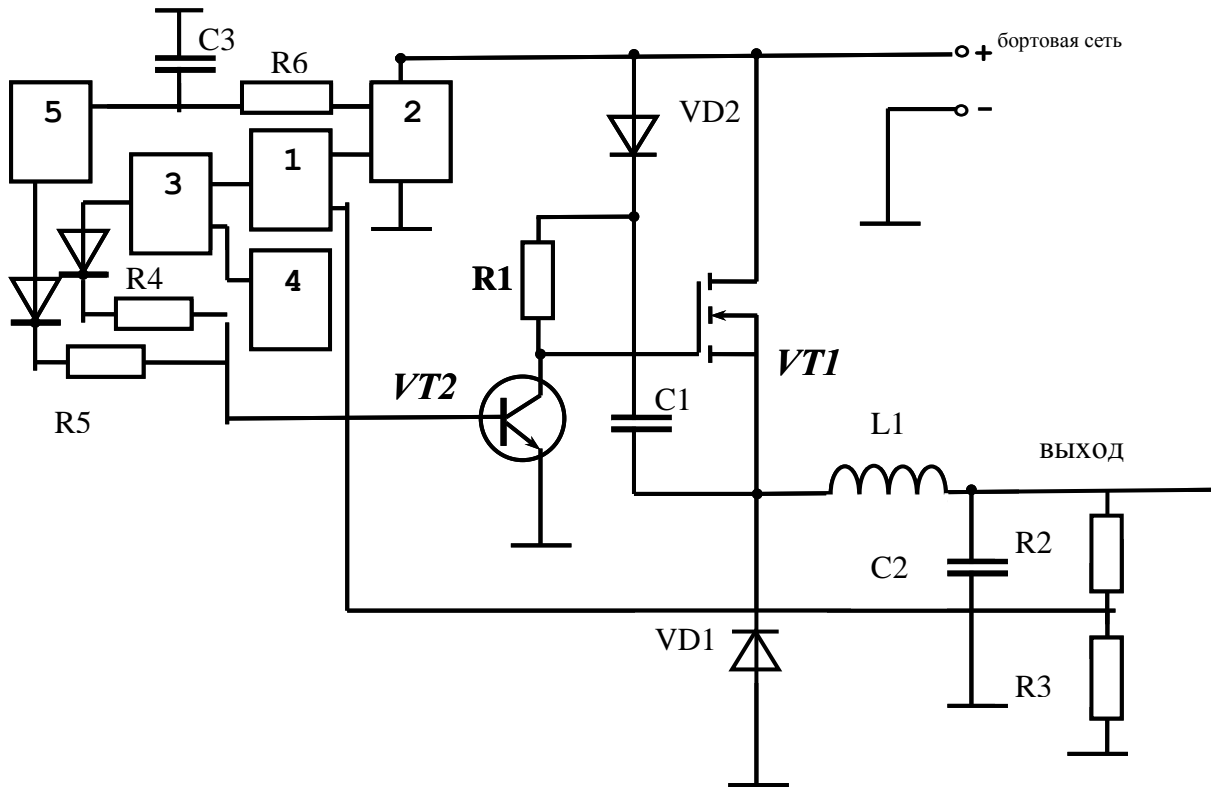
Следовательно, необходимо разработать высокоточный источник вторичного электропитания (ИВЭП), преобразующий уровень напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи в напряжение стабильного уровня для питания остальных потребителей электрической энергии.

Напряжение на выходе стабилизатора (ИВЭП) должно быть постоянным, что необходимо для питания ламп накаливания, входящих в систему освещения. Следует отметить особые требования, предъявляемые к такому стабилизатору: стабильность выходного напряжения не ниже  $\pm 0,1$  В и значительный отдаваемый ток (до 50 А), что обусловлено температурной и временной зависимостями сопротивления нитей накала ламп.

Импульсный стабилизатор, преобразующий напряжение, поступающее от генератора для заряда батареи, в напряжение, оптимальное для питания других потребителей, имеет функциональную схему, представленную на рисунке 3.15.

Стабилизатор преобразует входное напряжение 13 – 15В в выходное напряжение  $12 \pm 0,1$ В при коэффициенте полезного действия около 80 %. Применение современных МОП транзисторов с индуцированным каналом n-типа позволяет получить выходной ток стабилизатора около 40 – 50А, которого вполне достаточно для питания всех автомобильных ламп накаливания, да и не только их.

Работает устройство следующим образом. Выходное напряжение поступает на делитель на сопротивлениях  $R_2$ ,  $R_3$  и с него – на усилитель 1, на второй (неинвертирующий) вход которого подается напряжение с источника опорного напряжения 2.



- 1 – усилитель; 2 – источник опорного напряжения;  
 3 – компаратор; 4 - генератор пилообразного напряжения;  
 5 – схема задержки

Рисунок 3.15 - Функциональная схема импульсного стабилизатора

Напряжение ошибки, пропорциональное разности между опорным и частью выходного напряжений, с выхода усилителя 1 поступает на первый вход компаратора 3. На второй вход компаратора 3 подается напряжение с генератора пилообразного напряжения 4 частотой около 10 кГц.

В зависимости от соотношения между этими напряжениями и формируется выходное напряжение компаратора, управляющее маломощным ключом  $VT2$ , при закрывании которого открывается силовой МОП транзистор  $VT1$ . Так формируется сигнал широтно - импульсной модуляции, управляющий работой мощного ключа  $VT1$ .

Для надежного открывания n-канального МОП транзистора с индуцированным каналом  $VT1$  напряжение на его затворе должно превышать напряжение на истоке, как было показано ранее, на  $\sim 7\text{В}$ . С целью получения такого напряжения используется своеобразная схема «вольтодобавки». При закрытом транзисторе  $VT1$  ( $VT2$  открыт) конденсатор  $C1$  заряжается (по цепи  $VD2 - C1 - L1$  - сопротивление нагрузки - корпус) до напряжения бортовой сети.

Если после заряда  $C1$  транзистор  $VT2$  закрывается, то  $VT1$  открывается и напряжение на нижнем по схеме выводе  $C1$  возрастает. Поскольку напряжение на емкости не может измениться мгновенно, то напряжение на верхнем по схеме выводе  $C1$  также увеличивается практически до удвоенного входного напряжения. Так как  $VT2$  при этом закрыт, то ток через  $R1$  практически отсутствует и напряжение на затворе  $VT1$  равно удвоенному напряжению бортовой сети, что обеспечивает надежное его открывание. Диод  $VD2$  предотвращает быстрый разряд конденсатора в бортовую сеть.

Схема задержки включения преобразователя, выполненная на компараторе 5, обеспечивает паузу порядка 0,1 с, которая необходима для первоначального заряда конденсатора  $C1$ .

При открытом  $VT1$  происходит заряд конденсатора  $C2$  через индуктивность  $L1$  и напряжение на нагрузке возрастает. Когда оно достигает уровня, близкого к номинальному напряжению, усилитель 1 переходит в линейный режим и начинает работать цепь формирования широтно-модулированного сигнала. На затворе  $VT1$  появляются импульсы, длительность которых уменьшается с увеличением выходного напряжения (хотя период остается постоянным), и время, на которое выходной конденсатор  $C2$  через индуктивность  $L1$  и транзистор  $VT1$  подключается к бортовой сети, уменьшается. При этом уменьшается заряд, получаемый конденсатором  $C2$  за один период ШИМ сигнала, и выходное напряжение стабилизатора, снимаемое с этого конденсатора (определяется балансом между полученным за период зарядом

и зарядом, ушедшим в сопротивление нагрузки) стремится к динамическому равновесию.

Диод  $VD1$  необходим для замыкания цепи тока через индуктивность  $LI$  во время отсутствия импульса и предотвращения появления импульса ЭДС самоиндукции, способного вывести из строя электронные компоненты схемы.

При увеличении сопротивления нагрузки длительность открытого состояния  $VT1$  уменьшается, а при его уменьшении – возрастает. В результате происходит стабилизация напряжения на сопротивлении нагрузки. Величина стабилизированного напряжения подстраивается подбором коэффициента деления делителя  $R2, R3$ .

Остается открытым вопрос об источнике опорного напряжения. С одной стороны, он должен обеспечить для регулятора напряжения небольшой отрицательный температурный коэффициент, а с другой – для питания ламп головного света ТКН должен быть близким к нулю. Пример источника опорного напряжения для реализации такого двухуровневого регулятора – стабилизатора показан на рисунке 3.16.

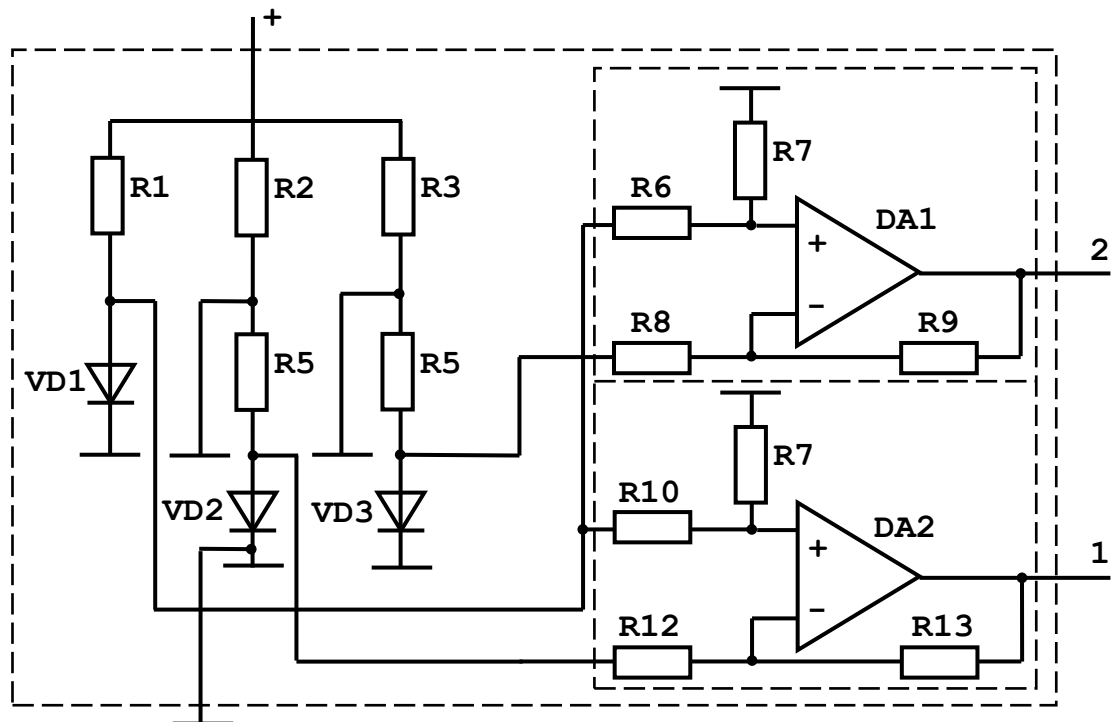


Рисунок 3.16 – Источник опорного напряжения для двухуровневого регулятора–стабилизатора.

В этой схеме напряжения выходов 1 и 2 используются как опорные, причем на первом выходе устанавливается нулевой температурный коэффициент напряжения за счет регулировки тока через диод на основе узкозонного полупроводника 19, а на втором – небольшой отрицательный – за счет регулировки тока через диод 20 на основе узкозонного полупроводника. Первый выход используется как опорный для схемы стабилизатора, а второй – для схемы регулятора.

При подобном построении схемы весьма просто реализуется режим плавного включения ламп накаливания головного света, который необходим для продления их срока службы. Для его реализации достаточно в момент включения ламп головного света обеспечить резкое уменьшение напряжения источника опорного напряжения до нуля с последующим плавным его нарастанием в течение  $\sim 0,2$  с до номинального значения. Для этого возможно подключение транзисторного ключа, шунтированного конденсатором, между неинвертирующим входом  $DA2$  и общим проводом. При замыкании ключа выходное напряжение операционного усилителя равно нулю, а после его размыкания плавно возрастет до номинального за счет медленного заряда конденсатора через сопротивления  $R10$  и  $R7$ .

В системе световой сигнализации лампы накаливания, применяемые в указателях и повторителях поворота, включаются периодически с частотой около 2 Гц, что резко снижает срок их службы. По этой причине наиболее важным плавное включение света оказывается именно для этой системы. Применение источника опорного напряжения, схема которого показана на рисунке 3.17, позволяет реализовать подобный режим.

При поступлении от ключа (например, от контактов реле) напряжения на вход источника на его выходе напряжение плавно возрастает до номинального за время, порядка нескольких сотен миллисекунд. Применение стабилизатора по схеме рисунка 3.15 позволяет в этом случае получить закон изменения напряжения на лампах накаливания аналогичный закону изменения опорного напряжения, что положительно влияет на их срок службы.

Отметим, что при построении подобной схемы не требуется очень мощный полевой транзистор, поскольку мощность указанных ламп невелика (2x21 и 5 Вт – указатели и повторитель поворота соответственно). Основные результаты как теоретических, так и экспериментальных исследований опубликованы в работах [146, 147, 184 -196, 199 - 201].

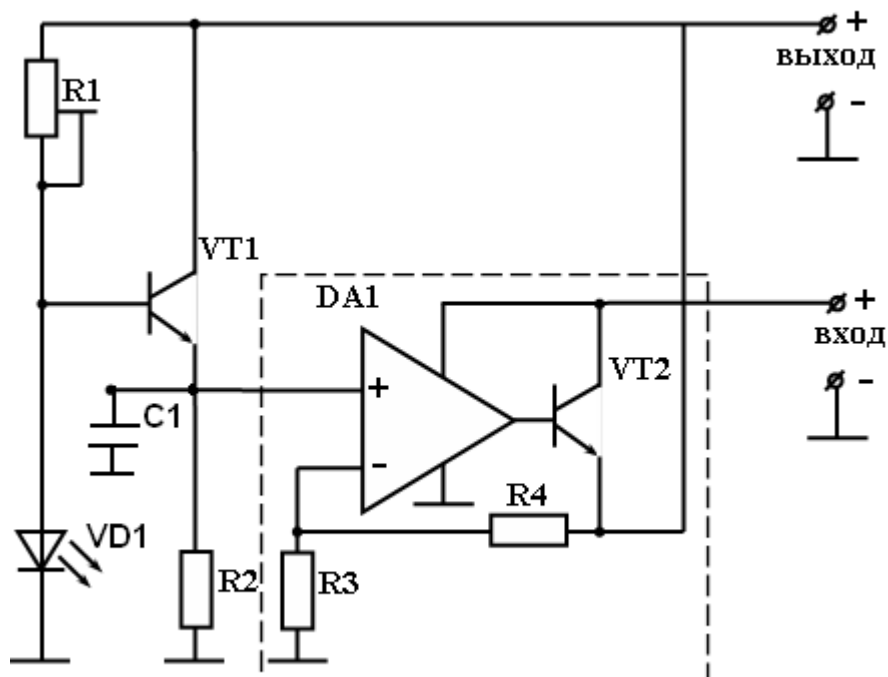


Рисунок 3.17 – Принципиальная электрическая схема источника опорного напряжения для сигнальных ламп указателя поворота автотранспортного средства

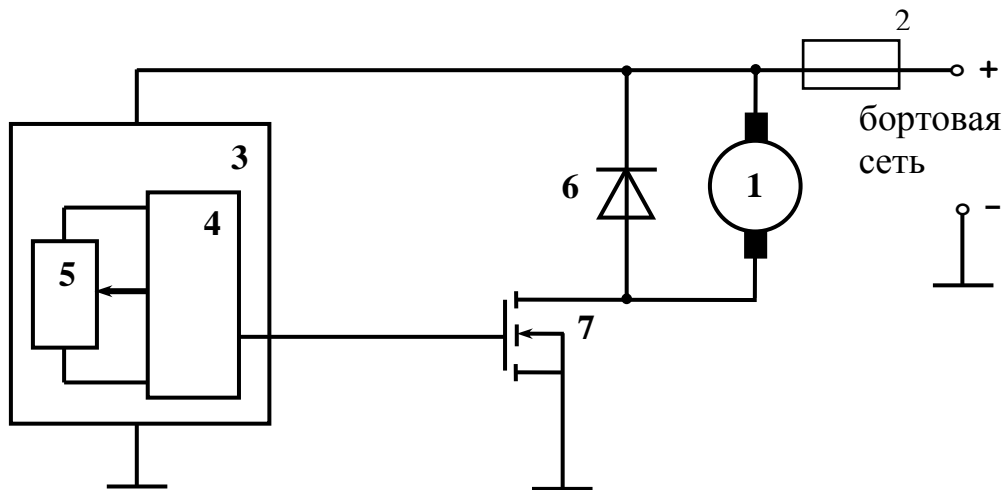
### 3.4 Система электропривода вспомогательного оборудования автомобилей с адаптивными преобразователями электрической энергии

Как отмечалось выше, в электропривод вспомогательного оборудования входят системы стекло- и фарочистки, охлаждения двигателя внутреннего сгорания, стеклоподъема, вентиляции и отопления салона. Проведем

разработку схем адаптивных преобразователей параметров электрической энергии для электропривода указанных систем с учетом требований, сформулированных во 2 главе.

Как было показано выше, преобразователи следует выполнять по принципу широтно-импульсной модуляции, рассмотренному ранее. В основе импульсного преобразователя системы электропитания должен лежать импульсный преобразователь постоянного напряжения в переменное (DC/AC – конвертер) с частотой преобразования ШИМ-модулятора около 5-10 кГц, в силу требований, рассмотренных во второй главе.

Функциональная схема устройства, реализующего описанный выше принцип регулирования с помощью широтно – импульсной модуляции, представлена на рисунке 3.18 [14, 202, 203].



1 - электродвигатель, 2 – электрический предохранитель,  
3 – схема широтно-импульсной модуляции, 4 - широтно-импульсный модулятор, 5 - переменное регулирующее сопротивление, 6 – диод,  
7 – силовой ключ (транзистор)

Рисунок 3.18 – Импульсный регулятор скорости вращения якоря электродвигателя

Работает оно следующим образом. При перемещении движка переменного регулирующего сопротивления 5 изменяется скважность (коэффициент заполнения) импульсов на выходе широтно-импульсного модулятора 4 и, со-



ответственно, на выходе схемы 3 широтно-импульсной модуляции (частота генерации при этом не изменяется). Выход схемы 3 соединен с входом управления силового ключа (транзистора) 7, который под действием ШИМ сигнала периодически открывается. При этом минусовый вывод электродвигателя 1 кратковременно соединяется с минусовой шиной.

При закрытом силовом ключе 7 цепь электродвигателя 1 размыкается (диод 6 необходим для защиты силового ключа 7 от ЭДС самоиндукции, возникающей в обмотке электродвигателя 1 при его коммутации).

Как отмечалось выше, применение ШИМ по такой схеме позволяет существенно снизить мощность рассеивания на регулирующем элементе схемы, особенно если в качестве такого элемента применить мощный полевой транзистор (например, КП723А - сопротивление канала  $R_k \sim 0,03 \text{ Ом}$ ). Однако, появились данные о разработке мощных транзисторов с сопротивлением канала не более  $0,001 \text{ Ом}$ , что на 1,5 порядка позволит снизить рассеиваемую мощность. При открытом транзисторе мощность рассеивания на транзисторе невелика из-за небольшого напряжения на канале, а при закрытом транзисторе - из-за малого протекающего через него тока. В случае коротких переднего и заднего фронтов импульсов ( $\sim 10 \text{ нс}$ ) мощность, рассеиваемая при переключениях также невелика и коэффициент полезного действия составляет не менее 80 %.

Недостаток данной схемы состоит в следующем: нижний по схеме вывод электродвигателя 1 приходится отключать от «массы», что усложняет требования к монтажу устройства на автомобиле. Действительно, для выполнения этой операции, например, в системе вентиляции и отопления салона приходится производить практически полный демонтаж системы вентилятор – радиатор отопителя и частичный – трубопроводов воздушного потока, что требует значительных трудозатрат.

Действительно, «нижний» по схеме вывод двигателя подключен, как обычно, к корпусу автомобиля. В таком случае коммутирующий элемент

(полевой транзистор) должен быть подключен к верхнему выводу двигателя по фрагменту схемы, показанному на рисунке 3.19.

В случае, когда двигатель постоянного тока (ДПТ) работает, транзистор открыт. На рисунке 3.20 показана проходная характеристика полевого транзистора с каналом п-типа, из которой следует, что для надежного обеспечения открытого состояния транзистора напряжение между его затвором и истоком  $U_{зи}$  должно быть  $\geq 7 - 8$  В [204]. Однако напряжение на «верхнем» выводе двигателя и, соответственно, на истоке транзистора равно при этом напряжению бортовой сети. Возникает проблема получения на затворе более высокого по отношению к бортовой сети потенциала. Применение МОП транзисторов с каналом р-типа нежелательно из-за их более высокой стоимости. Отсюда и проблема реализации схемы по рисунку 3.18.

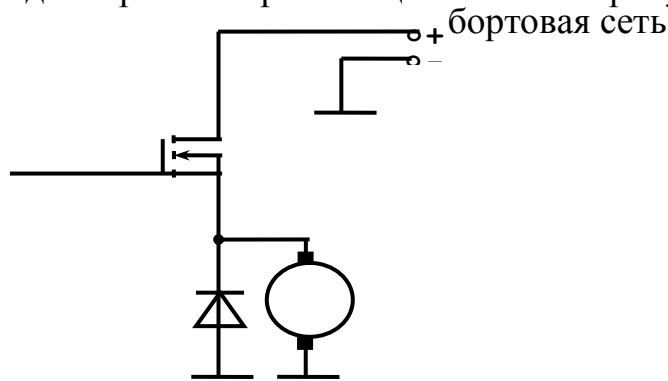


Рисунок 3.19 – Фрагмент схемы с электродвигателем, подключенным к корпусу автомобиля

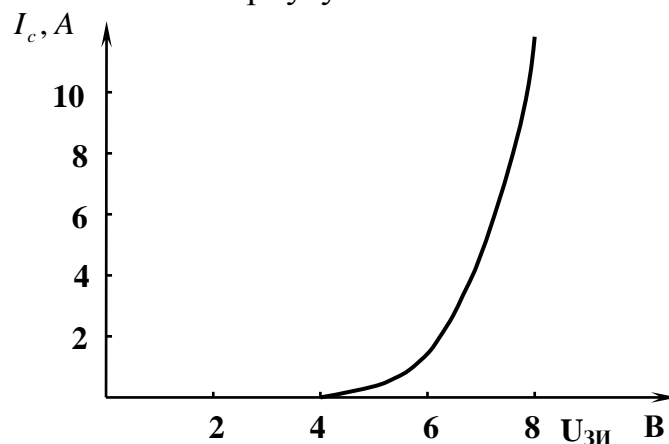


Рисунок 3.20 – Передаточная характеристика полевого транзистора с индуцируемым каналом п-типа

Чтобы выявленную проблему снять, нужно получить некоторую «вольтодобавку» к напряжению бортовой сети.

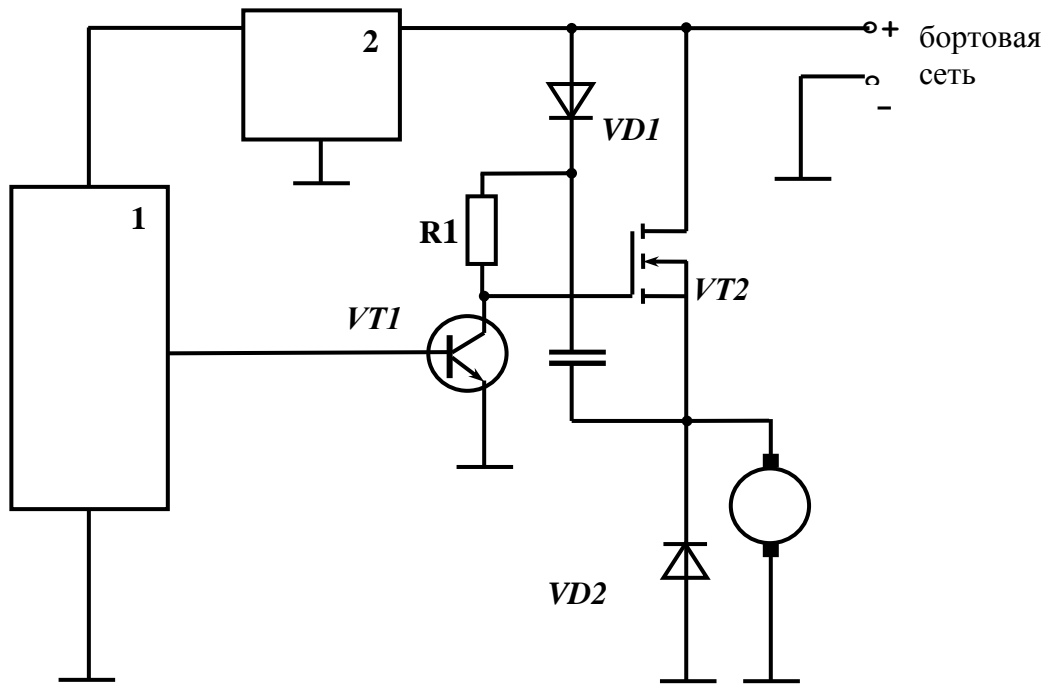
Решение, реализующее эту идею, аналогично примененному в схеме импульсного стабилизатора (рисунок 3.15) и представлено на рисунке 3.21.

При закрытом полевом транзисторе конденсатор  $C$  заряжается до напряжения бортовой сети через диод  $VD1$  и электродвигатель вентилятора. При поступлении импульса от схемы 1 ШИМ через усилитель на транзисторе  $VT1$  на затвор полевого транзистора  $VT2$  он начинает открываться, напряжение на электродвигателе вентилятора (истоке транзистора  $VT2$ ) возрастает и, следовательно, будет повышаться потенциал на нижнем по схеме выводе конденсатора  $C$ .

Напряжение на емкости не может измениться мгновенно, поэтому возрастает потенциал и на верхнем по схеме выводе  $C$ ., следовательно, напряжение на усилителе  $VT1$  увеличивается практически до удвоенного напряжения бортовой сети. При этом диод  $VD1$  предотвращает быстрый разряд конденсатора  $C$ . Заряда конденсатора  $C$  хватает для такого «динамического» удержания  $VT2$  в открытом состоянии во время действия импульса. После окончания импульса (транзистор  $VT2$  закрыт) происходит подзаряд конденсатора  $C$  до напряжения бортовой сети.

Принципиальная электрическая схема такого устройства с использованием интегрального таймера NE/SE 555 (1006ВИ1) представлена на рисунке 4.22 [146, 203, 205,206].

Уровень напряжения на выходе таймера определяется уровнем напряжения на его входах. Если последний составляет  $\leq \frac{1}{3}$  от напряжения питания таймера  $U_n$ , то выходное напряжение таймера имеет высокий уровень. Если же на входах  $\geq \frac{2}{3}U_n$ , то на выходе таймера - низкий уровень напряжения, то есть уровень напряжения на входах таймера определяется степенью заряженности времязадающего конденсатора  $C1$ .



1 – ШИМ - модулятор, 2 – стабилизатор напряжения

Рисунок 3.21 – Регулятор частоты вращения с электродвигателем, подключенным к корпусу

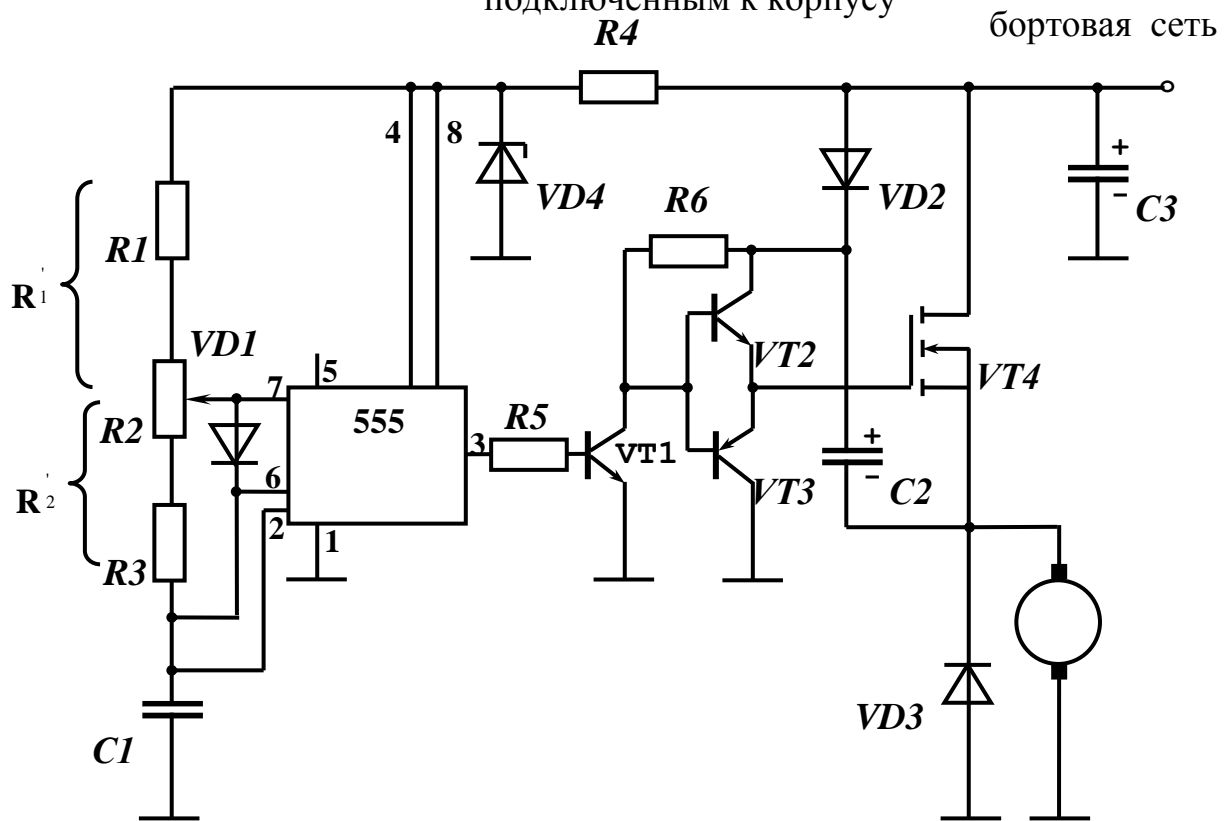


Рисунок 3.22 – Регулятор частоты вращения ротора электродвигателя

Работает устройство следующим образом.

После включения питания от бортовой сети автомобиля происходит заряд времязадающего конденсатора  $C1$  по цепи: источник питания,  $R1$ , верхняя часть переменного сопротивления  $R2$ , диод  $VD1$ , конденсатор  $C1$ , корпус. Напряжение на конденсаторе  $C1$  нарастает по экспоненте:

$$u_{c1} = U_n [1 - \exp(-t / \tau_{зар})], \quad (3.1)$$

где  $U_n$  – напряжение питания микросхемы таймера;

$$\tau_{зар} = R_1' C_1 - \text{постоянная времени заряда, с.}$$

Напряжение на выходе таймера при этом имеет высокий уровень. Транзистор  $VT1$  открыт, напряжение на выходе биполярного эмиттерного повторителя  $VT2$ ,  $VT3$  имеет низкий уровень. Транзистор  $VT4$  закрыт, поскольку напряжение на его затворе равно нулю. Конденсатор  $C2$  заряжается по цепи: источник питания, диод  $VD2$ , конденсатор  $C2$ , обмотка двигателя, корпус.

Когда напряжение на времязадающем конденсаторе  $C1$  в процессе заряда достигнет значения  $2/3$  напряжения таймера  $U_n$ , напряжение на выходе таймера практически станет равным нулю. Откроется ключ, встроенный в схему таймера, и вывод 7 соединится с корпусом. В результате времязадающий конденсатор  $C1$  начнет разряжаться по цепи:  $C1$ , сопротивление  $R' 2$ , встроенный транзистор, корпус.

При этом напряжение на конденсаторе  $C1$  изменяется по закону:

$$U_{c1} = \frac{2}{3} U_n \cdot e^{-t / \tau_p}, \quad (3.2)$$

где  $\tau_p \approx R' 2 C1$  - постоянная времени разряда, с.

Поскольку напряжение на выходе таймера равно при этом нулю, то транзистор  $VT1$  закрывается, поэтому на его коллекторе и на выходе биполярного повторителя  $VT2$ ,  $VT3$  установится высокий уровень напряжения. Вследствие этого транзистор  $VT4$  откроется и поэтому напряжение на двигателе вентилятора станет равным напряжению бортовой сети. Одновременно

напряжение бортовой сети окажется и на нижнем по схеме выводе конденсатора  $C2$ .

Напряжение на емкости не может измениться мгновенно, а конденсатор  $C2$  ранее уже был заряжен до напряжения бортовой сети. Следовательно, напряжение на биполярном повторителе обеспечивает удержание  $n$ -канального полевого транзистора  $VT4$  в открытом состоянии на все время импульса.

Разряд конденсатора продолжается до тех пор, пока напряжение на нем не снизится до  $\frac{1}{3}U_n$ . После этого процесс повторяется. Скважность импульсов определяется отношением постоянных времени заряда и разряда конденсатора  $C1$ :

$$\frac{\tau_{зар} + \tau_p}{\tau_p} = \frac{C_1 \cdot R'_1 + C_1 \cdot R'_2}{C_1 \cdot R'_2} = \frac{R'_1 + R'_2}{R'_2} \quad (3.3)$$

Отсюда следует, что скважность импульсов зависит от положения движка переменного сопротивления  $R2$ . При его перемещении она может изменяться в широких пределах.

Применение биполярного эмиттерного повторителя  $VT2$ ,  $VT3$  обусловлено необходимостью ускоренной перезарядки входной емкости полевого транзистора.

Что касается периода  $T \sim C \cdot (R'_1 + R'_2)$ , то при перемещении движка потенциометра он остается постоянным, (сумма  $R'_1 + R'_2 = R1 + R2 + R3$  не изменяется). Следовательно, и частота импульсов ШИМ остается неизменной - меняется только скважность, определяющая среднее значение напряжения на электродвигателе, которое можно изменять от нуля до напряжения бортовой сети, это позволяет изменять скорость вращения двигателя постоянного тока в широких пределах.

Еще раз подчеркнем: мощность, рассеиваемая на полевом транзисторе в ключевом режиме, настолько мала, что позволяет использовать его с небольшим радиатором охлаждения вплоть до номинальных мощностей двигателей в 180 Вт. Поэтому применение подобной регулировки скорости враще-

ния ротора электродвигателя постоянного тока позволяет существенно повысить коэффициент полезного действия систем электропривода.

Рассмотрим применение предложенных принципов построения электрооборудования в основных системах электропривода автомобильной техники.

### ***Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания.***

Как известно, температура ДВС влияет на процесс смесеобразования в цилиндрах двигателя, а, следовательно, на его коэффициент полезного действия, токсичность отработавших газов и ресурс работы [4, 5]. Очевидно, что она зависит от климатических условий, режима работы двигателя и условий его охлаждения.

Как отмечалось во второй главе, стандартное построение схемы отличается простотой конструкции, но имеет существенный недостаток: электродвигатель вентилятора дискретно включается на полную мощность и выключается при температурах, определяемых гистерезисом биметаллического датчика.

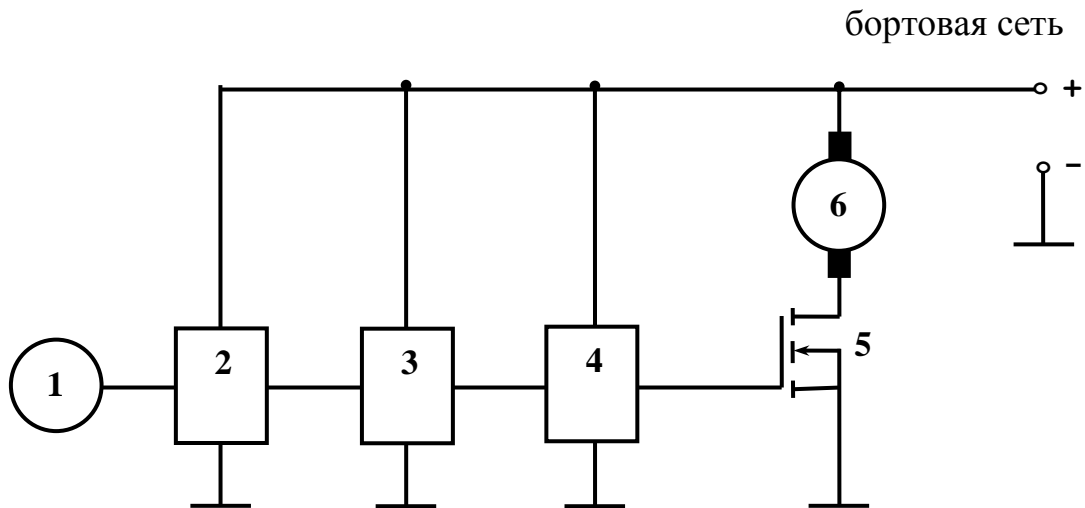
Для повышения точности поддержания температуры охлаждающей жидкости возможно применение ШИМ – регулятора. Он позволяет включать вентилятор с небольшой скоростью вращения еще до достижения двигателем рабочей температуры и увеличивать ее по мере прогрева ДВС (пропорциональное регулирование от разности между заданной и реальной температурами).

Такой способ реализует не только плавный выход на заданную температуру, но и более высокую точность ее поддержания.

Функциональная схема подобного устройства представлена на рисунке 3.23. Устройство состоит из штатного датчика 1 температуры охлаждающей жидкости, усилителя 2, схемы 3 получения ШИМ сигнала, ключей 4 управления, силового ключа 5 и электродвигателя 6 вентилятора системы охлаждения. По мере прогрева двигателя внутреннего сгорания после его пуска температура охлаждающей жидкости увеличивается и сопротивление датчи-

ка 1 температуры уменьшается. Выходное напряжение усилителя 2 после достижения некоторого порогового значения сопротивления начинает возрастать. При этом на выходе формирователя 3 ШИМ сигнала появляется последовательность импульсов, коэффициент заполнения которой увеличивается по мере возрастания температуры охлаждающей жидкости. Ключи управления 4 переключают силовой ключ 5 в соответствии с управляющим сигналом, вырабатываемым схемой 3 получения ШИМ сигнала.

На электродвигателе 6 вентилятора системы охлаждения ДВС появляется последовательность импульсов, постоянная составляющая которой возрастает при увеличении температуры охлаждающей жидкости. Пропорционально среднему напряжению возрастает и частота вращения якоря электродвигателя (см. раздел 1.4).



1 - датчик температуры охлаждающей жидкости, 2 - усилитель, 3 – схема получения ШИМ сигнала, 4 - ключи управления, 5 - силовой ключ, 6 - электродвигатель системы охлаждения.

Рисунок 3.23 – Функциональная схема системы управления электродвигателем вентилятора охлаждения ДВС.

Устройства, работающие по рассмотренному принципу, опубликованы в работах [203, 206, 207, 208, 209].



### ***Система стеклоочистки.***

Как показано во второй главе, желательно иметь возможность плавной регулировки скорости движения щеток стеклоочистителя водителем в зависимости от погодных условий. Решить эту задачу можно с помощью широтно-импульсной модуляции, которая, как показано в предыдущих разделах, позволяет получить плавную регулировку частоты вращения якоря электродвигателя постоянного тока.

Как уже отмечалось выше, щетки должны перемещаться по стеклу плавно, без толчков, с определенным углом размаха и усилием прижатия к стеклу. Для реализации этого требования необходимо, чтобы электродвигатель обладал жесткой механической характеристикой. Как отмечалось выше, схема по рисунку 3.22 соответствует этому требованию и без каких-либо доработок может быть использована в системе стеклоочистки.

Кроме того, разработано устройство управления стеклоочистителем [210, 211, 212, 213], способное работать в двух режимах:

- плавного регулирования скорости движения щеток;
- плавного регулирования интервала между циклами срабатывания стеклоочистителя.

Электрическая схема устройства представлена на рисунке 3.24. В ее состав входят: стабилизатор 1 напряжения, переключатель 2 режимов работы, реле 3 переключения режимов, генератор 4 на основе микросхемы таймера, предварительный усилитель-инвертор 5, и силовой ключ 6 на основе мощного полевого транзистора.

В режиме плавного регулирования скорости движения щеток переключатель 2 находится в первом положении, к реле 3 переключения режимов приложено напряжение бортовой сети автомобиля и его контакты подключают в зарядную цепь конденсатора *C1* диод *VD1*.

После включения питания от бортовой сети автомобиля происходит заряд конденсатора *C1* по цепи: источник питания, *R1*, верхняя по схеме часть переменного сопротивления *R2*, диод *VD1*, конденсатор *C1*, корпус.

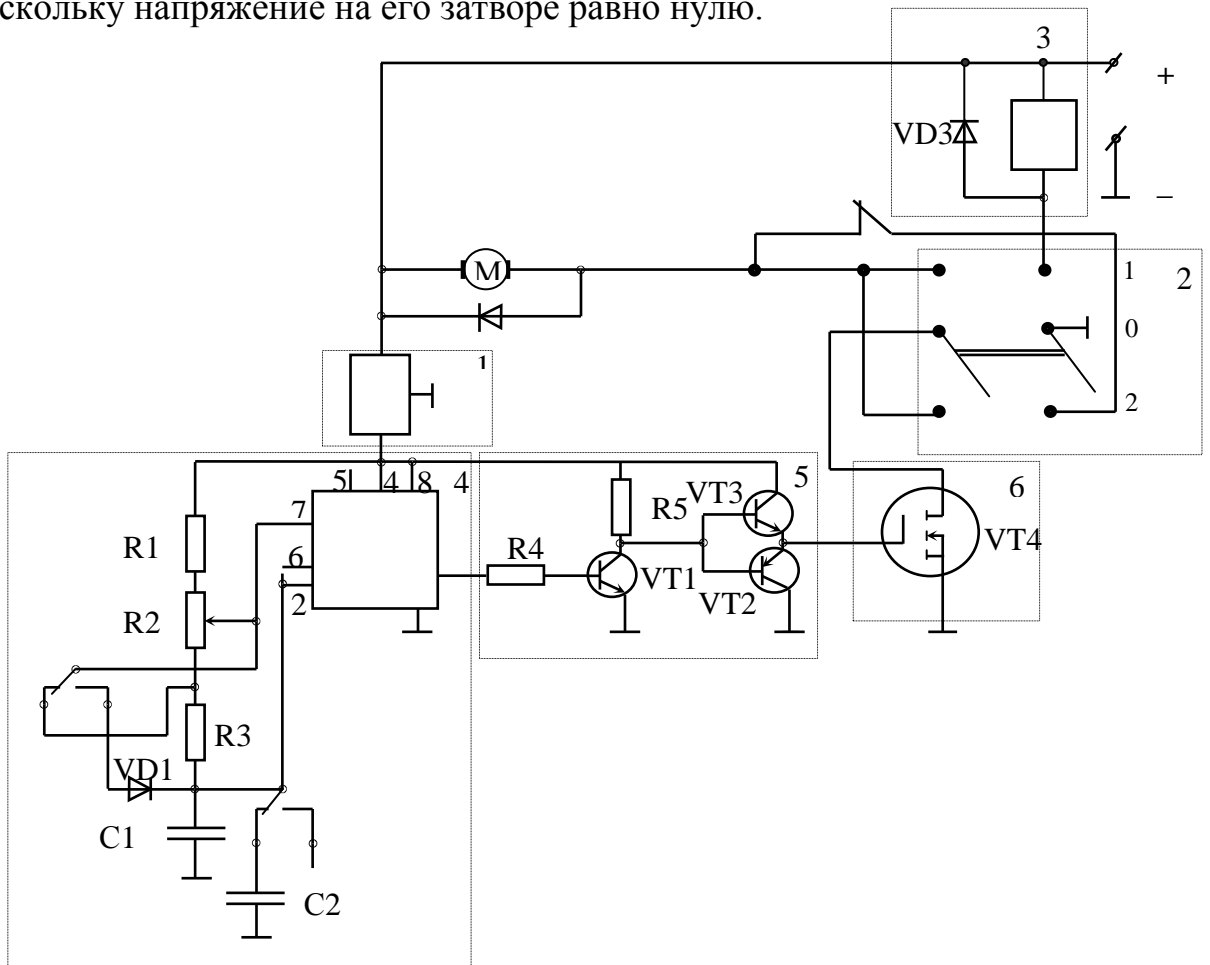
Напряжение на конденсаторе  $C1$  нарастает по экспоненте:

$$u_{C1} = U_n [1 - \exp(-t/\tau_{зар})], \quad (3.4)$$

где  $U_n$  – напряжение питания микросхемы таймера;

$$\tau_{зар} = (R1 + R'2)C1 \quad \text{ - постоянная времени заряда, с.}$$

Напряжение на выходе таймера при этом имеет высокий уровень. Транзистор  $VT1$  предварительного усилителя-инвертора открыт, напряжение на его выходе имеет низкий уровень. Полевой транзистор ключа  $VT4$  закрыт, поскольку напряжение на его затворе равно нулю.



- 1 - стабилизатор напряжения, 2 - переключатель режимов работы, 3 - реле переключения режимов, 4 - генератор на основе микросхемы таймера, 5 - предварительный усилитель-инвертор, 6 - силовой ключ

Рисунок 3.24 – Электрическая схема управления стеклоочистителем

Когда напряжение на времязадающем конденсаторе  $C1$  достигнет значения  $\frac{2}{3}$  напряжения таймера ( $U_n$ ), напряжение на выходе таймера станет равным практически нулю. Откроется ключ, встроенный в схему таймера, и вывод 7 соединится с корпусом. Конденсатор  $C1$  начнет разряжаться по цепи:  $C1$ , сопротивление  $R3$ , нижняя по схеме часть  $R2$ , встроенный ключ таймера, корпус.

Напряжение на конденсаторе изменяется по закону:

$$U_{c1} = \frac{2}{3} U_n \cdot e^{-t/\tau_p}, \quad (3.5)$$

где  $\tau_p = (R3 + R'2)C1$  - постоянная времени разряда, с.

Транзистор  $VT1$  закрывается, поэтому на его коллекторе установится высокий уровень напряжения. Транзистор  $VT4$  откроется, и подключит вывод электродвигателя стеклоочистителя к корпусу, напряжение на двигателе станет равным напряжению бортовой сети.

Разряд конденсатора  $C1$  продолжается до тех пор, пока напряжение на нем не снизится до  $\frac{1}{3} U_n$ . После этого процесс повторяется.

Отношением постоянных времени заряда и разряда и определяется скважность импульсов:

$$\frac{\tau_{зар}}{\tau_p} = \frac{R1 + R'2}{R'2 + R3} \quad (3.6)$$

Отсюда следует, что скважность определяется положением движка переменного сопротивления  $R2$ . При его перемещении она может изменяться в широких пределах, как было показано выше, период  $T \sim C1(R1 + R2 + R3)$  при этом остается постоянным. Следовательно, меняется только скважность, определяющая среднее значение напряжения на двигателе стеклоочистителя, что позволяет изменять скорость движения щеток стеклоочистителя. Отме-

тим, что при эксплуатации устройства не наблюдается повышенного уровня электрических наводок на другие системы электрооборудования.

В режиме плавного регулирования интервала между циклами срабатывания стеклоочистителя переключатель находится во втором положении, реле переключения режимов обесточено, его контакты исключают из зарядной цепи диод, но параллельно конденсатору  $C1$  подключается конденсатор  $C2$  значительно большей емкости, что позволяет увеличить постоянные времени заряда и разряда примерно на пять порядков.

После подключения бортовой сети автомобиля происходит заряд конденсаторов по цепи: источник питания,  $R1$ , верхняя часть переменного сопротивления  $R2$ , сопротивление  $R3$ , конденсаторы  $C1$ ,  $C2$ , корпус.

Постоянная времени заряда:

$$\tau_{зар} = (R1 + R2 + R3)(C1 + C2). \quad (3.7)$$

Напряжение на выходе таймера при этом имеет высокий уровень. Транзистор  $VT1$  предварительного усилителя-инвертора открыт, напряжение на его выходе имеет низкий уровень. Полевой транзистор ключа  $VT4$  закрыт. При этом изменением переменного сопротивления  $R2$  можно регулировать интервал времени между циклами стеклоочистки.

При увеличении напряжения на времязадающих конденсаторах до  $\frac{2}{3}U_n$ , выходное напряжение таймера станет равным нулю. Откроется ключ, встроенный в схему таймера, и вывод 7 соединится с корпусом. Конденсаторы начнут разряжаться по цепи:  $C1$  и  $C2$ ,  $R3$ , встроенный ключ таймера, корпус. Напряжение на конденсаторах изменяется по закону:

$$U_{c1} = \frac{2}{3}U_n \cdot e^{-t/\tau_p}, \quad (3.8)$$

где  $\tau_p \approx (C1 + C2)R3$  - постоянная времени разряда, с.

Поскольку напряжение на выходе таймера равно нулю, транзистор  $VT1$  закрывается, поэтому на его коллекторе установится высокий уровень напряжения. Транзистор  $VT4$  откроется, и подключит электродвигатель

стеклоочистителя к корпусу, напряжение на двигателе станет равным напряжению бортовой сети. Разряд конденсаторов продолжается до тех пор, пока напряжение на них не снизится до  $\frac{1}{3}U_n$ . После этого процесс повторяется.

При этом длительность импульса достаточна для того, чтобы замкнулся концевой выключатель и обеспечил окончание цикла очистки стекла (чтобы щетки вернулись в исходное положение).

Отметим что регулировки, как скорости движения щеток, так и интервала между циклами стеклоочистки производятся одним и тем же переменным сопротивлением, что повышает удобства при эксплуатации автомобиля.

Применение плавной регулировки скорости движения щеток позволяет водителю подобрать тот режим очистки стекол, который соответствует конкретным условиям движения.

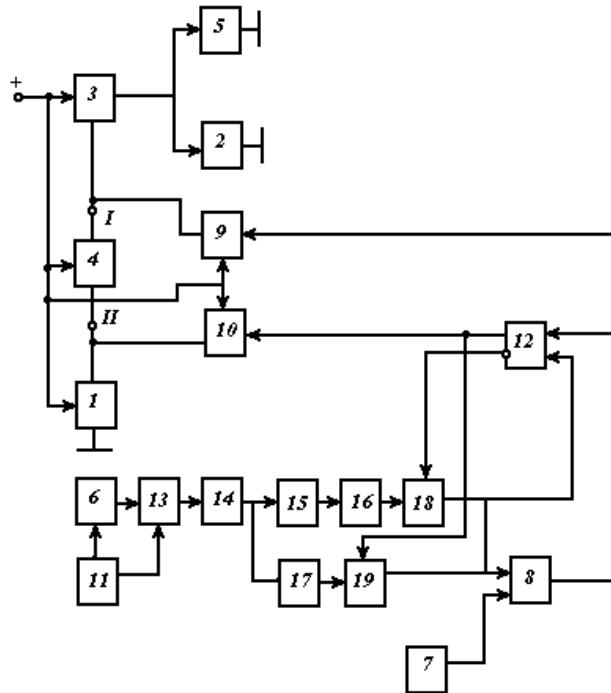
Среди таких условий иногда возникает необходимость автоматизации системы стеклоочистки. Например, при движении автомобиля довольно часто возникает ситуация, когда встречные транспортные средства забрызгивают стекло автомобиля буквально «потоками» грязи с дорожного полотна. Из этого следует, что во избежание аварий система очистки должна автоматически реагировать на скорость изменения загрязненности стекла.

Система очистки, срабатывающая на скорость изменения загрязненности стекла, позволяет автоматически избежать возникновения аварийной ситуации, например, при внезапном загрязнении стекла из-под колес других транспортных средств.

На рисунке 3.25 показана функциональная схема устройства [214].

Система очистки стекла работает следующим образом.

В положении 1 переключателя 4 рода работы включается реле 3 времени и напряжение от него подается к электродвигателю насоса омывателя 2 и к клапану 5 омывателя. Клапан 5 срабатывает, и жидкость от насоса подается к стеклу. Реле 3 времени создает выдержку времени на отключение двигателя 2 стеклоомывателя.



- 1 - электродвигатель привода щеток, 2 - электродвигатель насоса омывателя, 3 - реле времени, 4 - переключатель рода работы, 5 - электромагнитный клапан омывателя, 6 - датчик загрязненности стекла, 7 - первый генератор импульсов, 8 - схема совпадения, 9, 10, 18, 19 - четыре электронных ключа, 11 - второй генератор импульсов, 12 - триггер, 13 - фазовый детектор, 14 - фильтр низкой частоты, 15 - дифференцирующий усилитель, 16 - компаратор, 17 - усилитель

Рисунок 3.25 – Функциональная схема устройства автоматической стеклоочистки [214]

После срабатывания реле 3 времени переключатель 4 рода работы может быть отключен, дальнейшее питание двигателя 2 происходит через контакты реле 3 времени. В положении II переключателя 4 рода работы напряжение от него подается к электродвигателю 1 привода щеток. Электродвигатель 1 прекращает работу, когда щетка установится в крайнее правое положение. То есть система очистки работает в ручном режиме стандартным образом.

Питание датчика 6 загрязненности стекла происходит от второго генератора 11 импульсов, сигнал с выхода датчика 6 загрязненности стекла поступает на первый вход фазового детектора 13. Со второго выхода генератора 11 импульсов опорное напряжение поступает на второй вход фазового детектора

13. Применение фазового детектирования позволяет снизить уровень влияния наводок и освещения датчика 6 загрязненности стекла встречными транспортными средствами. Сигнал, пропорциональный загрязненности стекла, через фильтр 14 низкой частоты, отделяющий гармонику удвоенной частоты второго генератора 11 импульсов и снижающий пульсации напряжения, поступает на дифференцирующий усилитель 15 и усилитель 17. Выходное напряжение дифференцирующего усилителя 15, пропорциональное скорости изменения загрязненности стекла, поступает на компаратор 16, уровень срабатывания которого определяет критическую скорость изменения загрязненности стекла, при которой и включается система очистки.

С выхода компаратора 16 сигнал через электронный ключ 18 поступает на первый вход схемы 8 совпадения и второй вход триггера 12. Сигнал с выхода первого генератора 7 импульсов поступает на второй вход схемы 8 совпадения. При наличии сигналов с выхода компаратора 16 и импульса с первого генератора 7 импульсов на выходе схемы 8 совпадения появляется сигнал, который поступает на вход ключа 9. Ключ 9 открывается и сигнал с его выхода поступает на реле 3 времени. Включается реле 3 времени, его контакты замыкаются, и напряжение от него подается к электродвигателю насоса смывателя 2 и к клапану 5 смывателя. Клапан 5 омывателя срабатывает, и жидкость от насоса подается к стеклу. Кроме того, сигнал с компаратора 16 поступает на второй вход триггера 12, а сигнал со схемы 8 совпадения на первый его вход. Триггер 12 опрокидывается с приходом первого импульса со схемы 8 совпадения и сигнал с прямого выхода поступает на вход ключа 10. Ключ 10 открывается, напряжение подается к электродвигателю 1 привода щеток стеклоочистителя, который начинает работать.

После определенной выдержки времени реле 3 отключает электродвигатель 2 и клапан 5 омывателя. Сигнал с прямого выхода триггера 12 открывает электронный ключ 19. При этом на вход схемы 8 совпадения с выхода усилителя 17 через открытый ключ 19 поступает сигнал, пропорциональный уровню загрязненности стекла. Сигнал, пропорциональный скорости изменения уровня

загрязненности, отключается, так как электронный ключ 18 закроется, поскольку на инверсном выходе триггера 12 установится низкое напряжение. Система очистки переходит в режим очистки по уровню загрязненности.

Если за период времени, определяемых генератором 7 импульсов, очистка стекла не произошла, то со схемы 8 совпадения поступает следующий импульс и повторяется цикл работы стеклоомывателя. Стеклоочиститель продолжает работать до тех пор, пока не произойдет очистка стекла, после чего сигнал с датчика 6 прекратится, триггер 12 опрокинется, электродвигатель 1 прекратит работу. При опрокидывании триггера 12 открывается электронный ключ 18, а ключ 19 закроется, и система очистки переходит в ждущий режим работы по скорости изменения загрязненности стекла.

Таким образом, устройство обеспечивает немедленное и автоматическое включение системы очистки при внезапном загрязнении стекла транспортного средства, когда водитель теряет видимость дороги. Система работает до тех пор, пока не произойдет окончательная очистка стекла. В случае, когда за один цикл работы стеклоомывателя очистка не произошла, цикл работы стеклоомывателя повторяется. Электродвигатель 1 привода щеток прекращает работу только после окончательной очистки стекла.

После окончания очистки устройство переходит в режим работы по скорости изменения загрязненности, что исключает неожиданные для водителя срабатывания системы очистки.

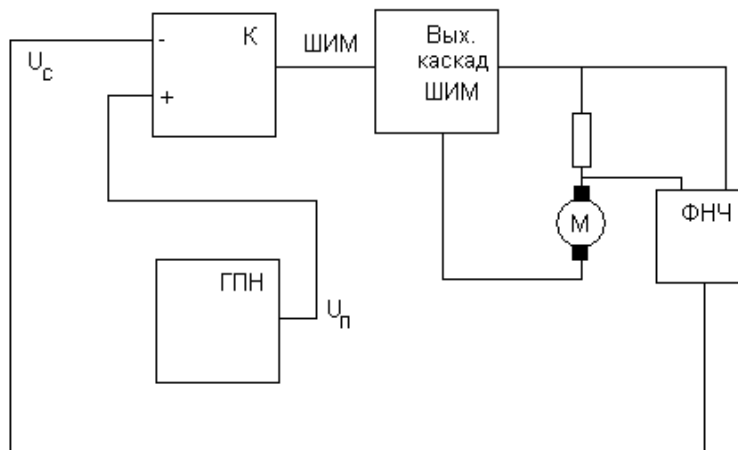
#### ***Электропривод стеклоподъемников.***

Как показано выше, необходимо получить мягкую скоростную характеристику электродвигателя моторредуктора. Для этого стандартную схему получения ШИМ сигнала следует дополнить обратной связью по току электродвигателя, как это показано на рисунке 3.26.

Сигнал с датчика тока электродвигателя (сопротивления небольшого номинала, включенного последовательно с ДПТ) поступает на фильтр низких частот, которым выделяется постоянная составляющая тока электродвигателя. Эта постоянная составляющая и исполняет роль входного сигнала компа-



ратора схемы формирования ШИМ сигнала. По мере увеличения тока, потребляемого ДПТ, возрастает уровень постоянного напряжения на выходе фильтра низкой частоты, что приводит к снижению коэффициента заполнения ШИМ, и, соответственно, к падению среднего напряжения на электродвигателе. В результате частота вращения якоря уменьшается с увеличением тока, что и соответствует мягкой скоростной и моментной характеристикам. Степень «мягкости» характеристики может регулироваться не только номиналом сопротивления датчика тока, но и коэффициентом усиления фильтра низких частот, который можно изменять, среди прочих известных способов, и электронным способом. В случае введения подобной доработки регулировку тока отключения электродвигателя можно и не вводить, поскольку электродвигатель остановится при увеличении момента сопротивления на его валу из-за мягкости скоростной характеристики.



К – компаратор; ГПН – генератор пилообразного напряжения; ФНЧ – фильтр низкой частоты; М - электродвигатель

Рисунок 3.26 - Получение мягкой скоростной характеристики электродвигателя стеклоподъемника

Отметим, что рассмотренными устройствами отнюдь не исчерпываются возможности и диапазон применения широтно – импульсной модуляции для управления электроприводом вспомогательного оборудования. Так, например, автором работы [215] предлагается применять вентильно – индук-

торный двигатель для усиления момента, создаваемым рулевым колесом, причем в схеме управления предлагается использовать широтно-импульсную модуляцию с использованием микроконтроллера, которые, впрочем, все более широко внедряются и в автомобильную технику [216 - 221].

### ***Электропривод системы вентиляции и отопления салона.***

Как было показано выше, преобразователи следует выполнять по принципу широтно-импульсной модуляции.

Схемы устройств, реализующих описанный выше принцип регулирования с помощью широтно – импульсной модуляции, представлены на рисунках 3.18 – 3.22, а его работа рассмотрена выше.

Следующими шагами должна стать автоматизация электронной регулировки воздушных потоков в салоне и поддержание температуры радиатора отопителя салона.

Очевидно, что поддерживать высокую частоту вращения вентилятора после того, как салон уже прогрелся, никакой необходимости нет. Если из отопителя при этом все еще поступает теплый воздух, то это приводит только к выходу температуры за пределы зоны комфорта, а также к избыточному шуму, создаваемому вентилятором.

В высокой скорости воздушного потока нет нужды и при низкой температуре воздуха, поступающего из отопителя при непрогретом салоне (после длительной стоянки автомобиля): это приводит только к появлению дискомфорта, связанного с потоком холодного воздуха.

Скорость воздушного потока должна быть высокой только тогда, когда салон еще не прогрет, а температура воздуха, поступающего из отопителя, уже достаточно высока.

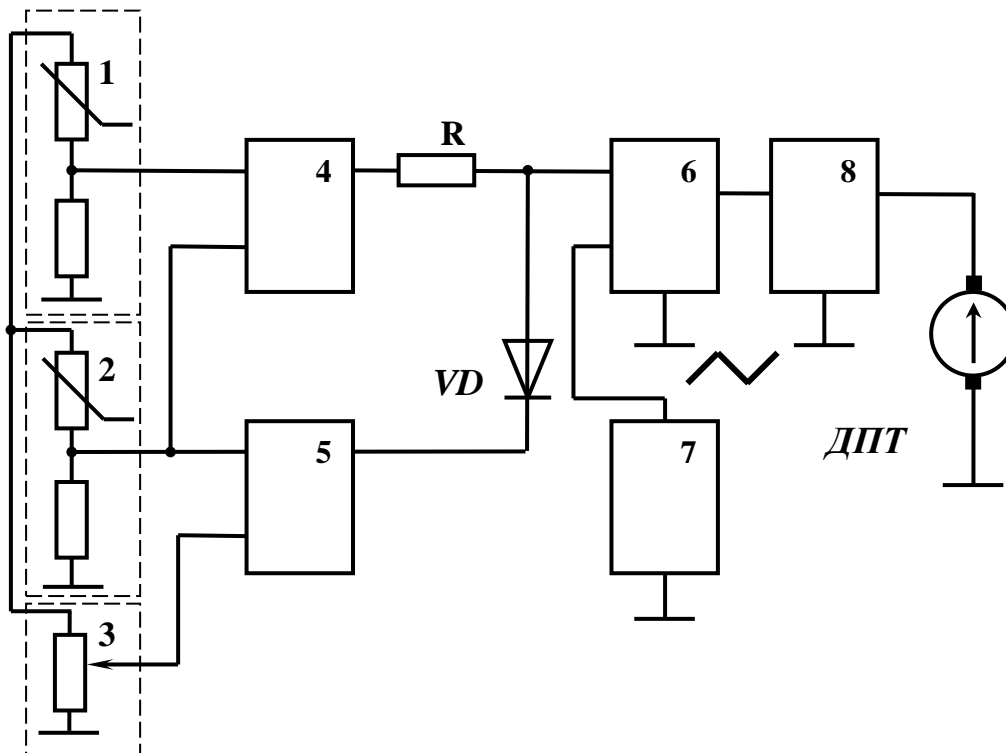
Отсюда следует необходимый алгоритм работы отопительного устройства: после пуска ДВС в холодное время года после длительной стоянки скорость воздушного потока должна быть низкой.

По мере прогрева охлаждающей жидкости, циркулирующей по радиатору отопителя, частота вращения вентилятора должна возрасти (быть

функционально связанной с возникшей разностью температур отопителя и салона).

Затем, по мере приближения температуры воздуха в салоне к желаемой, частота вращения вентилятора опять должна уменьшаться.

Очевидно, что для реализации этого принципа необходимо устройство, задающее температуру в салоне, и два датчика: температуры воздуха, поступающего из отопителя, и реальной температуры воздуха в салоне [146, 203, 206, 221]. Функциональная схема устройства, работающего описанным выше образом, представлена на рисунке 3.27.



- 1 – датчик температуры отопителя, 2 – датчик температуры салона,  
3 – задающее устройство, 4 – первый разностный усилитель,  
5 – второй разностный усилитель, 6 – компаратор,  
7 – генератор пилообразного напряжения, 8 – выходной каскад ШИМ

Рисунок 3.27 – Функциональная схема автоматического регулятора частоты вращения вентилятора отопителя салона

Его принцип работы основан на использовании двух разностных усилителей 4 и 5. Усилитель 4 сравнивает температуру воздуха, поступающего из отопителя в салон, и температуру в салоне. Напряжение на его выходе прямо пропорционально разности этих температур. Усилитель 5 сравнивает

температуру в салоне и температуру, установленную задающим устройством. Его выходное напряжение также пропорционально разности сравниваемых температур.

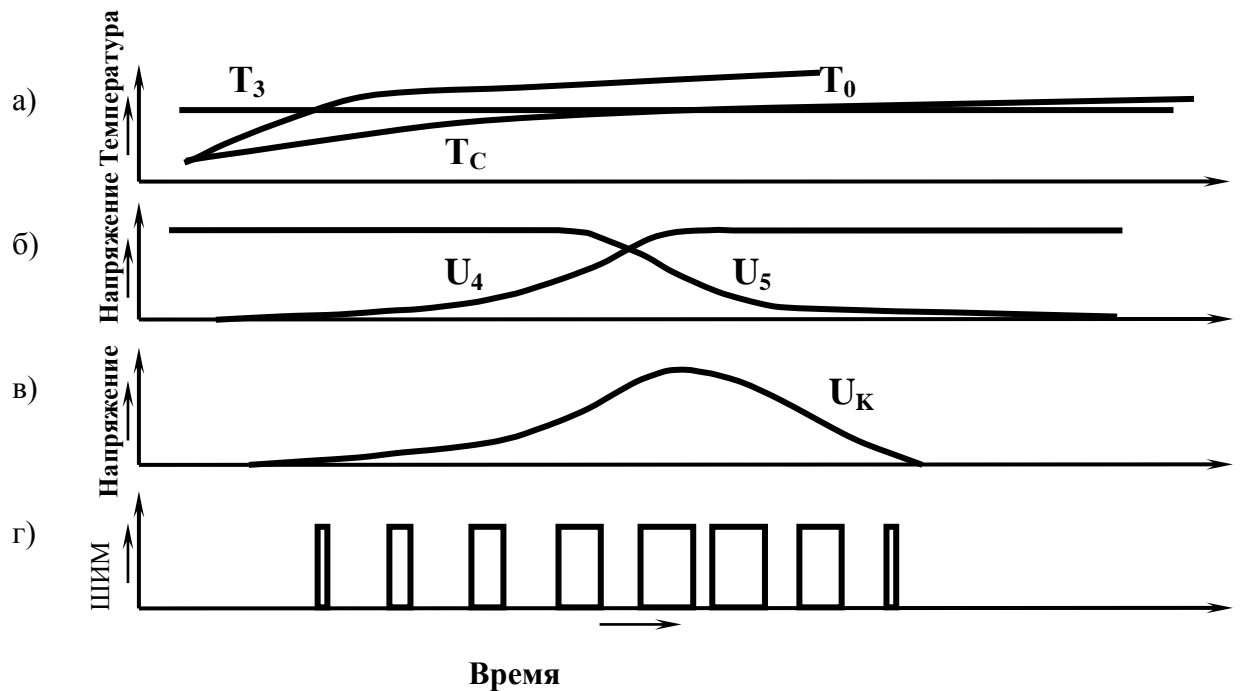
Работает устройство следующим образом. После пуска ДВС, из отопителя поступает холодный воздух, температура которого много ниже, чем установленная задающим устройством 3. При этом на выходе второго разностного усилителя 5 устанавливается высокий уровень напряжения. Диод VD находится в закрытом состоянии и второй разностный усилитель 5 не влияет на работу формирователя ШИМ сигнала (компаратор 6 и генератор пилообразного напряжения 7).

По мере прогрева охлаждающей жидкости, циркулирующей по радиатору отопителя, температура поступающего из него в салон воздуха возрастает, напряжение на выходе разностного усилителя 4 повышается, что приводит к увеличению коэффициента заполнения ШИМ сигнала на выходе компаратора 6. При этом частота вращения вентилятора растет. По мере увеличения разности температур воздуха отопителя и салона скорость воздушного потока увеличивается.

При сближении температур воздуха в салоне и воздуха, поступающего из радиатора отопителя, выходное напряжение первого разностного усилителя 4 близко к нулю. Оно сравнивается компаратором 6 с напряжением, которое вырабатывает генератор пилообразного напряжения 7. На выходе компаратора 6 и формируется сигнал ШИМ, имеющий в данном случае близкий к нулю коэффициент заполнения. Скорость вращения вентилятора при этом минимальна.

На рисунке 3.28 представлены временные диаграммы работы автоматического регулятора частоты вращения вентилятора отопителя салона.

При прогреве салона разность между реальной температурой салона и желаемой температурой, установленной задающим устройством 3, уменьшается.



$T_0$  - температура отопителя,  $T_c$  - температура салона,  
 $T_3$  - температура, установленная задающим устройством,  
 $U_4, U_5$  - выходные напряжения разностных усилителей,  
 $U_k$  - входное напряжение компаратора;  
 а – температура, б – выходные напряжения усилителей,  
 в – входное напряжение компаратора, г – сигнал ШИМ

Рисунок 3.28 - Временные диаграммы работы автоматического регулятора частоты вращения вентилятора отопителя салона

Напряжение на выходе второго разностного усилителя 5 также начинает уменьшаться.

По мере сближения реальной и установленной температур салона диод  $VD$  открывается и напряжение в точке соединения открывшегося диода и сопротивления  $R$ , определится суммой напряжений на выходе усилителя 5 и на открытом диоде. Следовательно, напряжение на входе компаратора 6 определяется уже выходным напряжением второго разностного усилителя 5. Это приводит к уменьшению коэффициента заполнения ШИМ сигнала и умень-

шению среднего напряжения на электродвигателе вентилятора. Поэтому частота вращения вентилятора уменьшается по мере сближения реальной и установленной температур салона.

Схема 8 выходного каскада ШИМ ничем не отличается от рассмотренных в предыдущих параграфах. Внешний вид устройства показан на рисунке 3.29, и оно размещается в гнезде, предназначенном для установки штатного выключателя.

Отметим, что устройству, описанному в данном параграфе, присущ и недостаток – температура радиатора отопителя, зависящая от режима работы ДВС, влияет на работу отопителя салона. Для более точного регулирования температуры салона автотранспортного средства следует поддерживать постоянной температуру радиатора отопителя салона.



Рисунок 3.29– Автоматический регулятор частоты вращения вентилятора отопителя

Отметим, что температура радиатора отопителя определяется как температурой охлаждающей жидкости, так и скоростью ее движения через радиатор, которая зависит от режима работы двигателя и степени открытия крана отопителя салона. Кроме того, она зависит от скорости отбора тепла от радиатора при прокачке воздуха вентилятором. Поэтому возможности регулирования микроклимата в салоне могут быть расширены, если включить в них и регулирование этой температуры.

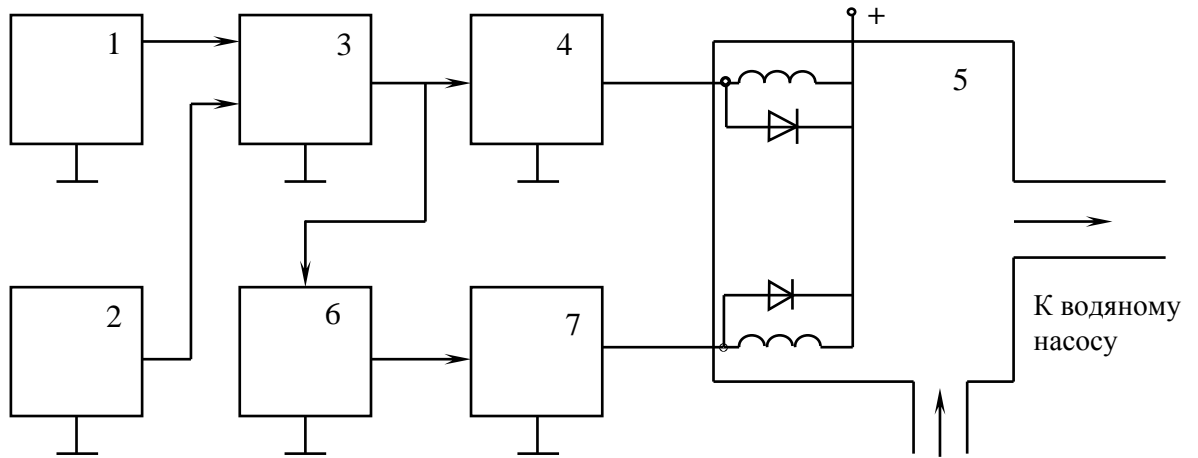
Мы уже упоминали системы климат-контроля, работа которых основана на использовании кондиционеров [52, 53]. На некоторых автомобилях устанавливается система климат-контроля, в основе работы которой лежит применение микромоторедуктора, открывающего заслонку и обеспечивающего поступление забортного воздуха в салон автомобиля в автоматическом режиме. Такое решение имеет явный недостаток - микромоторедуктор обладает невысокой надежностью. Кроме того, температура и влажность забортного воздуха могут изменяться в весьма широких пределах, что также создает определенный дискомфорт при эксплуатации подобной системы.

Сравнительно экономичный и надежный выход из положения может быть найден на пути электронного управления краном отопителя салона. С этой целью механический кран следует заменить электромагнитным клапаном управления потоком охлаждающей жидкости и обеспечить электронное управление таким клапаном. Функциональная схема устройства, реализующего это решение, представлена на рисунке 3.30, однако, следует отметить, что наиболее эффективным является сочетание скорости регулирования воздушного потока и температуры радиатора отопителя [205, 206, 224 - 230].

Датчик 2 температуры установлен в трубопроводе, идущем от вентилятора отопителя. Схема 3 сравнивает напряжения, поступающие от датчика 2 и задающего устройства 1 температуры.

Если температура воздуха, поступающего по трубопроводу от вентилятора отопителя ниже, чем установленная задающим устройством 1, то на выходе схемы 3 формируется уровень логической единицы, который открывает

силовой ключ 4 и одновременно разрешает работу управляемого мультивибратора 6.



1 – задающее устройство температуры салона, 2 – датчик температуры салона, 3 – схема сравнения, 4 – силовой ключ управления электромагнитным клапаном, 5 – электромагнитный клапан, 6 – управляемый мультивибратор, 7 – второй силовой ключ

Рисунок 3.30 – Система управления работой отопителя салона автомобиля

Силовой ключ 4 при открывании разрешает прохождение тока по удерживающей обмотке клапана 5. На выходе управляемого мультивибратора 6 появляются импульсы с большой скважностью, воздействующие на вход управления второго силового ключа 7. При открывании ключа 7 импульс тока, проходя по второй втягивающей обмотке электромагнитного клапана 5, вызывает его срабатывание. При этом охлаждающая жидкость от работающего двигателя внутреннего сгорания протекает по малому контуру циркуляции, повышая температуру радиатора салона автомобиля.

Если температура воздуха, поступающего по трубопроводу от вентилятора отопителя больше, чем установленная задающим устройством 1, то на выходе схемы 3 формируется уровень логического нуля и оба ключа 4 и 7 закрыты. Ток по обмоткам не протекает, клапан 5 закрыт, и охлаждающая жидкость от работающего двигателя не проходит по малому контуру циркуля-



ции. В результате температура воздуха, поступающего от радиатора отопителя, начинает понижаться и после ее снижения до величины, установленной задающим устройством 1, цикл работы повторяется.

Применение клапана 5 с втягивающей и удерживающей обмотками позволяет снизить его размеры и повысить надежность срабатывания при снижении потребляемой им мощности.

Рассмотренные в данной главе устройства позволяют сделать следующие **выводы**:

- разработана система электроснабжения с импульсным адаптивным преобразователем параметров электрической энергии аккумуляторной батареи и емкостным накопителем энергии, учитывающая как характеристики двигателя, так и внешние условия пуска;

- в соответствии с выдвинутыми принципами построения электрооборудования разработаны системы электроснабжения системы зажигания, содержащие адаптивные преобразователи параметров электрической энергии для области пусковых частот - повышающий, а для области рабочих частот – понижающий, обеспечивающий постоянный коэффициент запаса по вторичному напряжению;

- при пуске от системы электроснабжения пуска с емкостным накопителем энергии схема электроснабжения системы зажигания может содержать только понижающий адаптируемый преобразователь параметров электрической энергии;

- в соответствии с выдвинутыми принципами построения электрооборудования разработана система электроснабжения на основе ШИМ регулятора, обеспечивающая повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима;

- разработаны устройства отключения обмотки возбуждения генератора, защиту его от перегрузок и обеспечивающие повышение эффективности работы генератора и пуска ДВС.

- разработаны системы электроснабжения на основе ШИМ регуляторов для электропривода вспомогательного оборудования, обеспечивающие плавное регулирование среднего напряжения на двигателях постоянного тока и улучшающие эргономику, эксплуатационные характеристики и безопасность движения;

- оптимизированы температурные и скоростные режимы, обеспечиваемые электроприводом;

- разработаны системы автоматического регулирования электропривода вспомогательного оборудования.

## **Глава 4 Экспериментальное исследование систем электрооборудования с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии в автомобильной технике**

### **4.1 Экспериментальные исследования системы пуска двигателя внутреннего сгорания с адаптивной системой электроснабжения**

Как следует из анализа, приведенного в первой главе, на надежность пуска влияет целый ряд факторов.

Задачами экспериментального исследования являются: определение пусковых характеристик ДВС в области низких температур при проведении пуска от аккумуляторных батарей и импульсных преобразователей напряжения с целью выработки рекомендаций по улучшению пусковых свойств ДВС.

Программа исследований состояла из:

- разработки, изготовления и испытания в лаборатории макетных образцов преобразователей параметров электрической энергии, предназначенных для проведения исследований с емкостным накопителем энергии;

- экспериментального прокручивания коленчатого вала двигателей автомобилей при различных температурах окружающей среды с использованием преобразователя напряжения с накопителем энергии, как в качестве самостоятельного источника, так и при параллельном соединении емкостного накопителя энергии с аккумуляторной батареей;

- исследования пусковых свойств ДВС АТ с использованием преобразователя параметров электрической энергии с емкостным накопителем энергии при низких температурах;

- анализа результатов исследований и оценки целесообразности использования преобразователя параметров электрической энергии с емкостным накопителем энергии в системах электрического пуска АТ.

Условия проведения исследований:

- испытания следует проводить в низкотемпературной камере или на открытом воздухе;

- в качестве моторного масла следует использовать моторное масло двух сортов (зимнее, класса 8 и маловязкое загущенное, класса вязкости не ниже 4<sub>з</sub>/6), вязкость масла в процессе исследований необходимо контролировать и при разжижении заменять;

- прокручивание следует осуществлять отдельными попытками длительностью до 10 с.

При использовании емкостного накопителя энергии в качестве самостоятельного источника при пуске, длительность попытки определять энергетическими возможностями накопителя (до остановки двигателя);

- продолжительность пуска ДВС определять от начала прокручивания коленчатого вала до момента выхода ДВС на режим самостоятельной работы с учетом длительности неудачных попыток, но без учета времени заряда емкостного накопителя энергии;

- электроснабжение системы зажигания (для бензинового двигателя) при пусках от одного накопителя энергии осуществлять от отдельной батареи, а при пусках с использованием аккумуляторной батареи, преобразователя и емкостного накопителя энергии – как в штатной схеме электрооборудования;

- регистрацию и обработку параметров процесса пуска ДВС проводить с помощью вычислительной техники;

- средние значения регистрируемых параметров следует определять, как среднеарифметические за два полных оборота коленчатого вала ДВС.

Перечень примененного при проведении экспериментальных исследований приборов и оборудования представлен в таблице 5.1.

Вольтамперные характеристики определялись по результатам испытаний системы электрического пуска двигателя КамАЗ-740, включающей накопителя энергии.

При испытаниях использовались три комплекта батарей для заряда накопителей энергии и прокручивании коленчатого вала двигателя КамАЗ-740.

Таблица 4.1 - Перечень применяемых измерительных приборов и дополнительного оборудования.

Наименование приборов и оборудования	Назначение и наименование измеряемых параметров
Низкотемпературная камера «ТВV - 2000» (Германия)	Объем – 10 м <sup>3</sup> ; Диапазон температур - -62 – 100 °С; Погрешности измерений: в режиме «тепло +100 °С» - $\pm 0,45^{\circ}C$ ; в режиме «холод -62 °С» - $+ 0,3^{\circ}C$ ; $-0,6^{\circ}C$ ;; Погрешности задания: в режиме «тепло +100 °С» - $\pm 0,2^{\circ}C$ ; в режиме «холод -62 °С» - $+ 0,3^{\circ}C$ ; $-0,6^{\circ}C$ ;
Двигатель КамАЗ-740, укомплектованный всеми навесными агрегатами, устанавливаемыми на базовой модели автомобиля, коробкой передач, и двумя комплектами аккумуляторных батарей.	Исследование систем электропуска с аккумуляторными батареями, преобразователями напряжения с емкостными накопителями энергии
Зарядно-разрядная установка (УЗР201-У2)	Исследование батарей для управления зарядными и разрядными режимами
USB - осциллограф	Для измерения зарядного и разрядного тока
USB - осциллограф	Для измерения напряжения аккумуляторной батареи и накопителей энергии
Ареометр аккумуляторный типа АЗ-3 ГОСТ 18481-81	Для замера плотности электролита
Термометр специальный СП-60, погрешность 0,5°С (ГОСТ 9177-74)	Для измерения температуры электролита

### ***Пуск от аккумуляторных батарей.***

Расход энергии на прокручивание коленчатого вала двигателя зависит от его температуры, вязкости моторного масла, продолжительности и количества прокручиваний. С понижением температуры и увеличением вязкости масла растет момент сопротивления, а, следовательно, и ток разряда батарей. В результате наступает такая предельная температура, ниже которой система электрического пуска не в состоянии обеспечить пуск двигателя. Если учитывать, что минимальные пусковые обороты двигателя при использовании средств облегчения пуска ниже  $50 \text{ мин}^{-1}$ , то для рассматриваемого случая предельная температура находится на уровне минус 22 - 23°C.

Пуск двигателя внутреннего сгорания в условиях низких температур предусматривает его обязательную предпусковую подготовку, включающую в себя, в зависимости от температуры, использование либо средств облегчения пуска, либо предпусковой разогрев двигателя, на проведение которых также расходуется энергия аккумуляторных батарей.

Расход емкости аккумуляторной батареи на одну 15 с прокрутку двигателя с понижением температуры увеличивается от 1,54 Ач при 20°C до 4,92 Ач при минус 30°C.

Расход емкости аккумуляторных батарей на одну прокрутку, разогретого предпусковым подогревателем ДВС при температуре минус 45°C составил 3,36 Ач, что примерно соответствует расходу емкости при температуре минус 18°C. На три попытки пуска расходуемая емкость увеличиться до 10,08 Ач. С учетом емкости, расходуемой на работу предпускового подогревателя (10,07) общий расход емкости аккумуляторных батарей при температуре минус 45°C составит 20,15 Ач.

Таким образом, емкость, которую аккумуляторная батарея может отдать в разрядном режиме, существенно уменьшается с понижением температуры и увеличением разрядного тока, что и отмечалось в первой главе.

Следовательно, улучшение энергетических и мощностных возможностей системы электрического пуска, а также облегчение режима работы аккумуляторных батарей может быть достигнуто как повышением температуры электролита, так и снижением стартерных токов. Снижение тока, отдаваемого аккумуляторной батареей при пуске, возможно при применении устройств, позволяющих накапливать энергию перед пуском двигателя за 30 – 60 с. Это устройство должно быть способно отдать накопленную энергию во время пуска за несколько секунд. В качестве такого устройства может быть использован емкостной накопитель энергии, особенно эффективно может быть использование такого накопителя совместно с управляемым преобразователем параметров электрической энергии. В качестве примера на рисунке 4.1 представлены зависимости продолжительности пуска двигателя от частоты вращения при разных температурах, которые характеризуют пусковые качества двигателя и определяются экспериментально для заданных условий пуска.

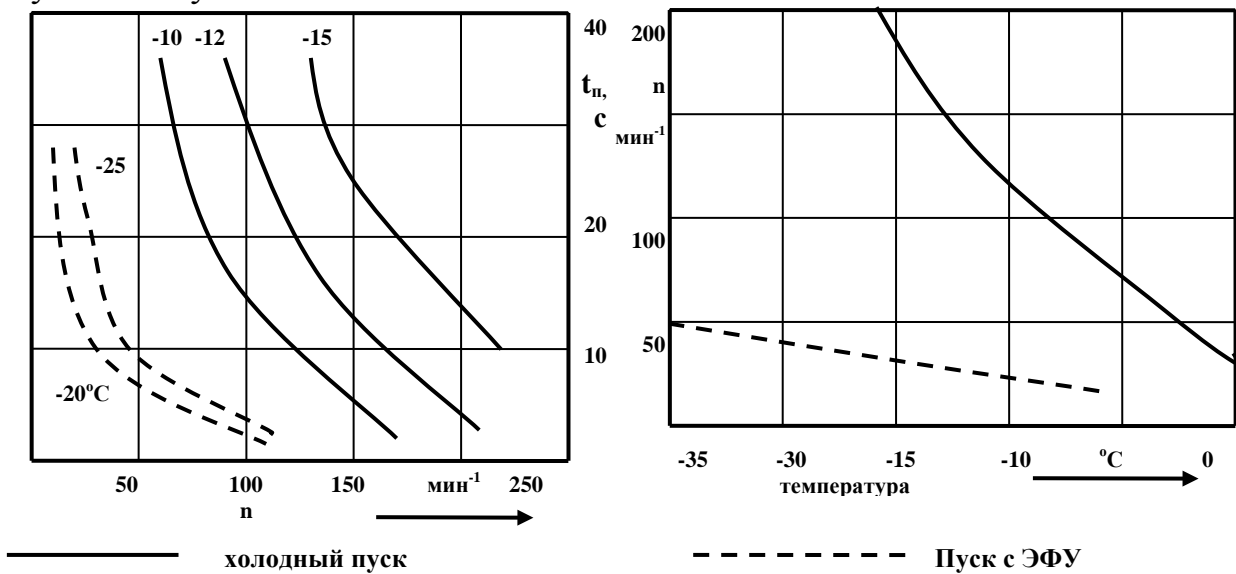


Рисунок 4.1 – Пусковые свойства ДВС КамАЗ-740

**Результаты испытаний пуска двигателя КамАЗ-740 от адаптивной системы пуска.**

Объектом исследования являлись молекулярные (емкостные) накопители энергии фирмы ЗАО «ТехноКор» (г. Москва) с преобразователем напряжения.

Основные параметры и характеристики емкостных накопителей энергии приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Основные параметры и характеристики накопителей энергии

Параметры накопителей энергии	Марки накопителей энергии			
	МНЭ-70/28Б	МНЭ-100/28Б	МНЭ-120/28Б	МНЭ-150/28Б
Номинальная электрическая емкость, Ф	$70^{+25}_{-5}$	$100^{+30}_{-10}$	$120^{+35}_{-10}$	$150^{+35}_{-10}$
Внутреннее сопротивление, мОм	$\leq 7,0$	$\leq 5,5$	$\leq 5,0$	$\leq 6,2$
Масса, кг	$\leq 32$	$\leq 36$	$\leq 40$	$\leq 32,7$
Напряжение заряда, В	24 30			
-номинальное				
-максимальное	- температура рабочая 40°C - температура предельная 60°C			
Повышенная температура окружающей среды				
Пониженная температура окружающей среды	- температура рабочая минус 35°C - температура предельная минус 50°C			
Циклическое изменение температуры окружающей среды				

Первые экспериментальные пуски двигателя КамАЗ-740 проведены в паркогаражных условиях при температуре окружающей среды минус 3 °С. Эксперимент проводился в следующей последовательности:

1) а) зарядка двух накопителей МНЭ-70/28Б соединенных параллельно от штатных аккумуляторных батарей;

б) пуск ДВС от двух емкостных накопителей энергии МНЭ-70/28Б, соединенных параллельно без штатных аккумуляторных батарей (семь серий пусков);



2) а) зарядка одного накопителя энергии МНЭ-70/28Б от штатных батарей;

б) пуск ДВС от одного емкостного накопителя энергии МНЭ-70/28Б, без штатных аккумуляторных батарей (две серии пусков);

3) пуск ДВС от двух аккумуляторных батарей 6СТ-90 соединенных последовательно;

4) а) зарядка одного накопителя энергии МНЭ-70/28Б от штатной батареи;

б) пуски ДВС от двух аккумуляторных батарей 6СТ-90 соединенных последовательно и преобразователя напряжения с накопителем энергии, подключенного параллельно к ним.

При проведении экспериментов штатные аккумуляторные батареи после зарядки накопителя энергии отключались штатным выключателем массы. После зарядки накопитель энергии подключался к стартеру дополнительным выключателем массы по схеме, аналогичной схеме пуска от штатных батарей. Результаты испытаний показали, что пуск ДВС возможен при использовании в системе пуска только емкостного накопителя энергии без аккумуляторной батареи.

Поскольку одной из важнейших задач данного исследования является обоснование возможности надежного пуска двигателя АТ при температурах ниже минус 20 °С и ниже, то следует провести экспериментальные исследования и при отрицательных температурах окружающей среды. Действительно, по данным исследований, контрольные пуски автомобилей КамАЗ показали, что при температуре окружающего воздуха минус 27 – 28 °С и скорости ветра 4 - 6 м/с система электрического пуска не обеспечивает пуск холодного двигателя, заправленного маслом М<sub>8</sub>ГФЗ даже с использованием электрофакельного подогревателя. Из-за отсутствия надежных средств пуска двигателя в условиях крайнего севера работают круглосуточно в течение нескольких месяцев, что приводит к недопустимым перерасходам эксплуатационных материалов и сокращению ресурсов двигателей. На рисунке 4.2 представлены

результаты исследования пусковых свойств ДВС «КамАЗ – 740» при прокручивании коленчатого вала стартером как от аккумуляторных батарей (кривая 2) так и от емкостного накопителя емкостью 100 Ф (кривая 1). Из приведенных экспериментальных зависимостей следует, что применение в системе пуска емкостного накопителя энергии позволяет существенно снизить стартерный ток, отдаваемый батареями, особенно в начальный момент пуска, следовательно, возможно применение батарей меньшей емкости.

На рисунке 4.2 представлены временные зависимости тока емкостного накопителя энергии при различных начальных напряжениях накопителя при пусках ДВС «КамАЗ – 740».

Из рисунка следует, что повышение начального напряжения на накопителе энергии сильно снижает время пуска (с 3,7 с при 18,4 В до 0,6 с при 27,6 В), но при этом возрастает стартерный ток.

Нами были проведены исследования по прокручиванию бензинового двигателя от штатной аккумуляторной батареи, комбинированного источника тока и от емкостного накопителя энергии, заряженного до различного напряжения. Осциллограммы токов для последнего случая показаны на рисунке 4.3. Из рисунка 4.3 следует, что время, в течение которого накопитель энергии способен прокручивать коленчатый вал ДВС сильно зависит от начального напряжения на накопителе энергии. На рисунке 4.4 представлены экспериментальные зависимости среднего тока стартера от времени, из которых следует, что при пуске от накопителя энергии средний ток уменьшается во времени, что говорит о непостоянстве момента стартера.

Основные экспериментальные исследования по низкотемпературному пуску ДВС «КамАЗ – 740» были проведены на предприятии ФГУП РПЗ.

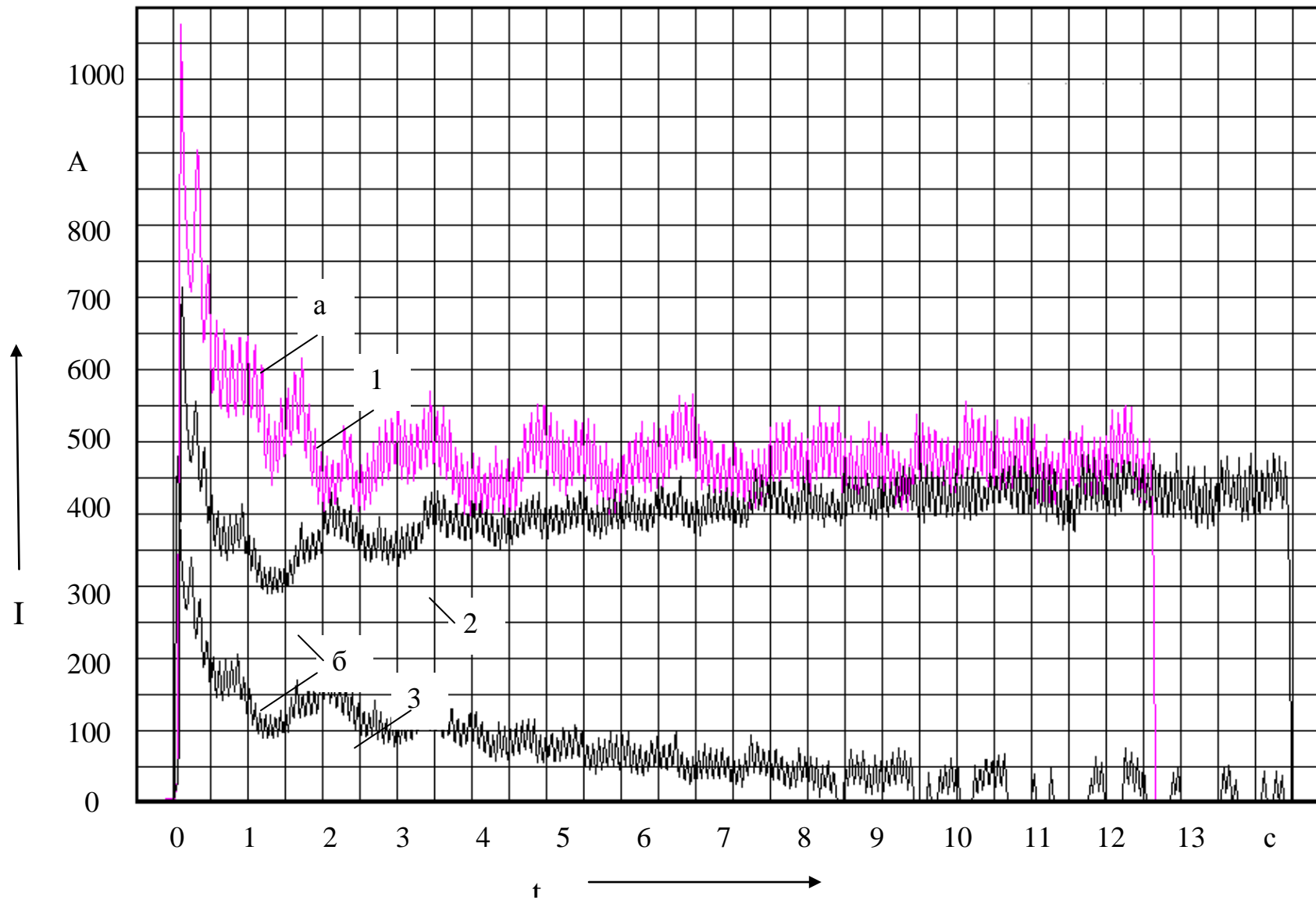


Рисунок 4.2 – Осциллограмма прокручивания коленчатого вала ДВС «КамАЗ-740»

а – прокручивание от штатных аккумуляторных батарей: 1 – ток, отдаваемый батареями;

б – прокручивание от штатных аккумуляторных батарей с параллельно включенным накопителем энергии емкостью 330 Ф: 2 – ток, отдаваемый батареями; 3 – ток накопителя энергии.

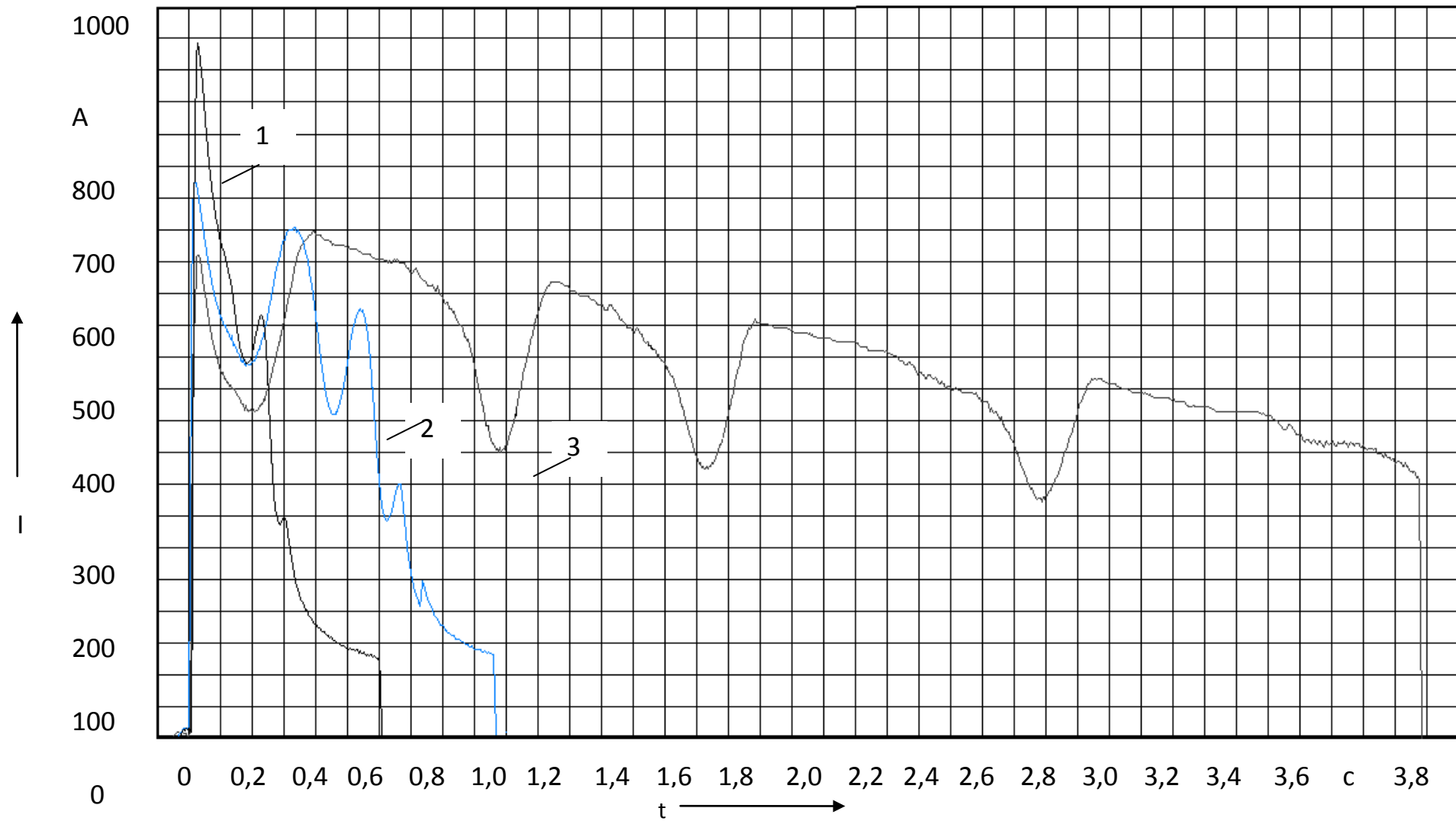


Рисунок 4.3 – Пусковые токи ДВС «КамАЗ-740» при пусках от емкостного накопителя энергии емкостью 339Ф, заряженного до различных напряжений: 1 – 27,6 В; 2 – 20 В; 3 – 18,4 В.

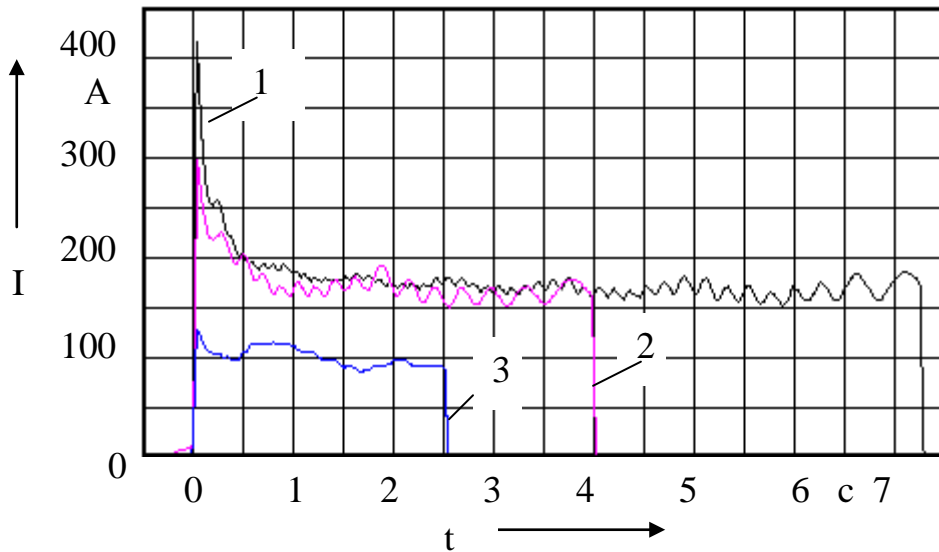
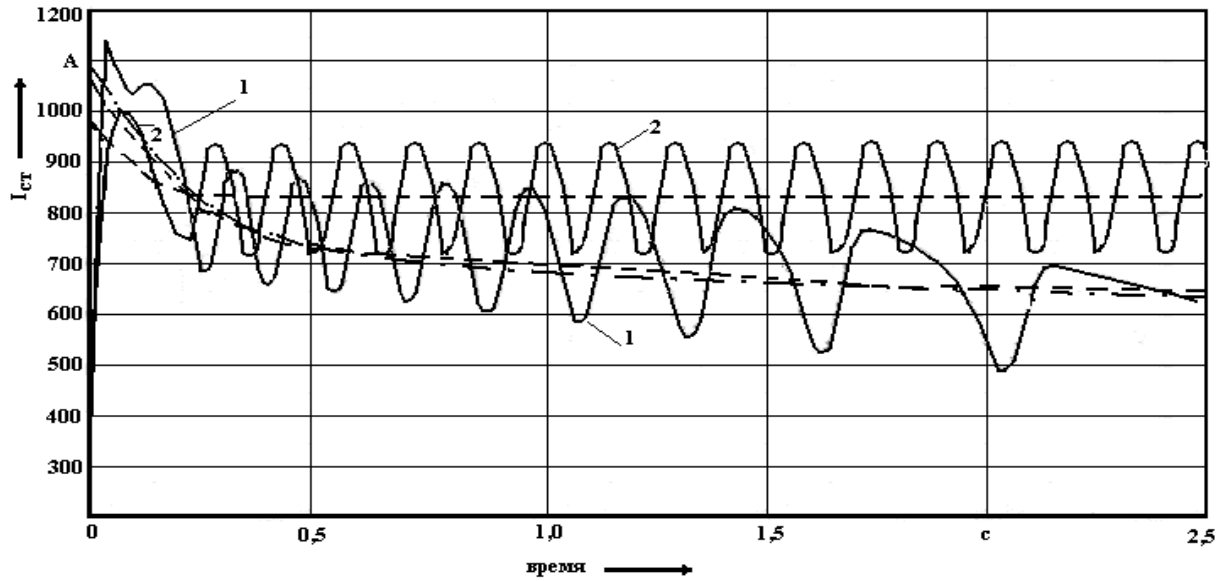


Рисунок 4.4 - Прокручивание коленчатого вала ДВС ЗиЛ-131 от емкостного накопителя энергии емкостью 120 Ф при начальных напряжениях: 1 – 18,1В; 2 – 14,1В; 3 – 10,3 В

При экспериментальном исследовании пуска двигателя автомобиля КамАЗ от емкостного накопителя энергии и от аккумуляторной батареи установлено, что в начальный момент времени ток от накопителя заметно выше тока от аккумуляторных батарей, что обусловлено различием в их внутреннем сопротивлении.

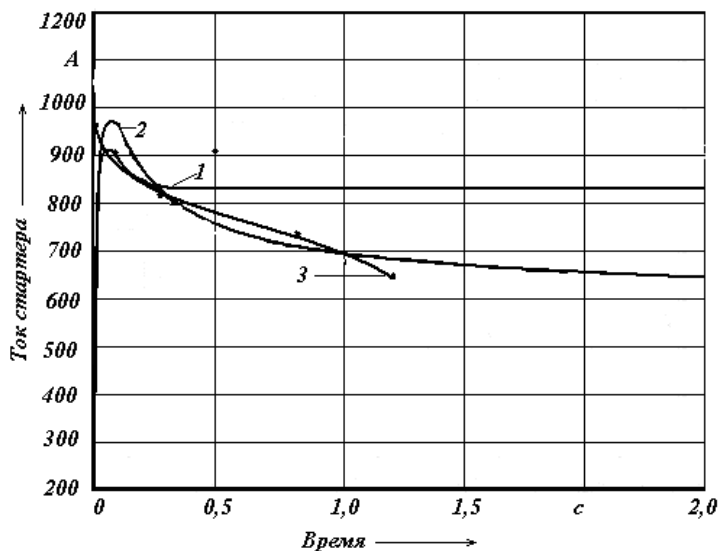
На рисунке 4.5 представлены экспериментальные зависимости среднего тока стартера от времени, из которых следует, что при пуске от накопителя энергии средний ток уменьшается во времени, что говорит о непостоянстве момента стартера.

Некоторое несоответствие экспериментальных и расчетных данных (рисунок 4.6) обусловлено тем, что расчетная модель справедлива только при насыщенной магнитной цепи стартера, а это условие выполняется только при напряжениях на двигателе стартера, превышающих половину номинального напряжения питания, в то время, как напряжение на накопителе энергии убывает при разряде стартерным током.



Температура минус  $25^{\circ}\text{C}$ , вязкость масла  $\nu = 0,48 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ , начальное напряжение на накопителе энергии МНЭ-100/28Б  $U_{\text{Н}} = 24 \text{ В}$ , сопротивление цепи  $R_{\text{ц}} = 0,003 \text{ Ом}$ , внутренне сопротивление накопителя энергии  $R_{\text{НЭ}} = 0,01 \text{ Ом}$ .

Рисунок 4.5 – Результаты процесса прокрутки двигателя КамАЗ-740 стартером СТ-142Б от накопителя энергии емкостью 100Ф (1) и штатными аккумуляторными батареями (2)



- 1 – штатные аккумуляторные батареи;
- 2 – накопитель энергии 100 Ф (эксперимент);
- 3 - накопитель энергии 100 Ф (расчет)

Рисунок 4.6 – Результаты процесса прокрутки коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 стартером СТ-142Б

Отметим, что напряжение на зажимах стартера в первый момент пуска не должно превышать номинальное напряжение более чем на 20-30 %, поскольку экспериментально установлено, что превышение номинального напряжения в 2 раза приводит к очень быстрому выходу стартера из строя (за 3 – 4 попытки пуска) за счет очень быстрого износа пластин коллектора. Впрочем, данный вопрос нуждается в дальнейших исследованиях.

Процесс прокручивания двигателя электростартером от аккумуляторной батареи даже после разгона коленчатого вала до средней установившейся частоты прокручивания, является переходным режимом работы электропривода. Это вызвано тем, что момент сопротивления двигателя периодически изменяется при повороте коленчатого вала и вызывает изменение крутящего момента, тока и частоты вращения стартера. Указанные причины существенно влияют на процесс пуска двигателя, особенно в условиях низких температур.

При пуске двигателя от накопителя энергии можно заметить некоторые отличия от пуска того же двигателя от аккумуляторных батарей [12, 19], и характеризуется, прежде всего, отсутствием этапов прокручивания с постоянной средней частотой вращения.

Обычно предполагают, что большую часть времени прокручивание происходит с практически постоянным средним моментом сопротивления вращению, а, следовательно, и постоянным крутящим моментом. В результате, в процессе прокрутки двигателя среднее значение тока стартера должно оставаться почти неизменным в течение всего периода прокрутки. При этом напряжение, как на стартере, так и источнике энергии линейно падает в функции времени.

Действительно, при прокручивании от батарей средний ток стартера, за исключением начального участка (около 0,2 с.), действительно остается практически постоянным, однако, при прокручивании от накопителя энергии этого не наблюдается. Следовательно, поскольку ток стартера и его момент

прямо пропорциональны друг другу, то, очевидно, момент изменяется (средний ток стартера все-таки несколько снижается во времени, что говорит о некотором уменьшении квазиустановившегося момента сопротивления прокручиванию).

Отметим, что о таком же изменении говорит и формула (2.4):  $M_{УСТ} = 0,94\sqrt{\omega_{УСТ}} + 2,5$ . Действительно, при изменении средней установившейся частоты от 11 до 4 рад/с (рисунок 4.5) установившийся момент на один цилиндр двигателя по (2.4) должен изменяться от 5,6 до 4,4 Нм, т.е. в 1,3 раза. С другой стороны, средний ток стартера, как видно из рисунка 4.5 снижается от 800 до 590 А, т.е. в 1,4 раза, что говорит о *лучшем соответствии предложенной модели*, чем модели, в которой средний ток стартера и момент сопротивления прокручиванию постоянны.

Пуск двигателя электростартером можно разделить на четыре периода. В первый период происходят переходные процессы, связанные с началом движения. Крутящий момент стартера достигает значения момента, при котором начинается движение коленчатого вала, а через сотые доли секунды ток и крутящий момент стартера достигают максимальных значений. Заканчивается этот период разгоном двигателя и снижением тока и крутящего момента до установившихся значений. Продолжительность первого периода зависит от мощности системы электрического пуска, момента инерции системы и обычно не превышает десятых долей секунды.

Второй период при использовании НЭ характерен равномерным снижением напряжения и средней частоты прокручивания коленчатого вала, которая периодически изменяется относительно среднего значения. Изменения вызваны непостоянством момента сопротивления двигателя при повороте коленчатого вала.

С появлением вспышек в цилиндрах начинается третий период пуска. По мере увеличения частоты прокручивания коленчатого вала возникают моменты, когда частота вращения якоря стартера становится меньше частоты



вращения шестерни привода. Продолжительность этого периода зависит от конструкции и температуры двигателя, вязкости масла, интенсивности горения топлива в отдельных цилиндрах и от подготовки двигателя к пуску.

Четвертый период начинается с момента выхода шестерни стартера из зацепления с венцом маховика. При регулярных вспышках в цилиндрах двигатель выходит на режим самостоятельной работы.

Следует заметить, что увеличение частоты прокручивания приводит к уменьшению продолжительности пуска. Использование в системе пуска емкостных накопителей энергии позволяет увеличить пусковую мощность, но в течение ограниченного времени, так как запас энергии накопителя значительно меньше, чем аккумуляторной батареи. Поэтому следует исследовать режим пуска двигателя при более высоких частотах прокручивания с меньшей продолжительностью. Продолжительность пуска дизельного двигателя принимается равной 15 с, что обусловлено энергией и мощностью, которую может отдать аккумуляторная батарея при предельной температуре надежного пуска холодного двигателя. Момент сопротивления двигателя с понижением температуры в результате увеличения вязкости моторного масла увеличивается, как уже отмечалось в главе 1.

Использование средств облегчения пуска, в частности ЭФУ, приводит к снижению минимальной пусковой частоты вращения. Следует заметить, что увеличение частоты прокручивания приводит к уменьшению продолжительности пуска.

Как показывает расчет, приведенный в приложении, при пуске только от накопителя энергии требуются избыточно высокие значения емкости накопителя (600 – 800 Ф) для обеспечения заданной продолжительности пуска. Очевидно, что применение подобного способа пуска нецелесообразно по техническим и экономическим соображениям. Видимо, целесообразной является возможность разгрузить аккумуляторную батарею от излишней токовой нагрузки, поскольку емкостной накопитель способен преодолеть момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала и без участия аккумуляторной

батареи. Следовательно, возможно применение батареи меньшей емкости, от которой и следует заряжать накопитель до напряжений, превышающих напряжение на аккумуляторной батарее через преобразователь параметров электрической энергии.

Экспериментальные результаты, представленные в данном разделе, позволяют сделать *вывод* о возможном применении предложенной выше схемы замещения для расчета пусковых характеристик систем пуска ДВС при использовании адаптивной системы электропитания с емкостным накопителем энергии и преобразователем напряжения, а также наметить пути совершенствования систем пуска ДВС автомобиля с применением импульсной адаптивной системы пуска.

## **4.2 Экспериментальное исследование системы зажигания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии**

В ходе экспериментов решались следующие задачи:

- разработка и сравнительное исследование вариантов системы зажигания с регулируемым напряжением;
- исследования адекватности изложенной выше математической модели и соответствия расчетных характеристик реальным характеристикам;
- проведение эксплуатационных испытаний разработанной системы зажигания в реальных условиях.

Лабораторные исследования систем зажигания проводились на стенде СПЗ-12, который позволяет имитировать возможные режимы работы двигателя внутреннего сгорания.

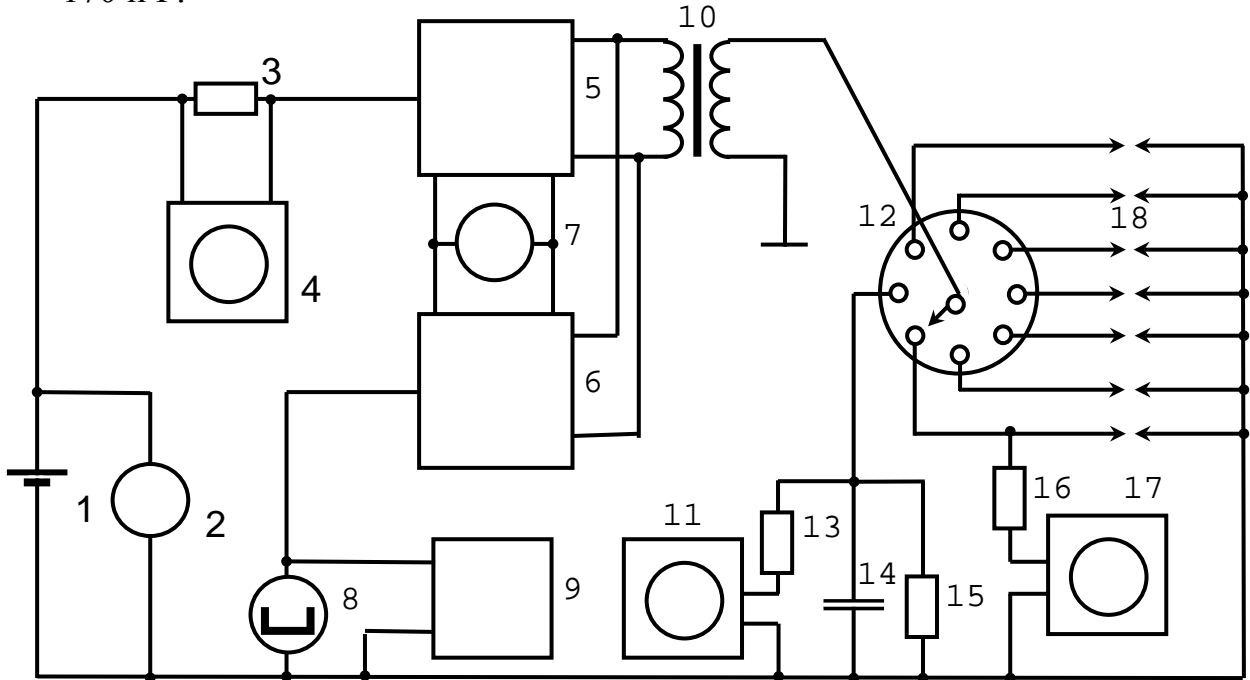
Разработанные устройства включали элементы системы зажигания бензинового двигателя [93]:

- катушку зажигания Б-118;
- транзисторный коммутатор ТК-200-01;
- дополнительный резистор СЭ-326;
- распределитель Р-351.

Питание разработанной системы зажигания при исследовании пусковых и рабочих характеристик осуществлялось от аккумуляторной батареи 6СТ-75ЭМС и источника ВСА-5К. Изменение питающего напряжения осуществлялось при помощи стабилизатора, а его измерение - с помощью цифрового универсального вольтметра В7-21.

Привод ротора распределителя Р-351 осуществлялся от стенда СПЗ - 12, который позволяет изменять частоту вращения в пределах от 10 до 3000 мин<sup>-1</sup>, поскольку точность показаний тахометра стенда СПЗ - 12 не соответствует ГОСТ 28827–90 [81], частота вращения ротора распределителя контролировалась электронным тахометром 7 ТЭ с погрешностью измерений не

более 0,01 %. Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 4.7. При исследовании пусковых и рабочих характеристик испытуемая система зажигания работала с нагрузкой  $R_{ш} = 1 \text{ МОм}$  и  $C_{ш} = 170 \text{ пФ}$ .



- 1 – аккумулятор 6СТ-75ЭМС, 2 – выпрямитель ВСА-5К, 3 – дополнительное сопротивление СЭ 326, 4 – двухлучевой осциллограф С1-18, 5 – силовой блок, 6 – коммутатор ТК-200-01, 7 – вольтметр В7-21, 8 – стенд СПЗ-12, 9 – электронный тахометр 7ТЭ, 10 – катушка зажигания Б 118, 11 – двухлучевой осциллограф СИ-1, 12 – распределитель Р351, 13 – делитель напряжения, 14 – нагрузочный конденсатор, 15 – нагрузочное сопротивление, 16 – делитель напряжения, 17 – двухлучевой осциллограф СИ-1, 18 – разрядник стенда СПЗ - 12.

Рисунок 4.7 – Функциональная схема экспериментальной установки.

Пробивное напряжение системы зажигания измерялось с помощью электронного осциллографа, подключенного к искровому разряднику через высоковольтный делитель напряжения с коэффициентом деления, равным 1000. Переходные процессы в первичной цепи системы зажигания наблюдались с помощью двухлучевого осциллографа С1-18. Для исключения шунтирования первичной цепи при одновременном наблюдении переходных про-

цессов в первичной и вторичной цепях системы зажигания осциллограф не заземлялся. Бесперебойность искрообразования определялась визуально и на слух.

Сравнительные испытания системы, содержащей разработанное устройство и систему зажигания в режиме пуска холодного двигателя производились согласно ГОСТ 28827-90 [81] при температуре окружающей среды  $+23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , которая поддерживалась постоянной в ходе всего испытания.

Измерение максимального вторичного напряжения, развиваемого разработанной системой, производилось на высоковольтном проводе от восьмого вывода распределителя.

Измерение скорости нарастания тока разрыва производилось путем измерения падения напряжения на дополнительном резисторе. Оба измерения проводились в режиме, имитирующем холодный пуск ДВС. Добавочный резистор при исследованиях пусковых характеристик был замкнут накоротко.

Рабочие характеристики также исследовались при температуре окружающей среды  $+23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , частота вращения вала распределителя устанавливалась согласно ГОСТ 28827-90 [81] в диапазоне от 1600 до 2500  $\text{мин}^{-1}$  с интервалом 250  $\text{мин}^{-1}$ , напряжение питания поддерживалось в пределах от 13,5 до 18 В.

***Лабораторные исследования системы зажигания с повышающими преобразователями параметров электрической энергии.***

Экспериментальная система зажигания (функциональная схема которой показана на рисунках 3.3 и 3.4) восстанавливает напряжение бортовой сети при снижении напряжения аккумуляторной батареи.

Как следует из характеристики разработанного преобразователя, приведенной на рисунке 4.8, при напряжении бортовой сети 5 В выходное напряжение преобразователя, питающего систему зажигания, составляло 7,5 В, что позволило получить бесперебойное искрообразование в диапазоне ча-

стот вращения коленчатого вала ДВС от 50 до 75 оборотов в минуту. Однако при увеличении частоты вращения  $\geq 75 \text{ мин}^{-1}$  наблюдались перебои в искрообразовании. В случаях, когда входное напряжение преобразователя превышало 5,5 В, его выходное напряжение оказывалось выше 8,3 В. При этом во всем диапазоне пусковых частот вращения коленчатого вала ДВС наблюдалось бесперебойное искрообразование.

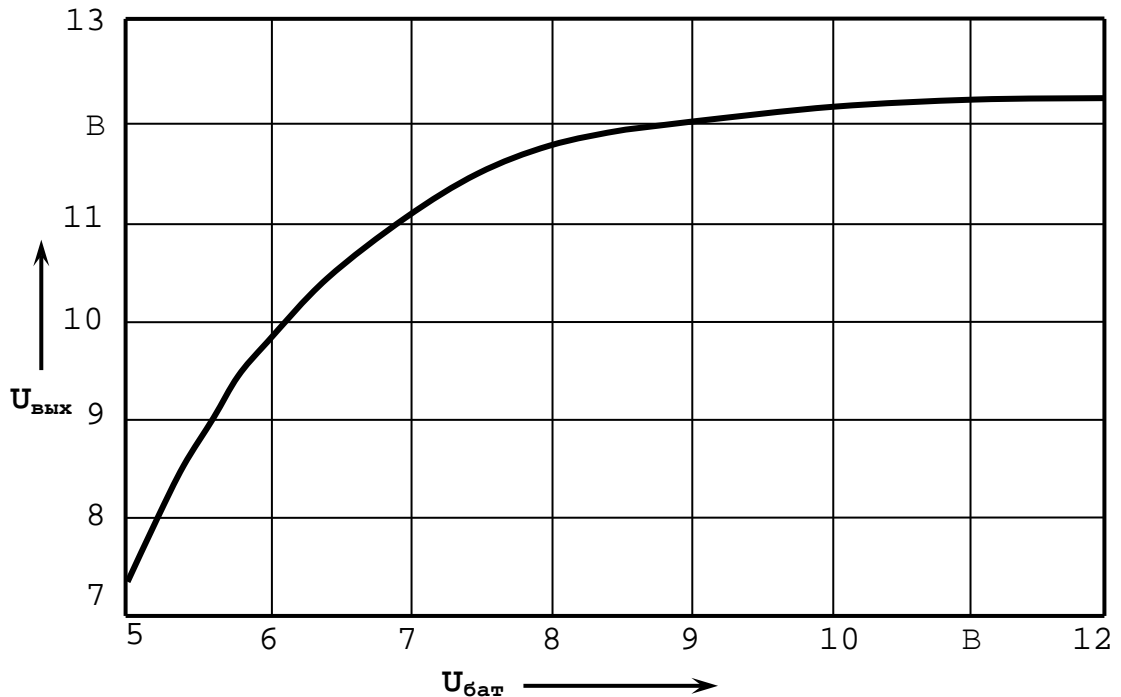
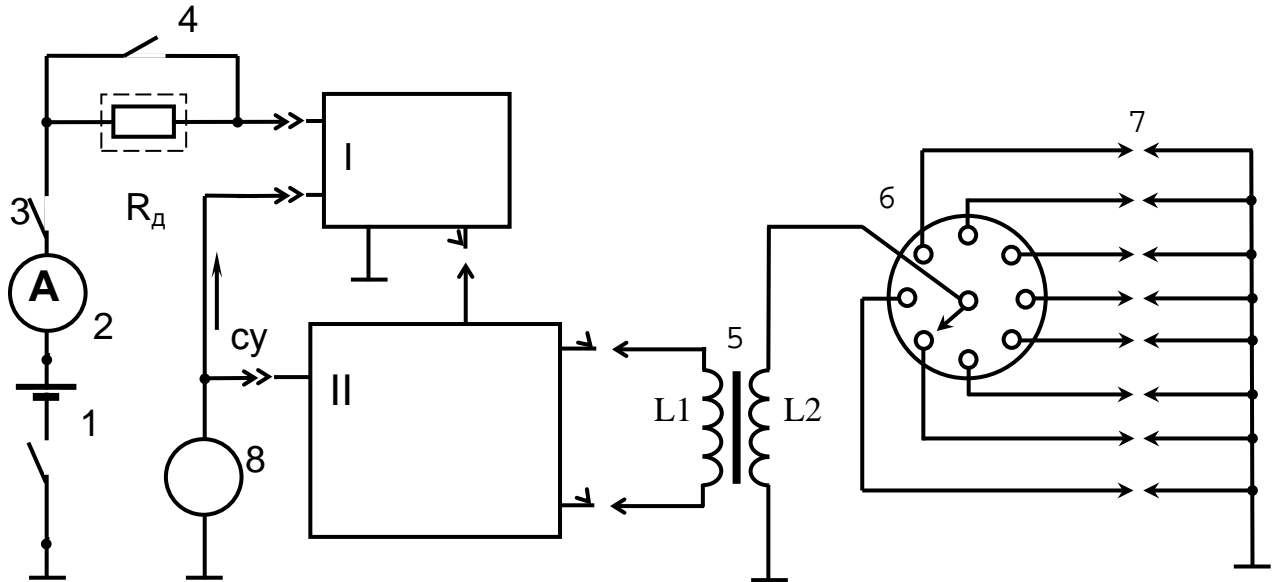


Рисунок 4.8 – Зависимость выходного напряжения преобразователя от входного напряжения.

Подобное построение преобразователя обладает и недостатками, о которых уже говорилось в предыдущей главе. Для реализации зависимостей напряжения питания от частоты вращения коленчатого вала были проведены испытания устройства, реализующего зависимость (2.61) для области пусковых частот. На рисунке 4.9 представлена функциональная схема преобразователя напряжения, содержащая датчик частоты вращения коленчатого вала.

Работает устройство следующим образом. На устройство управления преобразователем параметров электрической энергии поступает сигнал управления (су) с датчика частоты вращения коленчатого вала ДВС. Наличие

этого датчика частоты вращения коленчатого вала и схемы управления позволяет сформировать опорное напряжение, величина которого в области пусковых частот определяется уравнением (2.61).



1 - аккумуляторная батарея, 2 - амперметр, 3 - выключатель зажигания, 4 - дополнительное сопротивление, 5 - катушка зажигания, 6 - распределитель, 7 - свечи зажигания, 8 - датчик частоты вращения коленчатого вала, cy – сигнал управления; I - преобразователь и блок управления, II - коммутатор.

Рисунок 4.9 - Функциональная схема системы зажигания с датчиком частоты вращения коленчатого вала двигателя

Лабораторные исследования преобразователя напряжения с датчиком частоты вращения коленчатого вала проведены по той же схеме и на той же установке, что описана ранее (рисунок 4.7). На рисунке 4.10 представлена полученная зависимость выходного напряжения преобразователя от частоты вращения коленчатого вала ДВС. Из сопоставления с теоретической зависимостью (рисунок 2.10 для области пусковых частот) следует полная идентичность этих зависимостей. Из рисунка 4.11 видно, что схема по рисунку 4.8 обеспечивает требуемое превышение вторичного напряжения над пробивным напряжением, но, естественно, она не в состоянии автоматически изменять коэффициент запаса при изменении, например, межэлектродного разрядного промежутка.

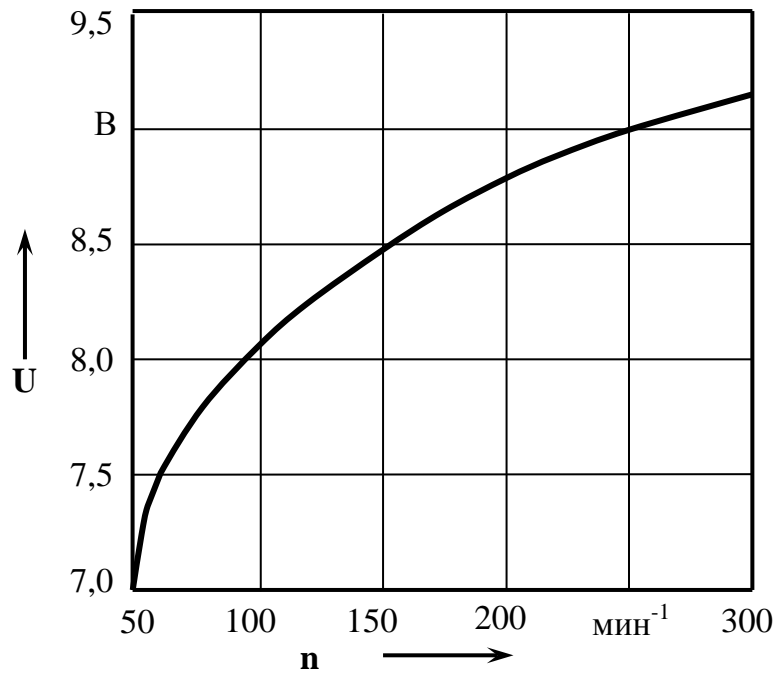
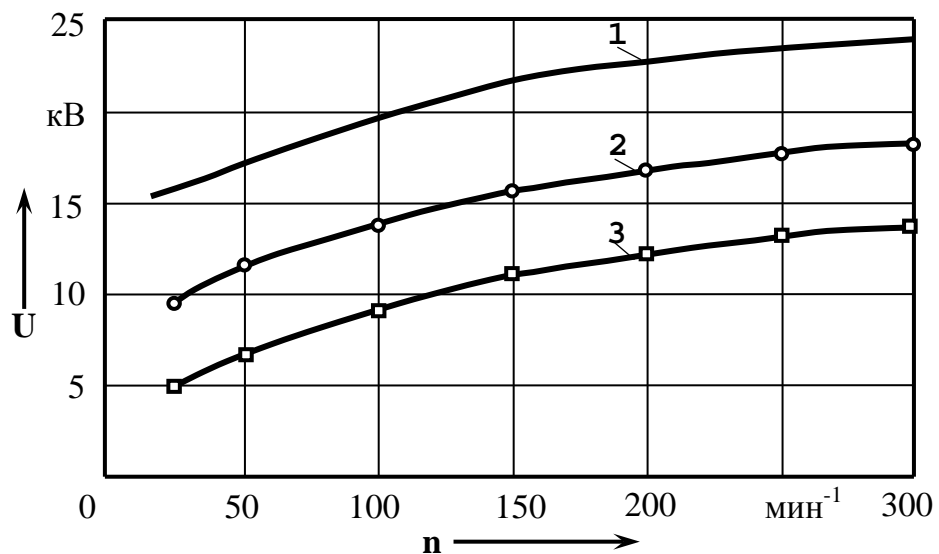


Рисунок 4.10 - Зависимость выходного напряжения преобразователя от скорости вращения коленчатого вала ДВС при напряжении питания 5,5 – 7,0 В.



1 - вторичное напряжение; 2 – пробивное напряжение при искровом промежутке 1,2 мм; 3 - пробивное напряжение при искровом промежутке 0,7 мм.

Рисунок 4.11 - Зависимость выходного напряжения системы зажигания с преобразователем от частоты вращения коленчатого вала ДВС.

Выходное напряжение преобразователя не меняется при изменении напряжения бортовой сети, что исключает перегрузки элементов системы



зажигания и обеспечивает бесперебойное искрообразование во всем диапазоне пусковых частот.

### ***Исследование эффективности пуска системы зажигания при холодном пуске двигателя внутреннего сгорания***

Описываемые испытания проводились с целью определить влияние системы зажигания с преобразователем напряжения и датчиком частоты вращения коленчатого вала на пусковые качества бензинового ДВС автомобиля. При этом работоспособность системы зажигания оценивалась в наиболее тяжелых пусковых режимах - без предварительного разогрева. Пуск двигателя осуществлялся с помощью стандартных аккумуляторных батарей (6СТ-90 ЭМС). Варианты состояния батарей:

- холодные – 100 %-ной заряженности;
- холодные – 75 %-ной заряженности.

Испытания заключались в сопоставлении холодных пусков двигателя с помощью экспериментальной и штатной систем зажигания при одинаковой температуре воздуха. Основным оценочным параметром служило количество попыток пуска.

Продолжительность каждой попытки составляла до 10 с с перерывом в 1 мин. Во избежание сбоев в последующем пуске из-за забрызгивания свечей после каждого пуска производился прогрев двигателя в течение 20 – 30 мин при частоте вращения коленчатого вала 1500 – 2000 мин<sup>-1</sup>. С той же целью после каждого неудачного пуска свечи проверялись и очищались. Кроме того, эта операция производилась регулярно через каждые три пуска. За время испытаний произведено 35 пусков двигателя (таблица 3.1, приложение 3) при разных отрицательных температурах среды (при 100 % заряженности аккумуляторной батареи – таблица 4.3, при аккумуляторной батарее, заряженной на 75 %, - таблица 4.4). Только при попытках № 20, 26 и 32 (таблица 3.1) не был произведен пуск из-за неудовлетворительного смесеобразования и ин-

тенсивного забрызгивания свечей после 2-3 попыток, что не позволило пустить двигатель.

Для каждого температурного диапазона во второй колонке таблиц 4.3 и 4.4 указано количество попыток пуска ( $N_{\text{non}}$ ), а в скобках – количество удачных попыток пуска двигателя ( $N_{\text{уд}}$ ). В третьей колонке приводится коэффициент  $u$  равный отношению удачных пусков ДВС к количеству попыток его пуска. Чем ближе к единице этот коэффициент, тем лучше пусковые свойства двигателя.

В четвертой и пятой колонках таблиц 4.3 и 4.4 приведено суммарное число удачных и неудачных попыток пуска соответственно для всего температурного диапазона. В связи с относительно небольшим количеством экспериментальных данных статистическая обработка результатов проведена для всего температурного диапазона.

При обработке экспериментальных данных применялся критерий  $\chi^2$  (хи-квадрат) [141, 231]. Под нулевой гипотезой понималось, что результаты пуска при использовании серийной и экспериментальной систем зажигания статистически не различимы (вероятности пуска ДВС одинаковы).

При использовании 100 % заряженных аккумуляторных батарей параметр  $T$  составил 0,147 (по данным четвертой и пятой колонок таблицы 4.3), а критический параметр  $T_{\text{кр}}$ , при котором еще не отвергается нулевая гипотеза, (по данным [231] при доверительной вероятности 0,9) составляет  $T_{\text{кр}} = 2,706$ . Следовательно,  $T < T_{\text{кр}}$ . Это означает, что в случае применения аккумуляторной батареи, заряженной на 100 %, вероятности удачного пуска ДВС от серийной и экспериментальной систем зажигания статистически не различимы.

Для батарей, заряженных на 75 %, ситуация совершенно иная (таблица 4.4). Параметр  $T = 15,57$  оказывается много больше, чем  $T_{\text{кр}} = 2,706$ . Из этого можно сделать вывод, что нулевая гипотеза отвергается, то есть вероят-

ность пуска при использовании экспериментальной системы зажигания выше, чем при использовании серийной.

Гистограммы холодного пуска для штатной и экспериментальной систем зажигания в случае применения аккумуляторной батареи, заряженной на 100 %, показаны на рисунке 4.12, а в случае аккумуляторной батареи, заряженной на 75 %, - на рисунке 4.13. Таким образом, применение системы зажигания с регулированием вторичного напряжения позволяет улучшить пусковые характеристики бензинового двигателя при отрицательных температурах окружающей среды и частично разряженной аккумуляторной батарее. Что касается случаев с полностью заряженной аккумуляторной батареей, то применение экспериментальной системы зажигания обладает, прежде всего, тем преимуществом, что позволяет исключить избыточные перегрузки элементов системы зажигания.

Таблица 4.3 - Результаты обработки экспериментальных данных по низкотемпературному пуску при батарее, заряженной на 100 %

Диапазон температур, °С	-18... -19		-22... -24		-25... -26		Всего	
	$N_{non}(N_{y\delta})$	$u$	$N_{non}(N_{y\delta})$	$u$	$N_{non}(N_{y\delta})$	$u$	$N_{y\delta}$	$N_{неy\delta}$
1	2	3	2	3	2	3	4	5
Серийная	7(3)	0,43	8(4)	0,5	8(3)	0,38	10	13
Экспериментальная	4(2)	0,5	5(3)	0,6	5(2)	0,4	7	7

Таблица 4.4 - Результаты обработки экспериментальных данных по низкотемпературному пуску при батарее, заряженной на 75 %

Диапазон температур, °С	-18... -19		-22... -24		-25... -26		Всего	
	$N_{non}(N_{y\delta})$	$u$	$N_{non}(N_{y\delta})$	$u$	$N_{non}(N_{y\delta})$	$u$	$N_{y\delta}$	$N_{неy\delta}$
1	2	3	2	3	2	3	4	5
Серийная	7(3)	0,43	6(1)	0,17	9(1)	0,11	5	17
Экспериментальная	7 (4)	0,57	8(3)	0,38	11(4)	0,36	11	15

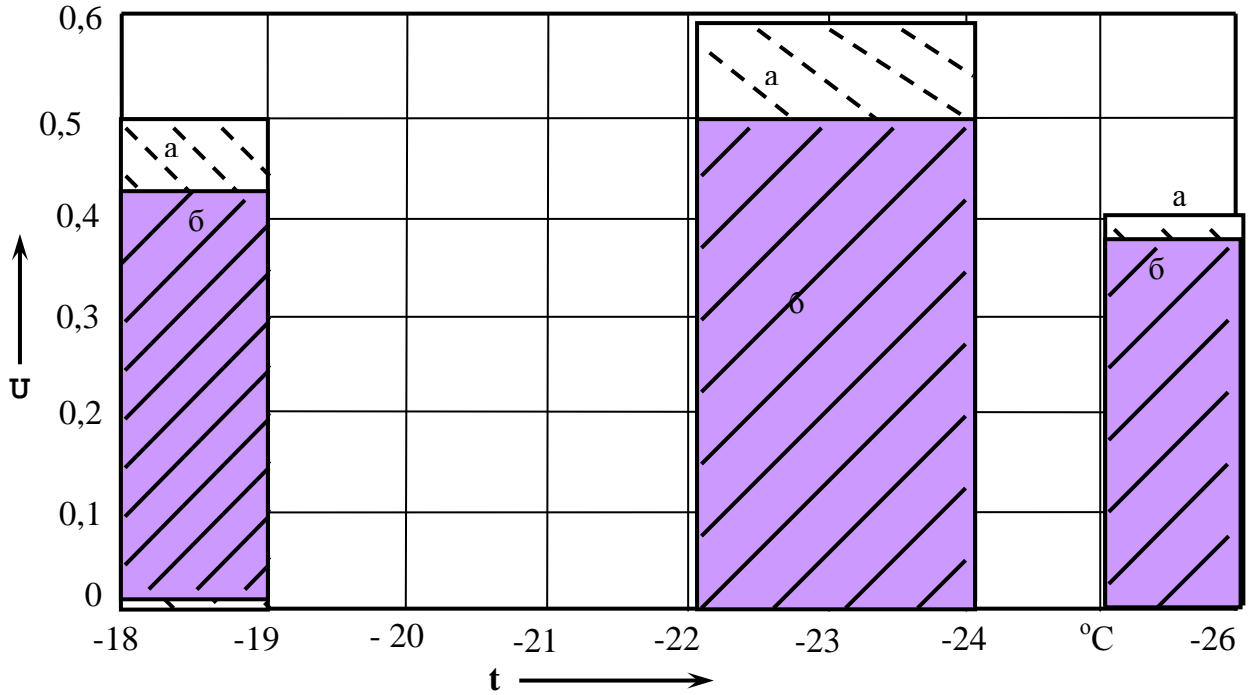


Рисунок 4.12 – Гистограммы холодного пуска для экспериментальной (а) и штатной (б) систем зажигания при аккумуляторной батарее, заряженной на 100 %.

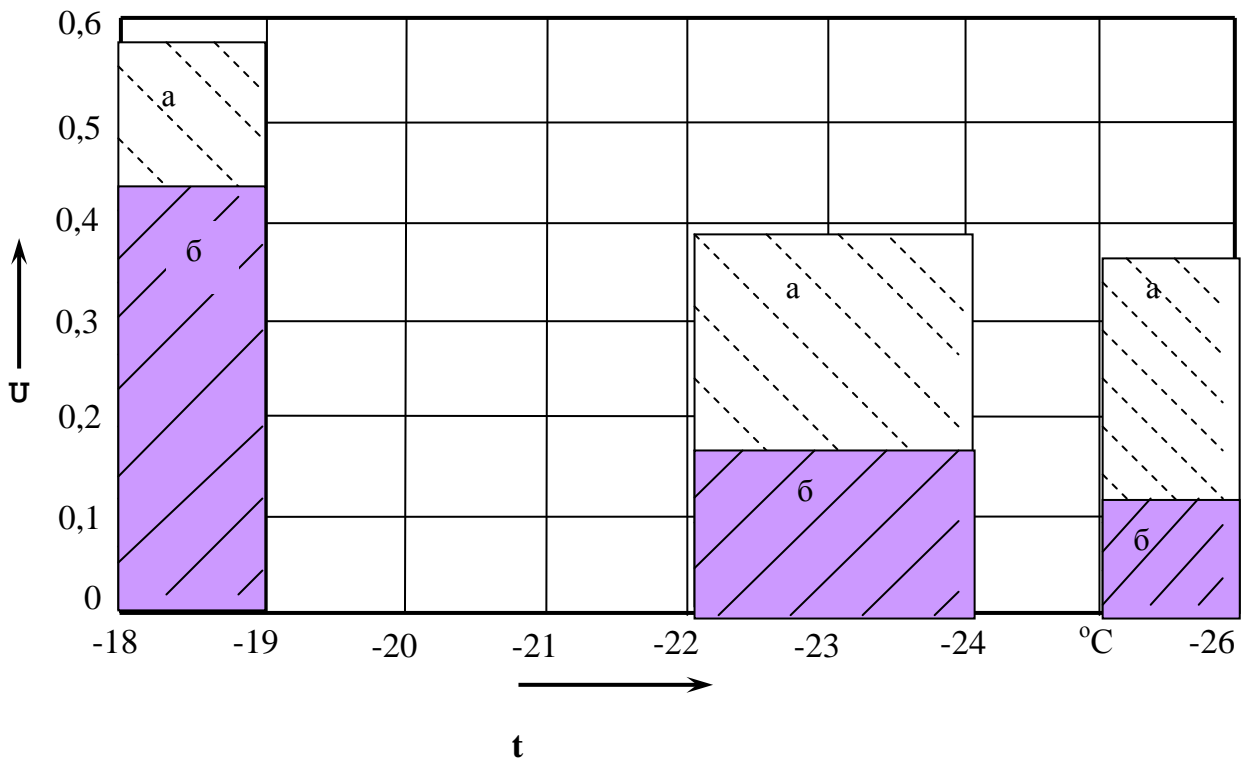


Рисунок 4.13 – Гистограммы холодного пуска для экспериментальной (а) и штатной (б) систем зажигания при аккумуляторной батарее, заряженной на 75 %.

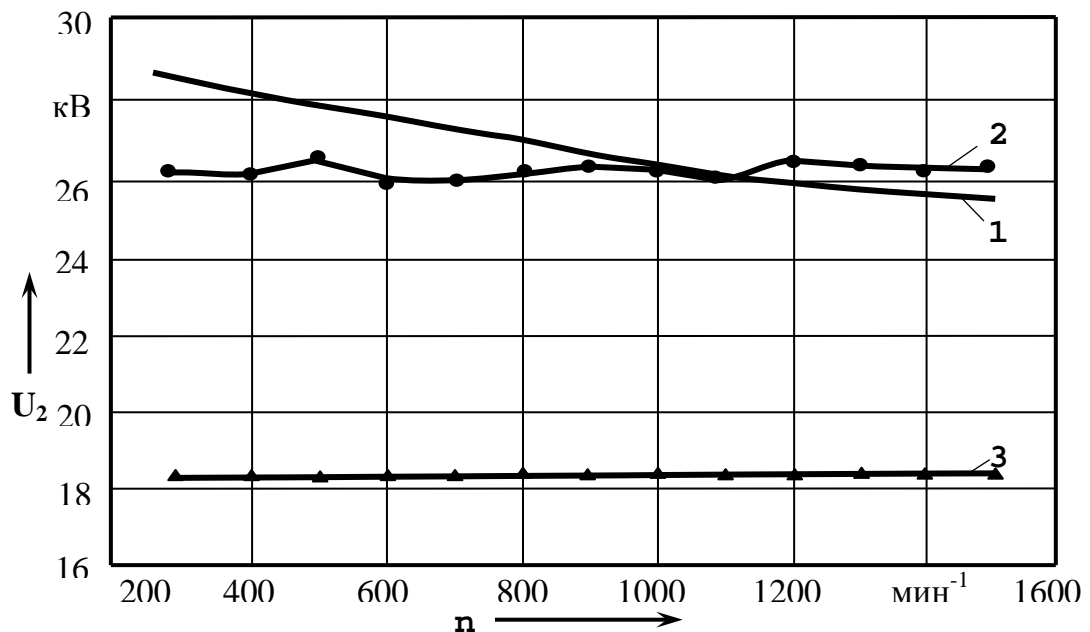
Для области рабочих частот, как следует из рисунка 2.10, требуемое напряжение так зависит от частоты вращения коленчатого вала, что нельзя ограничиваться одним только его повышением. Как минимум, требуется еще и дополнительный понижающий преобразователь. Такое схемотехническое решение рассмотрено в главе 3 (рисунки 3.6 и 3.7), а его экспериментальное исследование приведено ниже.

### ***Лабораторные исследования системы зажигания с постоянным коэффициентом запаса***

Лабораторные исследования системы зажигания, обеспечивающей постоянный коэффициент запаса по напряжению, проведены по той же схеме и на той же установке, что и системы зажигания с повышающими преобразователями напряжения. Поскольку описанный вариант системы зажигания рассчитан на рабочие частоты, он испытывался только в данной области частот. Зависимость коэффициента запаса от пробивного напряжения и напряжения питания системы зажигания определялась одновременно для двух систем зажигания – штатной и экспериментальной. При этом пробивное напряжение изменялось за счет изменения величины искрового промежутка трехэлектродного игольчатого разрядника. При зазоре между его электродами 7 мм пробивное напряжение составляет ~ 18,3 кВ, а вторичное напряжение экспериментальной системы зажигания, как видно из рисунка 4.14, остается практически постоянным и составляет ~ 26 кВ.

Что касается вторичного напряжения штатной системы зажигания, то оно изменяется от 28,8 кВ при  $n = 300$  об/мин до 25 кВ при 1600 об/мин (рисунок 4.14). Как и следовало ожидать, оно не зависит от пробивного напряжения искрового промежутка разрядника, но зависит от частоты вращения коленчатого вала ДВС. При этом коэффициент запаса уменьшается от 1,6 до 1,36.

Действительно, как следует из уравнения (1.6), при увеличении частоты вращения коленчатого вала ДВС время накопления энергии в первичной цепи снижается из-за уменьшения времени, приходящегося на один оборот распределительного вала (при этом уменьшается время открытого состояния выходного транзистора коммутатора). В силу этого при постоянном напряжении питания (14 В) и сопротивлении первичной цепи (2 Ом) ток разрыва должен снижаться, что иллюстрирует рисунок 4.15 (кривая 1).



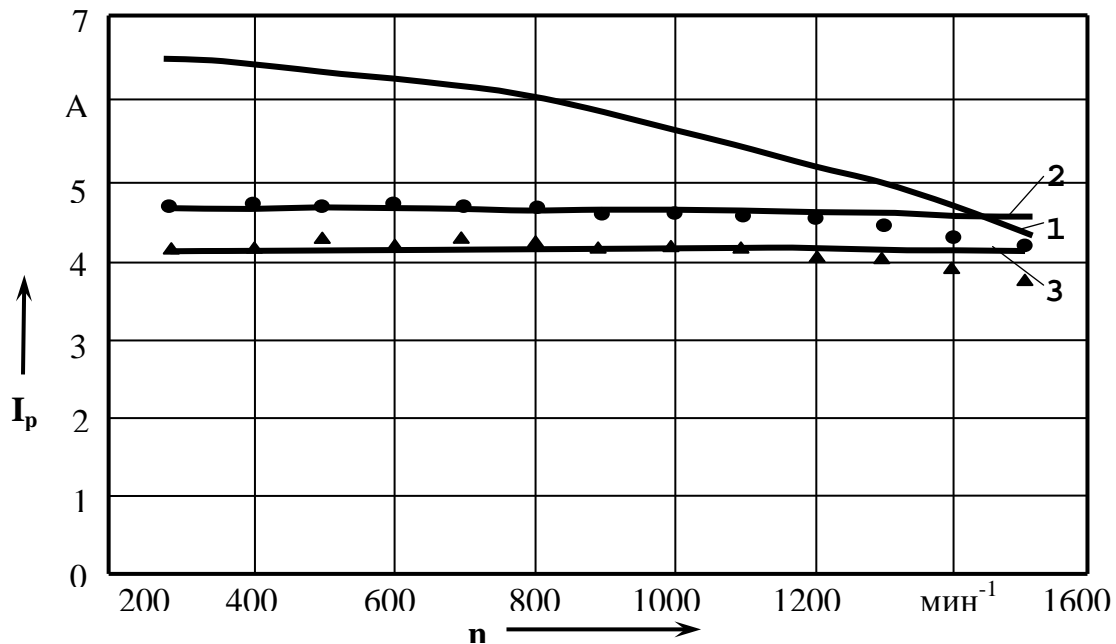
1 – вторичное напряжение, развиваемое штатной системой зажигания;  
2 – вторичное напряжение, развиваемое экспериментальной системой зажигания; 3 – пробивное напряжение.

Рисунок 4.14 – Зависимости вторичного и пробивного напряжений от частоты вращения коленчатого вала ДВС в области рабочих частот.

Однако для обеспечения постоянного коэффициента запаса его необходимо поддерживать на заданном уровне (поскольку в нашем случае пробивное напряжение не зависит от скорости вращения, так как испытания проводились на стенде и искровой промежуток разрядника поддерживался постоянным).

Найденный из уравнения (1.3) ток разрыва при коэффициенте запаса равном 1,4 и пробивном напряжении  $\sim 18,3$  кВ составляет 4,5 А (сплошная линия 2 на рисунке 4.14). На том же рисунке представлена зависимость тре-

буемого тока разрыва при таком же коэффициенте запаса и пробивном напряжении  $\sim 12,3$  кВ (сплошная линия 3).



1 – штатная система зажигания; 2 – экспериментальная система зажигания при пробивном напряжении 18,3 кВ; 3 – экспериментальная система зажигания при пробивном напряжении 12,3 кВ.

Рисунок 4.15 – Зависимости тока разрыва от скорости вращения коленчатого вала

Для обеспечения требуемых токов разрыва нами рассчитаны зависимости напряжения системы зажигания от частоты вращения, при реализации которых ток разрыва, обеспечивающий заданный коэффициент запаса, должен оставаться постоянным. Они представлены на рисунке 4.16 сплошными линиями для пробивных напряжений: 18,3 кВ (вторичное напряжение  $\sim 26,2$  кВ – кривая 1) и 12,3 кВ (вторичное напряжение  $\sim 18,2$  кВ – кривая 2), при коэффициенте запаса, равном 1,4.

На том же рисунке точками показаны экспериментально определенные значения напряжения, вырабатываемые опытной системой зажигания при указанных выше вторичных напряжениях. На рисунке 4.15 (кривые 2 и 3) точками показаны экспериментальные значения тока разрыва, пересчитанные

из кривых 1 и 2 рисунка 4.14. Из рисунка видно хорошее соответствие требуемых и экспериментально найденных значений тока разрыва, при которых обеспечивается заданный коэффициент запаса.

Еще раз подчеркнем, что вторичное напряжение экспериментальной системы зажигания оставалось практически постоянным во всем диапазоне частот вращения и составило в среднем 26,2 кВ (рисунок 4.14), превышая пробивное напряжение в 1,4 раза.

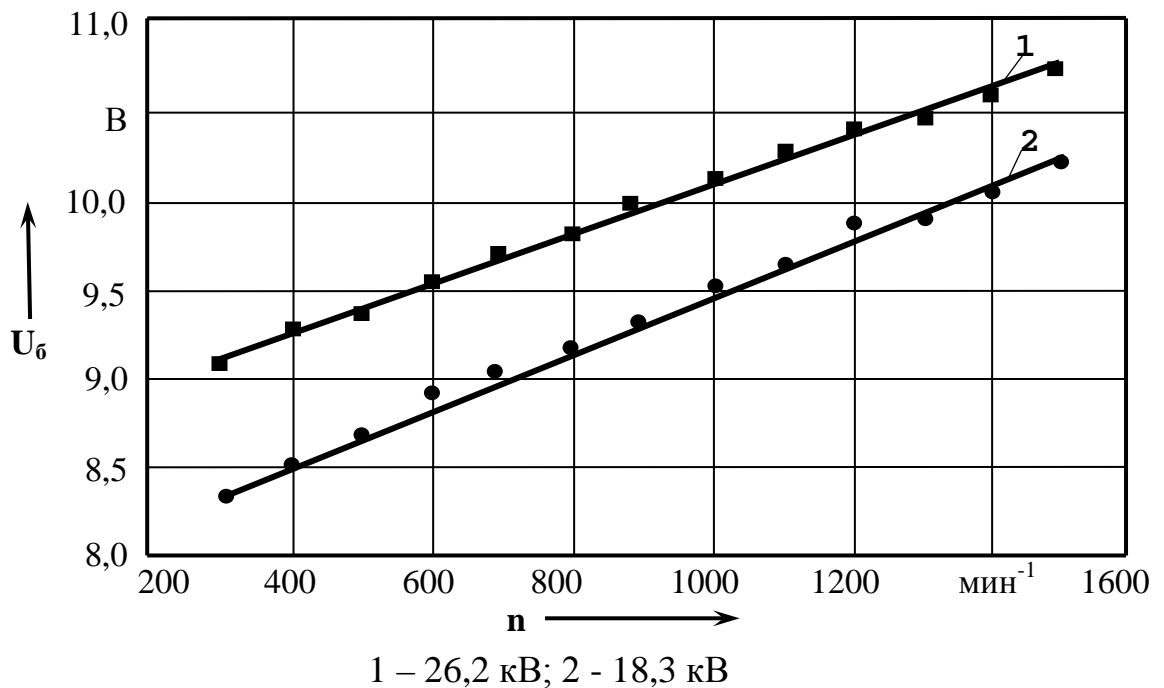


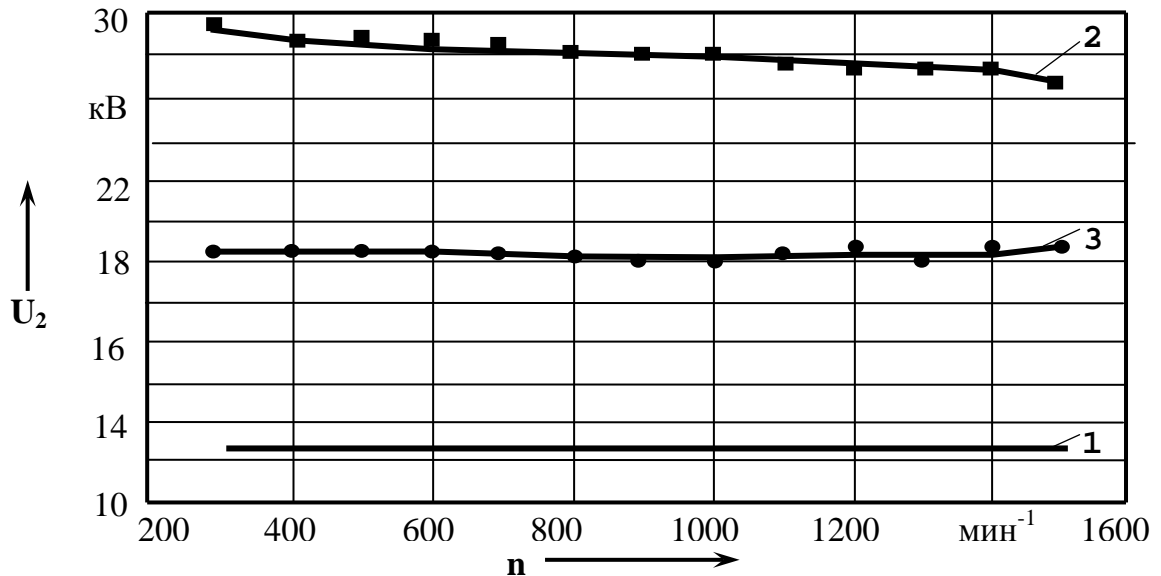
Рисунок 4.16 – Зависимости напряжения питания, вырабатываемого экспериментальной системой зажигания при различных вторичных напряжениях

На рисунке 4.17 показаны зависимости вторичного и пробивного напряжений при другом искровом промежутке (5 мм) между электродами разрядника.

Как видим, пробивное напряжение заметно снизилось, а вторичное напряжение штатной системы зажигания никак на это не реагирует, что и ожидалось. Более того, оно даже несколько повысилось. Поэтому коэффициент запаса заметно вырос и составил уже 2,24. В то же время вторичное



напряжение экспериментальной системы зажигания снизилось пропорционально уменьшению пробивного напряжения, сохранив прежний коэффициент запаса 1,4, что наглядно иллюстрирует преимущества разработанной системы зажигания.



1 – пробивное напряжение; 2 – вторичное напряжение штатной системы зажигания; 3 – вторичное напряжение экспериментальной системы зажигания

Рисунок 4.17 - Зависимости вторичных и пробивных напряжений от частоты вращения коленчатого вала

### *Сравнительный анализ характеристик бензинового двигателя с различными вариантами системы зажигания*

Возможные режимы работы бензинового двигателя могут изменяться в весьма широких пределах, что определяется условиями эксплуатации автомобиля.

Целью исследований, представленных в этом параграфе, являлось изучение влияния характеристик системы зажигания с автоматическим регулированием вторичного напряжения на показатели двигателя, которые сравнивались с показателями двигателя, укомплектованного штатной системой за-

жигания. При проведении экспериментов фиксировались следующие показатели: частота вращения коленчатого вала  $n$ , крутящий момент  $M_k$  на валу двигателя (нагрузка), часовой расход топлива  $G_T$ , мощность двигателя  $N_e$  и удельный расход топлива  $g_e$ . Мощность двигателя и удельный расход топлива определялись по формулам, известным из литературы [21, 232, 233]:

$$N_e = \frac{M_k n}{9570}, \quad (5.1)$$

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} 10^3, \quad (5.2)$$

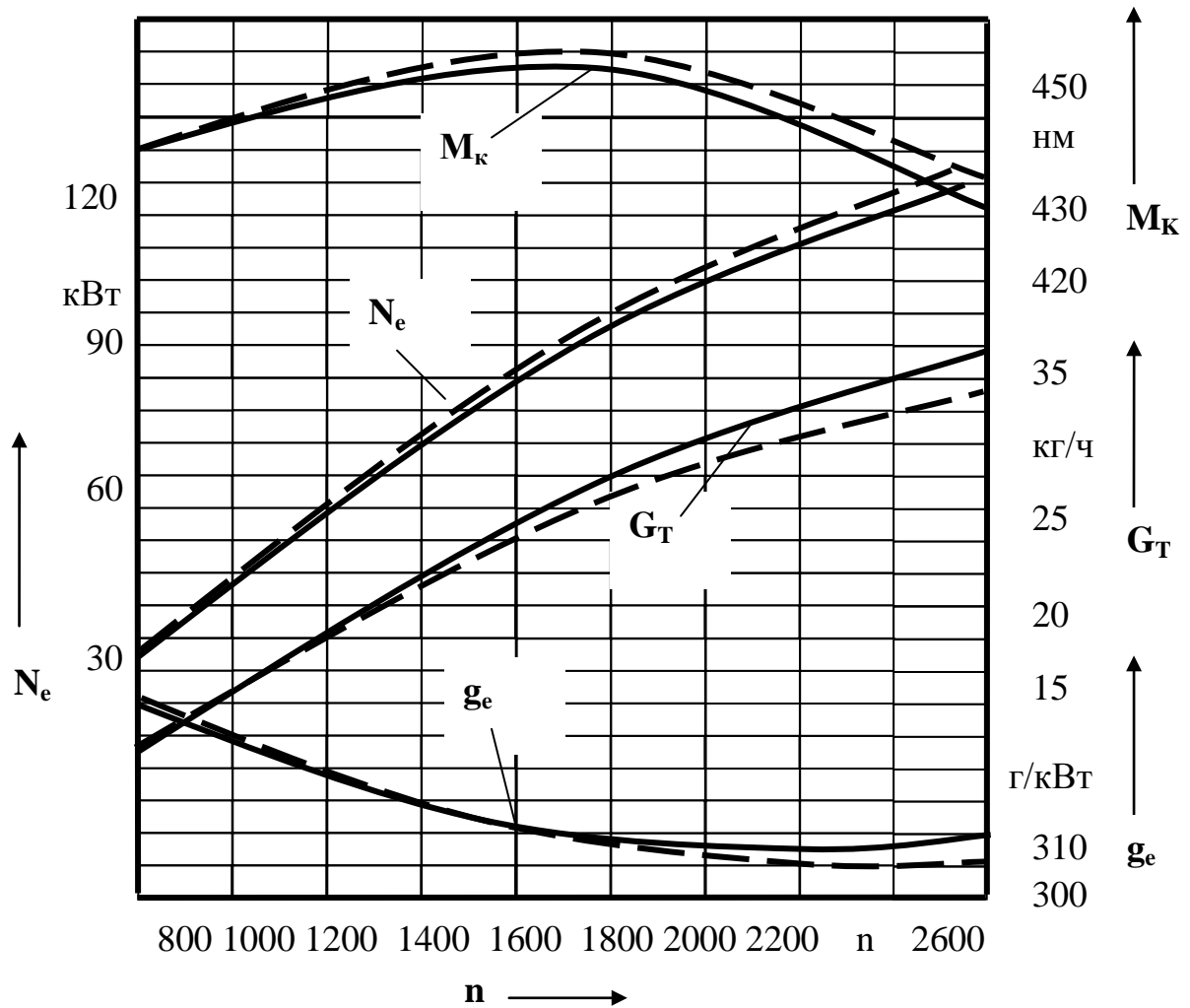
где  $M_k$  – момент на валу, Нм;

$n$  – частота вращения коленчатого вала,  $\text{мин}^{-1}$ .

В соответствии с ГОСТ 14846-81 [232] значения крутящего момента и расхода топлива приведены к стандартным условиям (температура окружающего воздуха  $+18$  °С, температура топлива  $+15$  °С, атмосферное давление 765 мм. рт. ст., относительная влажность воздуха 93 %, поправочный коэффициент для расхода топлива составил 1,022, а для других указанных выше величин – 1,051). Как следует из предыдущего параграфа, при установке системы зажигания с регулируемым вторичным напряжением следует ожидать снижения износа электродов свечей зажигания из-за уменьшения средней мощности системы зажигания, связанного со снижением коэффициента запаса. По этой причине для получения примерно равных межэлектродных промежутков свечей при проведении моторных испытаний экспериментальной и серийной систем зажигания на двигателе, оснащённом экспериментальной системой зажигания, был увеличен начальный искровой промежуток свечей зажигания по сравнению со штатной системой зажигания с 0,7 до 0,8 мм.

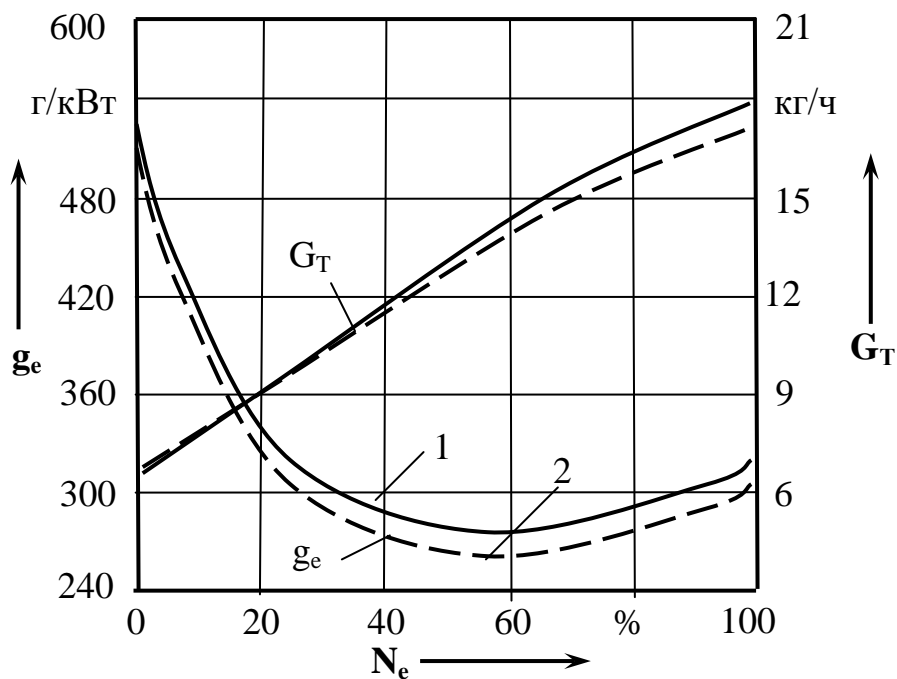
Нагрузочные и скоростные характеристики двигателя представлены на рисунках 4.18 и 4.19. Из рисунков виден одинаковый характер изменения удельного  $g_e$  и часового  $G_T$ , расхода топлива на двигателе, оснащённом как экспериментальной, так и штатной системами зажигания.

Анализ скоростной характеристики оснащенного опытной системой зажигания бензинового двигателя показывает, что при частотах вращения коленчатого вала свыше  $1000 \text{ мин}^{-1}$ , он имеет повышенные примерно на 3,5% эффективную мощность и крутящий момент; удельный расход топлива при этом оказывается ниже на 3 - 4 %, вместе с тем, подобные изменения находятся в пределах погрешности измерений.



— — — - экспериментальная система зажигания,  
 ————— - штатная система зажигания

Рисунок 4.18 – Скоростные характеристики бензинового двигателя



1 - штатная система зажигания,  
2 - экспериментальная система зажигания

Рисунок 4.19 – Нагрузочная характеристика бензинового двигателя

Из изложенного выше можно сделать вывод, что система зажигания с регулируемым вторичным напряжением адекватно реагирует на изменение пробивного напряжения и, как минимум, не нарушает бесперебойности искрообразования, поскольку подобные нарушения повлекли бы обязательное снижение эффективных показателей двигателя.

***Перспективы применения систем зажигания с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии***

Описанные выше системы зажигания требуют сравнительного анализа области их применения.

Система зажигания с повышающим преобразователем параметров электрической энергии и датчиком частоты вращения коленчатого вала двигателя обеспечивает бесперебойное искрообразование во всем необходимом

диапазоне пусковых частот вращения коленчатого вала. Поскольку при этом возрастает надежность пуска двигателя, ее можно применять на серийно выпускаемой технике.

Система зажигания для области рабочих частот с понижающим преобразователем напряжения позволяет автоматически поддерживать заданный коэффициент запаса по вторичному напряжению. При этом снижается нагрузка на элементы системы зажигания и уменьшается износ свечей.

При отсутствии в системе пуска емкостного накопителя энергии необходимо применять оба преобразователя напряжения совместно с общей системой зажигания.

Переключение с повышающего к понижающему преобразователю производится при этом автоматически в процессе перехода из режима пуска в рабочий режим с помощью ключа зажигания.

В случае применения в системе пуска только емкостного накопителя энергии, токовая нагрузка на аккумуляторную батарею снижается, что приводит к повышению напряжения бортовой сети. Это особенно эффективно проявляется при разделении цепей электроснабжения (система пуска – от накопителя энергии, а система зажигания - от аккумуляторной батареи). При этом отпадает необходимость в повышающем преобразователе напряжения системы зажигания, поскольку понижающий преобразователь обеспечит надежную работу и в области пусковых частот.

Отметим, что проблемы оптимизации системы зажигания актуальны и в настоящее время, несмотря на все более активное развитие дизельной техники, проблемам их совершенствования посвящен ряд работ [233, 234] в которых рассмотрены вопросы применения токов высокой частоты, лазерной техники и т.п. при проектировании новых направлений совершенствования систем зажигания.

Основные результаты проведенных теоретического анализа и экспериментальных исследований опубликованы в работах [146, 235 - 248].

Отметим, что универсальность системы зажигания с постоянным коэффициентом запаса позволяет использовать ее и с другими системами зажигания, например, контактными.

### 4.3 Исследование возможности учета температурой зависимости напряжения аккумуляторной батареи

Целью исследования явилось проверка предположения о линейности температурной зависимости прямого падения напряжения на р-n-переходе широкозонного полупроводника (фосфида галлия). Выше отмечалось, что наличие линейной зависимости позволяет преодолеть отмеченную во второй главе трудность, обусловленную небольшой разностью напряжений на входах операционного усилителя.

Температурный диапазон исследований должен охватывать всю область, в пределах которой может оказаться разработанный в 3 главе преобразователь напряжения.

Примененная при проведении исследований измерительная аппаратура указана в таблице 4.6.

Диоды из фосфида галлия, используемые при изготовлении светодиодов, были предоставлены для исследований Рязанским заводом металлокерамических приборов.

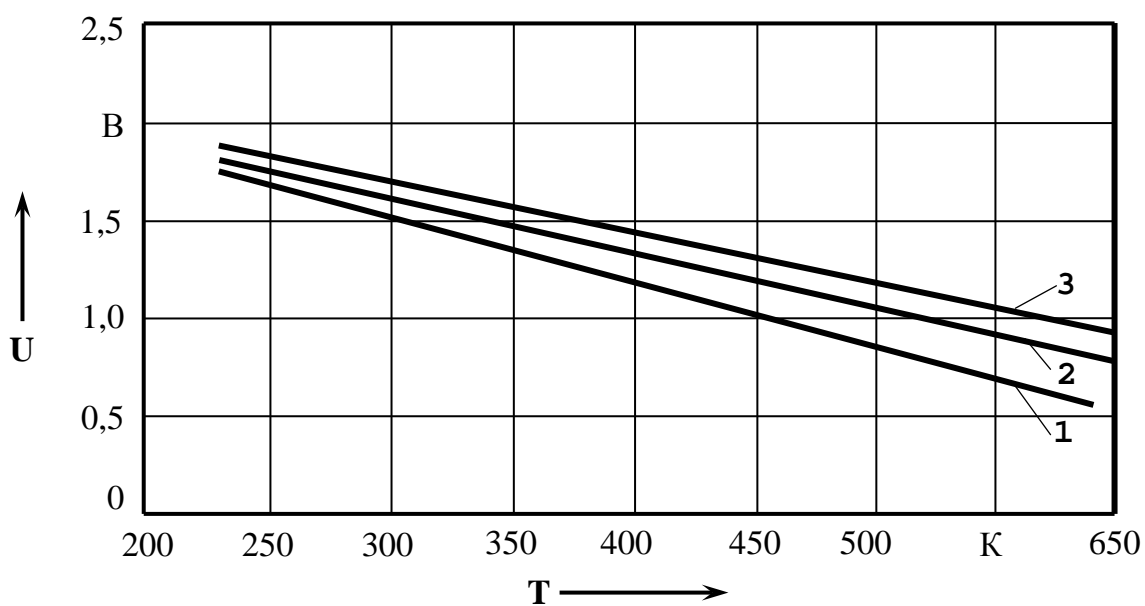
Таблица 4.6 – Примененная измерительная аппаратура и приборы

Вольтметр цифровой В7-40	Для измерения падения напряжения на диоде Для измерения тока через диод
Термометры, погрешность 0,5°C (ГОСТ 9177-74)	Для измерения температуры
Источник питания	Для питания диода на основе фосфида галлия постоянным током
Низкотемпературная камера «ТВV - 2000» (Германия)	Для получения необходимой температуры

Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены на рисунке 4.20.

Как следует из рисунка 4.20, напряжение не только на  $\sim 1$  В больше падения на узкозонном р-п-переходе, но и так же, как у него, характеризуется постоянным температурным коэффициентом напряжения, зависящим от тока через диод.

Комбинируя такой диод с диодом, изготовленным из узкозонного полупроводника, можно построить схему на более простом и дешевом операционном усилителе.



Прямой ток: 1 - 0,1мА, 2 - 0,5мА, 3 - 1мА

Рисунок 4.20 - Прямое падение напряжения на р-п-переходе изготовленного из фосфида галлия

Как видно из рисунка 4.20, полученные зависимости линейны в диапазоне температур, как минимум от 230 до 650 К. Важно, что крутизна линейной зависимости может быть изменена регулировкой тока через диод. В

нашем случае она меняется от 2,88 мВ/К при токе 0,1 мА до 2,39 мВ/К при токе 1 мА. Это свойство р-п переходов использовано при построении схем регуляторов, стабилизаторов напряжения, а также измерителей температуры [195, 196].

В заключение главы можно сделать следующие **выводы**:

- экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о справедливости предложенной математической модели и схемы замещения системы источник напряжения – стартер – двигатель внутреннего сгорания на ее основе, а также применимости предложенной модели для расчета пусковых характеристик систем пуска ДВС при использовании импульсных адаптивных систем электроснабжения с емкостным накопителем энергии и преобразователем параметров электрической энергии;

- разработанные схемы импульсных адаптивных преобразователей параметров электрической энергии для работы на емкостные накопители энергии позволяют осуществлять надежный пуск двигателя внутреннего сгорания автомобильной техники в широком диапазоне температур;

- исследованы схемы систем зажигания с разработанными системами электроснабжения, содержащими для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот – понижающий преобразователь, напряжение которого обеспечивает постоянный коэффициент запаса по вторичному напряжению;

- испытания при низких температурах окружающей среды показали, что замена штатной системы зажигания экспериментальной обеспечивает повышение надежности пуска бензинового двигателя;

- результаты лабораторных и эксплуатационных испытаний в области рабочих частот показали, что, несмотря на пониженное напряжение питания экспериментальной системы зажигания, способствующее повышению ее надежности и долговечности, ее применение не приводит к сбоям в работе бензинового двигателя;



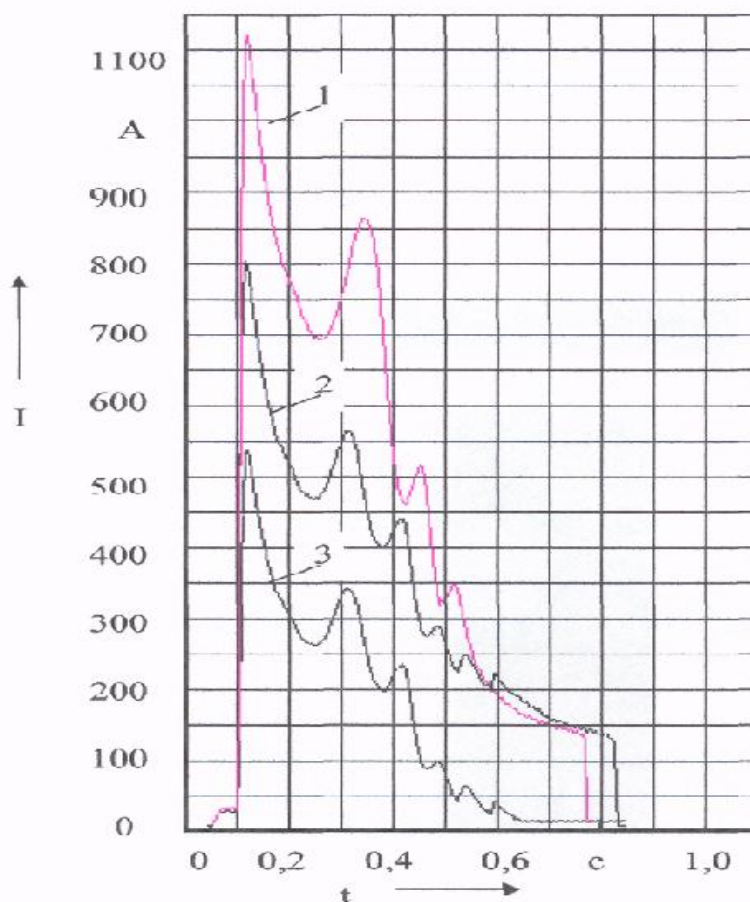
- в соответствии с поставленными задачами проведено исследование температурной зависимости прямого падения напряжения на диоде, изготовленном на основе широкозонного полупроводника (*GaP*), и подтверждена экспериментально линейность этой зависимости.

## Глава 5 Техническая и экономическая оценка эффективности применения адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобилей. Возможные пути реализации теоретических и практических разработок

### 5.1 Эффективность функционирования систем электрооборудования автомобилей с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии

Эффективность функционирования системы электропуска автомобилей с адаптивным преобразователем параметров электрической энергии обусловлена снижением времени пуска, возможностью пуска при более низких температурах и снижением нагрузки на аккумуляторную батарею (рисунок 5.1), что ведет к увеличению ее срока службы.

Эффективность функционирования системы зажигания автомобилей с адаптируемыми импульсными преобразователями параметров элек-



1 – штатные аккумуляторные батареи; комбинированный источник, содержащий аккумуляторные батареи (2 - ток батарей), и емкостной накопитель энергии (3 - ток емкостного накопителя)

Рисунок 5.1 - Токи при пусках двигателя КамАЗ 740 (Температура минус 3°С, вязкость масла  $\nu = 0,48 \frac{м^2}{с}$ , начальное напряжение на накопителе энергии МНЭ-100/28Б  $U_H = 24 В$ , сопротивление цепи  $R_{ц} = 0,003 Ом$ , внутренне сопротивление накопителя энергии  $R_{НЭ} = 0,01 Ом$ .)

трической энергии обусловлена снижением перегрузок аппаратов зажигания за счет поддержания постоянного коэффициента запаса. Пробивное напряжение заметно снижается, а вторичное напряжение штатной системы зажигания никак на это не реагирует, что наглядно иллюстрирует преимущества разработанной системы зажигания.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о необходимости стабилизации напряжения на информационно-измерительной системе. Схема источника вторичного электроснабжения может быть построена по схеме, рассмотренной для ламп накаливания. Следует учесть, что рассмотренными примерами не исчерпываются возможности совершенствования электрооборудования автомобильной техники, возможно применение предложенной концепции и к другим его видам.

***Оценка надежности*** работы адаптивных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобиля.

Надежность машиностроительной продукции определяется комплексом технико-экономических причин. Это в полной мере относится и к электронным устройствам, в частности, автомобильным.

Если рассмотреть безотказность и долговечность разработок электрических изделий последних лет, то легко убедиться, что подавляющее их большинство существующим требованиям к соответствующим показателям автотранспортных средств не отвечает. Так, если заданному 90 %-ному ресурсу автомобиля соответствует 125—250 тыс.км пробега, то такому же ресурсу многих изделий автомобильной электроники (или 90 %-ной наработке до отказа для неремонтируемых изделий) — лишь 20 - 60 тыс., реже - до 100 тыс.км. Это означает, что за время пробега автомобиля до капитального ремонта большинство установленных на нем электронных изделий требует неоднократных замен или ремонтов [283 - 287].

Показатели надежности относятся к важнейшим показателям качества изделия и поэтому статистический контроль необходим до выпуска автотранспортных средств за ворота завода-изготовителя.

Следует иметь в виду, что долговечность (ресурс) и безотказность изделий автомобильной электроники зависят не только от их собственных нагрузочных режимов, но и от внешних дестабилизирующих воздействий (температуры, виброударных нагрузок, колебаний напряжения питания и др.), которым они подвергаются на борту автомобиля. Следовательно, выбирая место установки изделия на автомобиле, защищая данное место от дестабилизирующих воздействий или, наоборот, игнорируя эту защиту, конструктор автомобиля, по существу, предопределяет показатели безотказности и долговечности электронного изделия.

Примеров, подтверждающих сказанное, множество. Вот один из них: ресурс электронного коммутатора 36.3734 бесконтактной системы зажигания на борту грузового автомобиля оказывается почти в 2,5 раза больше, чем на автомобиле ВАЗ-2108, так как средняя температура окружающей среды в месте установки его на грузовом автомобиле на 15—20 К ниже, чем на ВАЗе [283].

Таким образом, проблема обеспечения требуемой надежности автомобильной электроники весьма актуальна. Даже грубо обобщенная оценка безотказности и долговечности электронных изделий говорит о необходимости увеличения этих показателей не менее чем в 1,5 - 3 раза. Один из путей достижения этой цели – существенное повышение требований к надежности изделий электронной техники, радиокомпонентов и радиодеталей, используемых в качестве элементной базы.

В этом контексте нужно обратить внимание на следующее. Как известно из литературы [288], полупроводниковые приборы весьма чувствительны к перегрузкам по току и напряжению и выходят из строя даже при кратковременных перегрузках, измеряемых долями секунды. Одной из причин появления внезапных отказов являются перенапряжения между коллектором и базой, а также между эмиттером и базой, возникающие во время переходных процессов в схемах.

Коэффициент электрической нагрузки полупроводниковых приборов,

определяемый отношением реально рассеиваемой мощности к максимально допустимой по техническим условиям, особенно сильно влияет на интенсивность отказов после достижения некоторого критического значения  $K_{н.кр}$ , связанного с температурой окружающей среды следующим экспериментально найденным соотношением [288]:

$$K_{н.кр} = \exp \left\{ -3 \frac{t_0 - 25}{t_m - 25} \right\}, \quad (5.5)$$

где  $t_0$  - температура окружающей среды, °С;

$t_m$  — максимально допустимое значение температуры окружающей среды, оговоренное техническими условиями, °С.

Опыт показывает, что средний срок службы полупроводниковых приборов уменьшается приблизительно экспоненциально с ростом тепловой мощности рассеивания на коллекторном р-п переходе [288, 289].

Отметим, что применение кремниевых транзисторов позволяет несколько улучшить ситуацию, поскольку кремниевые приборы безотказно функционируют при температурах до 390 К, к тому же применяемый в транзисторном коммутаторе транзистор обладает высокой мощностью рассеивания.

В той же работе [288] отмечается, что влияние вибраций и ударов на полупроводниковые приборы, благодаря их незначительной массе, сказывается в меньшей степени.

Радиация оказывает наибольшее воздействие на те полупроводниковые приборы, которые работают по принципу использования неосновных носителей, в частности на германиевые и кремниевые диоды и транзисторы.

Для обеспечения надежности полупроводниковых приборов необходимо [288]:

- не допускать превышения установленных техническими условиями предельных электрических режимов. По возможности использовать облегченные на 30 – 50 % режимы;

- принимать меры к обеспечению нормальных тепловых режимов, учи-

тывая, что полупроводниковые приборы весьма чувствительны к повышению температуры, при необходимости применять вентиляцию, при конструировании и изготовлении изделий избегать расположения полупроводниковых приборов вблизи источников тепла;

- принимать меры к защите полупроводниковых приборов от воздействия влаги путем тщательной герметизации приборов, исключения условий отпотевания и предотвращения попадания влаги в блоки полупроводниковой аппаратуры;

- в условиях интенсивного высокочастотного электромагнитного излучения принимать меры к тщательной экранировке.

Примем, что распределение вероятности отказов имеет экспоненциальный характер. При этом интенсивность отказов  $\lambda_p$  определится рядом факторов [289]:

$$\lambda_p = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_\Phi \cdot K_{S1} \cdot K_{np} \cdot K_\varepsilon, \quad (5.6)$$

где  $\lambda_0$  - интенсивность отказов в условиях, оговоренных техническими условиями;

$K_p$  - коэффициент режима, определяемый отношением мощности, выделяющейся на коллекторе выходного транзистора, к максимально допустимой мощности;

$K_\Phi$  - коэффициент функционального назначения прибора (при аналоговом сигнале он составляет 1,5; в режиме переключений - 0,7; для высоковольтных транзисторов - 1,5);

$K_{S1}$  - коэффициент, учитывающий зависимость  $\lambda$  от величины рабочего напряжения относительно максимально допустимого по техническим условиям;

$K_{np}$  - коэффициент приемки (от 0,35 до 1);

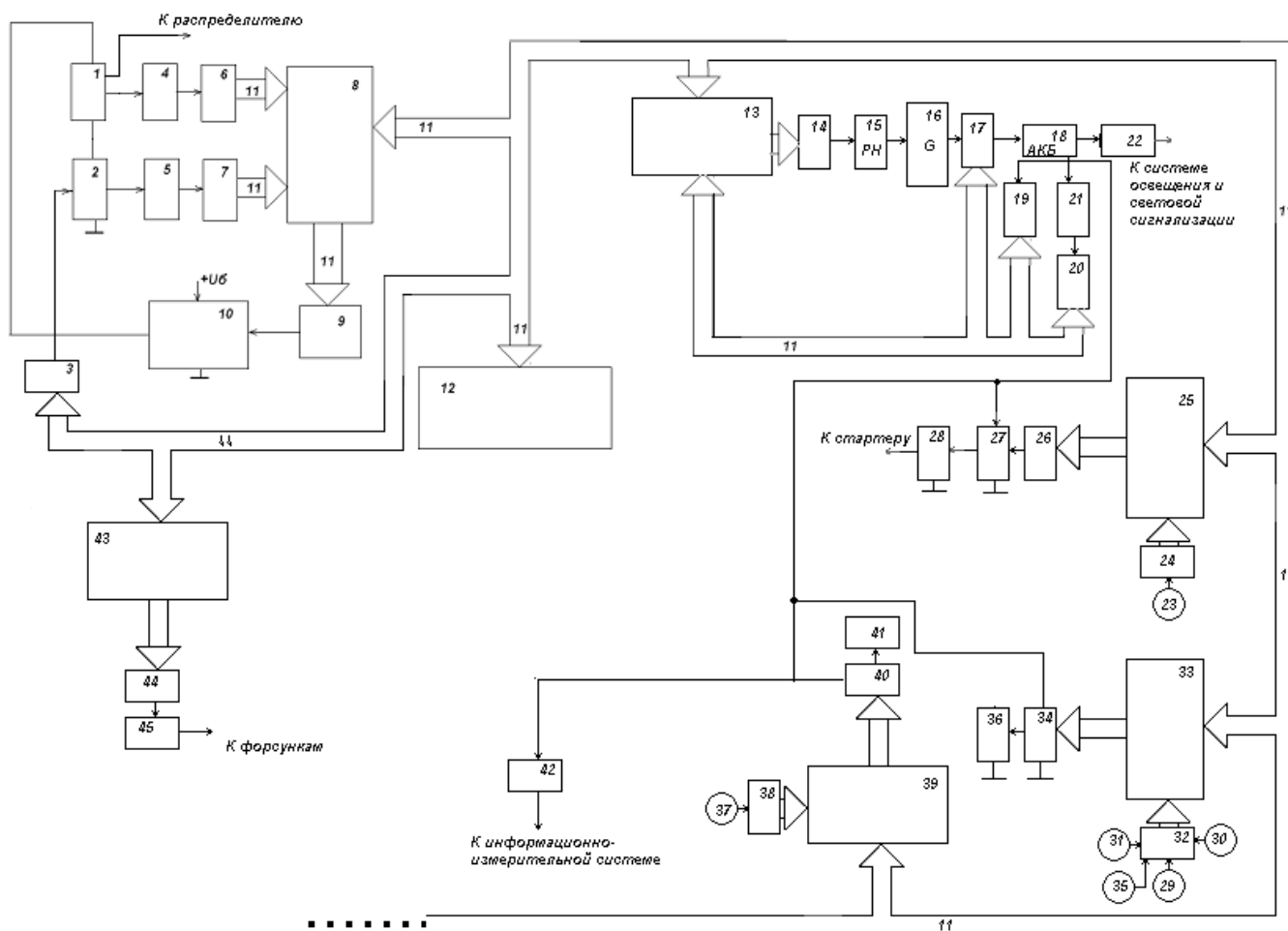
$K_\varepsilon$  - коэффициент жесткости эксплуатации по ГОСТ В 20.39 304-76 (для приборов, эксплуатируемых на автомобиле от 2,5 до 4).

Для проведения оценочного расчета наработки на отказ какого-либо изделия, например, выходного транзистора коммутатора, учтем, что все коэффициенты, входящие в (5.6), кроме коэффициента режима  $K_p$ , остаются постоянными, поскольку место установки коммутатора на автомобиле, напряжение пробоя топливовоздушной смеси в любом режиме определяется режимом работы двигателя, который не зависит от примененной системы зажигания, а определяется условиями и стилем движения. Коэффициент режима  $K_p$  определяется мощностью, рассеиваемой на выходном транзисторе коммутатора, которая зависит от напряжения пробоя и тока разрыва в первичной цепи. Поскольку напряжение пробоя одинаково для серийной и экспериментальной систем зажигания, то напряжение на выходном транзисторе не изменяется. Меняется только ток разрыва, причем даже в самом тяжелом режиме - режиме пуска - он, как следует из рисунка 4.15, уменьшается в 1,5 раза для экспериментальной системы. Тогда очевидно, что мощность, рассеиваемая выходным транзистором коммутатора, также уменьшится как минимум в 1,5 раза. Проведенный оценочный расчет показывает, что при температуре в месте установки коммутатора  $55^{\circ}\text{C}$ ,  $K_{p2}$  для экспериментальной системы зажигания составит 0,67 от  $K_{p1}$  для серийной системы зажигания. Тогда из уравнения (5.6) следует, что отношение  $\lambda_{p1}/\lambda_{p2}$  составит около 1,5 ( $\lambda_{p1}$  - интенсивность отказов для серийной системы зажигания, а  $\lambda_{p2}$  - для экспериментальной).

Следовательно, в случае применения предлагаемой системы зажигания с регулируемым напряжением питания следует ожидать увеличения времени наработки на отказ транзисторного коммутатора примерно в 1,5 раза. Что касается электронных элементов, входящих в состав преобразователя напряжения, то они выбраны с большим запасом по току и максимально допустимому напряжению. Поэтому применение преобразователя напряжения не должно

приводить к заметному снижению надежности работы устройства в целом, что подтверждается и результатами эксплуатационных испытаний.

Возможный вариант построения инновационной системы электрооборудования с использованием современных компьютерных систем показан на рисунке 5.2.



- 1 – катушка зажигания; 2- коммутатор; 3 - ЭСУД 4- пиковый детектор пробивного напряжения; 5 - пиковый детектор тока разрыва; 6,7, 19, 20, 24, 32, 38 - АЦП; 8 - микроконтроллер системы зажигания; 9, 14, 26, 44 - ЦАП; 10 - преобразователь; 11 - шина; 12 - центральный бортовой компьютер; 13 - микропроцессор системы электроснабжения; 15 - регулятор напряжения, 16 - генератор; 17 - датчик тока генератора; 18 - аккумуляторная батарея; 21 - источник опорного напряжения; 22 - источник вторичного электропитания; 23 - датчик температуры масла в картере; 25 - микроконтроллер системы пуска; 27 - преобразователь; 28 - емкостной накопитель энергии; 29, 30, 31 - датчики температуры салона, воздуха отопителя, датчика температуры соответственно; 33 - микроконтроллер системы отопления салона; 34 - каскад ШИМ; 35 - датчик принудительного включения вентилятора; 36 - вентилятор отопителя; 37 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 39 - микроконтроллер системы охлаждения ДВС; 40 - каскад ШИМ; 41 - вентилятор; 42 - источник вторичного электропитания; 43 - микроконтроллер системы впрыска; 45 - управляемый преобразователь

Рисунок 5.2 - Инновационная система электрооборудования автомобиля



*Результаты эксплуатационных испытаний автомобилей, оснащенных разработанными адаптивными системами электропитания.*

Испытания проводились с целью определения устойчивости основных характеристик опытных образцов к воздействию нагрузок, механических и климатических факторов, имеющих место в эксплуатации. Кроме того, при проведении испытаний оценивались надежность и потребность в техническом обслуживании экспериментальных систем.

Результаты эксплуатационных испытаний автомобильной техники свидетельствуют о достаточно высокой надежности экспериментальных систем. Так, на протяжении 42562 км пробега автомобилей ГАЗ-66 (1 образец) и УАЗ-469 (2 образца), оснащенных разработанными системами электропуска, не было отказов и повышенного износа деталей и узлов ДВС и системы электропуска. На протяжении общего пробега 96401 км у семи опытных образцов не отмечено ни одного отказа опытных систем зажигания. (Приложение И).

Испытания экспериментальных систем зажигания и электропуска проходили как в летний, так и в зимний период эксплуатации. Во время испытаний проводился сравнительный анализ экспериментальных и штатных систем зажигания с позиций топливных и динамических качеств автомобилей.

При этом техническое обслуживание экспериментальной системы зажигания заключалось в периодических осмотрах, проверке и регулировке зазоров между электродами свечей зажигания в сроки, предусмотренные инструкцией по эксплуатации для штатной системы зажигания.

В результате эксплуатационных испытаний на автомобилях установлено, что экспериментальная система зажигания по сравнению со штатной обеспечила без снижения динамических качеств автомобилей:

- увеличение срока службы свечей зажигания на 10 %;
- снижение расхода топлива в пределах от 2 % до 4 %;
- снижение выброса вредных веществ до 20 %.

Что касается систем отопления и вентиляции салона, то при суммарном пробеге автомобилей 40332 км не наблюдалось ни одного отказа опытных образцов. (Приложение).

Отметим, что вопросы надежности работы систем электрооборудования автомобильной техники с адаптируемыми преобразователями напряжения, безусловно, нуждаются в дальнейших исследованиях.

## **5.2 Техническая и экономическая оценка эффективности применения адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобильной техники**

Исходными данными для технической и экономической оценки эффективности применения адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системах электрооборудования автомобильной техники явились:

- количество аккумуляторных батарей, применяемых на автомобиле КамАЗ (может уменьшаться до одной батареи 6СТ-190ТР или двух СТ-90М);
- срок службы аккумуляторных батарей при соблюдении правил их эксплуатации – 4 года (в случае применения ШИМ - регулятора может увеличиваться на 20-25 %, то есть до 5 лет);
- срок службы молекулярных накопителей энергии ЗАО «НПО Технокор» (МНЭ-120/28Б, МНЭ-70/28Б) – 15 лет;
- срок службы автомобилей КамАЗ около 12 лет;
- масса аккумуляторной батареи 6СТ-190ТР – 70 кг, причем масса электролита – 12 кг, масса батареи без электролита – 55,6 кг, масса свинцово-сурьмянистого сплава и окислов – 43,1 кг. По эффективности применения батарей 6СТ-90М, массой 36 кг, расчеты не проводились по КамАЗ, поскольку может наблюдаться эффект от применения и по другим маркам автомобилей;
- масса молекулярных накопителей энергии МНЭ-120/28Б – 40 кг, с энергозапасом при номинальном напряжении 20,16 кДж;

- ориентировочная потребность в разрабатываемых изделиях в год – 3000 ед.

Оценим экономию материалов.

Оценка экономии материалов выполнена в соответствии с рекомендациями по определению эффективности [249].

При оценке экономии материалов исходили из того, что для комплектации автомобиля КамАЗ используется аккумуляторная батарея 6СТ-90М и накопитель энергии МНЭ-120/28Б, один преобразователь напряжения, массой 2 кг. При сроках службы, указанных выше расходуемая для каждого автомобиля КамАЗ масса элементов в расчете на один год может уменьшаться:

$$(70 \cdot 2) + \left(\frac{70 \cdot 2}{4}\right) - (70 \cdot 1) - \left(\frac{70 \cdot 1}{5}\right) - (40 - 2) = 53 \text{ кг}$$

Средняя годовая экономия материалов в расчете на ориентировочную потребность внедрения на автомобили (3000 ед. техники) в год составит:

$$53 \cdot 3000 = 159 \text{ т}$$

Средняя годовая экономия свинцово-сурьмянистого сплава и окислов в производстве и эксплуатации в расчете на один автомобиль КамАЗ в год составит:

$$(43,1 \cdot 2) + \left(\frac{43,1 \cdot 2}{4}\right) - (43,1 \cdot 1) - \left(\frac{43,1 \cdot 1}{5}\right) = 56 \text{ кг}$$

В расчете на 3000 ед. автомобилей в год экономия:

$$56 \cdot 3000 = 168 \text{ т}$$

Годовая экономия электролита в расчете на один автомобиль:

$$(12 \cdot 2) + \left(\frac{12 \cdot 2}{4}\right) - (12 \cdot 1) - \left(\frac{12 \cdot 1}{5}\right) = 15,6 \text{ кг}$$

При внедрении на 3000 ед. техники годовая экономия электролита:

$$15,6 \cdot 3000 = 46,8 \text{ т}$$

В связи с уменьшением количества аккумуляторных батарей, устанавливаемых на автомобильной технике и увеличением их срока службы, следу-

ет ожидать улучшения экологической обстановки при производстве серной кислоты. В связи с этим можно предположить, что на предприятиях-изготовителях аккумуляторных батарей (при той же степени очистки) снизится в 1,5 – 2 раза выделение вредных веществ (окислов азота, окиси серы и т.д.).

Отметим следующие технико-экономические показатели:

- в связи с сокращением массы системы пуска со специализированной системой электропитания облегчается труд личного состава, уменьшаются затраты материальных и денежных средств на эксплуатацию и техническое обслуживание системы электростартерного пуска;

- снизится предельная минимальная температура надежного пуска холодного двигателя АТ за счет применения адаптивных систем электроснабжения, пуска и зажигания (для бензиновых двигателей);

- увеличится срок службы аккумуляторных батарей за счет повышения их средней степени заряженности с учетом температурного режима и облегчения режима эксплуатации за счет снижения стартерных токов;

- увеличится срок службы остальных потребителей электрической энергии за счет получения рационального режима их работы, повысится точность и эргономика при эксплуатации автомобильной техники за счет применения автоматического регулирования электропривода автомобильной техники.

Очевидно, что приведенная выше техническая и экономическая оценка эффективности применения систем электропитания с адаптивными импульсными преобразователями параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобильной техники не является окончательной, поскольку появление новых изделий электронной техники позволяет непрерывно совершенствовать как параметры преобразователей, так и характеристики накопителей энергии.

### **5.3 Возможные пути реализации теоретических и практических разработок**

Отметим, что кроме рассмотренных в работе областей применения систем электроснабжения с адаптивными импульсными преобразователями параметров электрической энергии, можно указать их возможные применения и в некоторых других системах электрооборудования автомобилей [252-299].

Кроме того, применение современных датчиков, преобразующих неэлектрические сигналы в электрические с высокой точностью и применение предложенных принципов построения электрооборудования, позволяет улучшить характеристики и других систем автомобильной техники, не которые обычно не относят к системам электрооборудования [250, 251].

#### ***Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системах впрыскивания топлива.***

Применение систем впрыскивания топлива обеспечивает повышение топливной экономичности и снижение токсичности отработавших газов, оптимизирует процесс смесеобразования [5, 252 – 257, 300].

Однако следует отметить, что системы впрыскивания топлива сложнее систем топливоподачи с использованием карбюраторов из-за большего числа подвижных прецизионных механических элементов и электронных устройств и требуют более квалифицированного обслуживания.

При распределенном впрыскивании топливо подается в зону впускных клапанов каждого цилиндра группами форсунок без согласования момента впрыскивания с процессами впуска в каждый цилиндр (несогласованное впрыскивание) или каждой форсункой в определенный момент времени, согласованный с открытием соответствующих впускных клапанов цилиндров (согласованное впрыскивание). С целью повышения приемистости автомобиля, надежности пуска, ускорения прогрева и повышения мощности двигателя применяют системы согласованного впрыскивания топлива. Однако у таких систем по сравнению с центральным впрыскиванием больше погреш-

ность дозирования топлива из-за малых цикловых подач. Идентичность составов горючей смеси по цилиндрам в большей степени зависит от неравномерности дозирования топлива форсунками, чем от конструкции впускной системы.

Основное время впрыскивания топлива - это время для получения смеси с теоретически необходимым коэффициентом избытка воздуха. Количество воздуха, поступающего в цилиндр за цикл, рассчитывается блоком управления по данным датчика расхода воздуха и частоты вращения коленчатого вала двигателя. В подобных системах предусмотрена коррекция времени срабатывания по напряжению, подаваемому на электромагнитную форсунку, по температуре охлаждающей жидкости во время прогрева двигателя, по температуре воздуха на впуске. Форсунки открываются автоматически и осуществляют дозирование и распыливание топлива. Они разрабатываются для каждой модели автомобиля и двигателя, постоянно совершенствуются, по этой причине можно отметить большое разнообразие их конструкций.

Работа электромагнитной форсунки связана с протекающими одновременно механическими, электромагнитными и гидравлическими процессами, поэтому она является одним из наиболее ответственных элементов в системе впрыскивания топлива [5, 56, 252 – 257, 300].

Форсунки должны иметь линейность характеристики дозирования топлива в пределах 2 – 5 % на протяжении всего срока службы (около 600 млн. циклов срабатывания). Они работают в импульсном режиме при частотах от 10 до 200 Гц и даже выше в условиях вибрации двигателя и повышенных температур.

В корпусе форсунки расположен и запирающий элемент клапана, прижимаемый к седлу пружиной. Когда на обмотку электромагнита от электронного блока управления подается электрический импульс прямоугольной формы определенной длительности, запирающий элемент перемещается, преодолевая сопротивление пружины, и открывает отверстие распылителя и топливо поступает в двигатель. После прекращения электрического сигнала

запирающий элемент под действием пружины возвращается в седло. Количество впрыскиваемого топлива за цикл (при постоянстве давления в подводящем трубопроводе) зависит от длительности управляющего импульса. В реальной форсунке время открытого состояния клапана не совпадает с его длительностью. После подачи управляющего электрического импульса на форсунку в обмотке электромагнита возникает ток самоиндукции, препятствующий нарастанию магнитного потока в системе. При прекращении подачи управляющего импульса в результате самоиндукции сохраняющийся магнитный поток будет препятствовать быстрому отпусканию запирающего элемента. Повысить быстродействие электромагнитной форсунки можно за счет уменьшения индуктивности. Однако при этом уменьшается сопротивление обмотки и увеличивается потребляемый ею ток, вопросы уменьшения срабатывания времени электромагнитной форсунки в настоящее время полностью не разработаны и их исследование является актуальной и пока не решенной задачей [5, 56, 252 - 265]. К электронным системам управления впрыском топлива программного типа, содержащим постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), в котором хранится характеристика управления, относятся системы, осуществляющие управление электромагнитными форсунками по заранее заданному закону управления. Системам электронного управления впрыском топлива программного типа присущи следующие основные недостатки: они не учитывают индивидуальных особенностей двигателя, изменения его параметров при старении. При осуществлении автоматической оптимизации дозирования топлива в системе впрыска необходимо решать ряд сложных технических задач, обусловленных требуемым быстродействием системы, её эксплуатационной надёжностью и помехоустойчивостью. С целью оценки возможности регулирования времени срабатывания форсунки, рассмотрим некоторые общие вопросы расчета переходных процессов на примере включения последовательного контура ( $rLC$  – цепи) к источнику постоянной электродвижущей силы (ЭДС).

Принято считать [137, 138], что переходной процесс, происходящий в цепи, можно рассматривать состоящим из двух накладывающихся друг на друга процессов – установившегося, и свободного, имеющего место только во время переходного процесса. Благодаря свободным составляющим в переходном процессе достигается непрерывное приближение к установившемуся режиму. За время срабатывания  $t_{cp}$  электромагнита принимают продолжительность действия от момента подачи импульса срабатывания до момента окончания перемещения якоря из одного крайнего положения в другое. Это время можно разделить на две составляющие: время трогания  $t_{mp}$  – промежуток времени с момента подачи импульса на обмотку электромагнита до момента начала движения якоря (это наибольшая часть  $t_{cp}$ ) и время движения  $t_{ов}$  – промежуток с момента начала движения якоря до полной его остановки. При включении обмотки электромагнита переходный процесс будет определяться уравнением:

$$U = i \cdot R + \frac{d\psi}{dt}, \quad (5.1)$$

где  $U$  – напряжение источника питания цепи обмотки, В;

$i$  – мгновенное значение тока в обмотке, А;  $R$  – сопротивление цепи обмотки, Ом;

$\psi$  – мгновенное значение полного потокосцепления обмотки, Вб;

$t$  – время, с.

Решая уравнение (5.1), получим известное уравнение для тока при постоянной начальной индуктивности  $L_H = const$

$$i_H(t) = \frac{U}{R} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_H}} \right), \quad (5.2)$$

где  $\tau_H = \frac{L_H}{R}$ , с,

$L_H$  - начальная индуктивность, Гн - найденная при исходном значении зазора в магнитной цепи форсунки.



Для конечной индуктивности при конечном значении зазора в магнитной цепи форсунки по аналогии получаем:

$$i_K(t) = \frac{U}{R} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_K}} \right), \quad (5.3)$$

где  $\tau_K = \frac{L_K}{R}$ , с.

Расчетная осциллограмма тока для ненасыщенного электромагнита показана на рисунке 5.3 сплошной линией, экспериментальная осциллограмма тока форсунки имеет качественно такой же вид. До начала движения якоря ток изменяется согласно формуле (5.3) (на осциллограмме это изменение соответствует кривой 1) с постоянной времени  $\tau_n$ . По истечении времени трогания начинается движение якоря и ток изменяется по кривой *ав*, соответствующей движению якоря электромагнита. В литературе [263, 265] отмечается, что при работе на обедненных смесях и на высоких оборотах ДВС время срабатывания должно быть не более 0,3 мс. Точка *в*, лежащая на кривой 2, соответствует полному времени срабатывания. Полученные уравнения позволяют получить выражение для времени трогания  $t_{mp}$ :

$$t_{mp} = \frac{L}{R} \cdot \ln \left( 1 - \frac{\delta_H \cdot R}{N \cdot U} \sqrt{\frac{2F_y}{\mu_0 \cdot S}} \right). \quad (5.4)$$

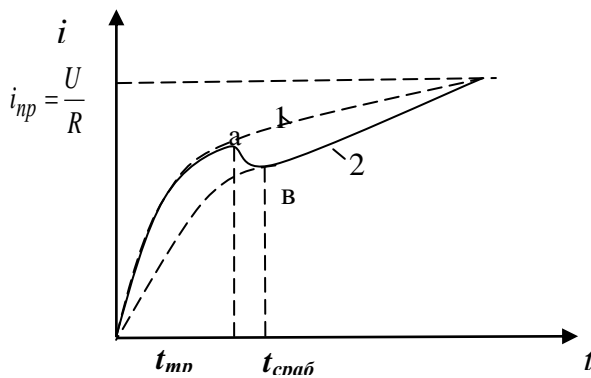


Рисунок 5.3 – Осциллограммы тока при ненасыщенной магнитной цепи

Анализ этого уравнения показывает, что  $t_{mp}$  зависит как от напряжения питания, так и от сопротивления обмотки. Причем более сильная зависимость наблюдается от активного сопротивления в цепи обмотки. Однако при последовательном подключении к

форсунке дополнительного сопротивления наряду с уменьшением времени срабатывания снижается также и его надежность, что обусловлено уменьшением установившегося тока. В силу сказанного следует одновременно с увеличением сопротивления цепи повышать и напряжение на ней, что можно реализовать, с помощью повышающего преобразователя параметров электрической энергии.

При этом следует иметь в виду, что напряжение на форсунке должно быть максимальным непосредственно в момент поступления импульса управления – это позволит обеспечить наибольшую скорость нарастания тока, и, соответственно уменьшить время срабатывания форсунки. После завершения процесса срабатывания нет нужды в повышенном напряжении – оно должно быть таким, чтобы обеспечить удержание электромагнита до момента окончания управляющего импульса. Следовательно, преобразователь напряжения должен быть управляемым. Более того, напряжение на форсунке следует регулировать в зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания [266 - 268]. Все сказанное лишней раз подчеркивает правильность предложенных принципов построения электрооборудования.

### ***Применение адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии в информационно-измерительной системе***

Информационно-измерительная система предназначена для обеспечения водителя автотранспортного средства информацией о режиме движения, работоспособности и состоянии как узлов и агрегатов, так и автомобиля в целом.

Одним из основных требований, предъявляемые к автомобильным приборным системам является независимость их показаний от напряжения бортовой сети.

Погрешность показывающих приборов, как известно, складывается из двух частей - основной, свойственной нормальным условиям эксплуатации, и дополнительной, вызываемой воздействием внешних условий, - изменением окружающей температуры, напряжения и т.п. Электрические измерительные

приборы состоят из датчика и указателя. Датчик устанавливается в месте измерения и преобразует измеряемую физическую величину в электрический сигнал. Электронные измерительные системы расширяют возможности, как по количеству контролируемых параметров, так и по способам отображения информации.

Подробное рассмотрение датчиков физических величин и указателей выходит за пределы данной работы. Отметим только, что, в качестве магнитоэлектрических указателей на автомобилях наиболее распространены трехобмоточные логометры, принцип действия и устройство которых достаточно хорошо известны [3, 4], все более находят распространение логометры с переключением обмоток электронным устройством, позволяющим расширить шкалу прибора почти до  $360^\circ$ . Преимуществом логометра является почти полная независимость его показаний от величины напряжения, так как токи всех обмоток возрастают пропорционально напряжению, а прибор, как следует из названия и принципа действия, реагирует на их отношение. В качестве вольтметров и амперметров часто применяют конструкции магнитоэлектрических указателей с неподвижной катушкой, воздействующей на поворотный магнит, соединенный со стрелкой или неподвижным магнитом и поворотной катушкой, показания которых в заметной степени зависят не только от измеряемой величины, но и от напряжения приборов. Указатели импульсной системы могут использоваться только с термобиметаллическими датчиками и составляют в комплекте с ними единую импульсную систему, причем ток в спирали, нагревающей биметалл указателя, зависит от относительного времени нахождения контактов датчика в замкнутом состоянии. Отметим очевидный факт – время нагрева сильно зависит от напряжения. Измерители давления применяются для определения давления в системе смазки, пневматической системе тормозов, системе централизованной подкачки шин. В них обычно используются магнитоэлектрические логометрические указатели давления с мембранными датчиками и реостатным выходом или указателями. Дополнительное сопротивление включается в системах,

рассчитанных на бортовое напряжение 24В для гашения напряжения. На входах тахометра и спидометра установлен формирователь импульсов на резисторах, который преобразует входной колебательный импульс в сигнал положительной полуволны, запускающий одностабильный мультивибратор, формирующий сигналы прямоугольной формы постоянной амплитуды и длительности с частотой входного сигнала, средний ток измеряется магнитоэлектрическим прибором и пропорционален частоте импульсов.

Отметим, что информационно-измерительная система нуждается в стабилизации режимов по напряжению и с точки зрения используемых указателей, за исключением, возможно, трехобмоточных логометров и электронных информационных систем, которые, впрочем, имеют собственные стабилизаторы напряжения. Применение электроники позволяет расширить класс датчиков, используемых как в информационных системах, так и в системах диагностирования, да и не только в них [266 - 282].

Действительно, для повышения точности импульсной системы необходимо стабилизировать нагрев биметаллической пластины, что может быть достигнуто стабилизацией напряжения. Сказанное справедливо и для измерителей давления.

Что касается магнитоэлектрических логометрических указателей давления с мембранными датчиками и реостатным выходом, то при бортовом напряжении 24В для гашения напряжения применяют гасящее сопротивление. Подобное решение приводит к снижению надежности и коэффициента полезного действия. С целью исключения данного недостатка возможно применение источника вторичного электропитания, который позволит стабилизировать напряжение с высокой точностью вне зависимости от входного напряжения системы. Аналогичное решение напрашивается и для измерителей уровня топлива, работающих от бортовой сети напряжением 24В. В электрических тахометрах и спидометрах для получения постоянной амплитуды импульсов используют параметрический стабилизатор напряжения, обладающий невысокой надежностью. При использовании вторичного источника

электропитания получается не только более высокая надежность прибора, но и лучшая точность [3, 4, 23]. В результате проведенного анализа можно сделать вывод о необходимости стабилизации напряжения на информационно-измерительной системе.

Схема источника вторичного электропитания может быть построена по схеме, рассмотренной в главе 3 для ламп накаливания.

Следует учесть, что рассмотренными примерами не исчерпываются возможности совершенствования электрооборудования автомобильной техники, возможно применение предложенных принципов построения электрооборудования и к другим его видам.

***Выводы:***

- в связи с уменьшением количества аккумуляторных батарей, устанавливаемых на автомобильной технике и увеличением их срока службы, следует ожидать улучшения экологической обстановки при производстве, снизится в 1,5 – 2 раза выделение вредных веществ;

- снизится предельная минимальная температура надежного пуска холодного двигателя автомобиля за счет применения импульсных адаптивных систем электроснабжения, пуска и зажигания;

- увеличится срок службы как аккумуляторных батарей за счет повышения их средней степени заряженности с учетом температурного режима и облегчения режима эксплуатации за счет снижения стартерных токов, так и остальных потребителей электрической энергии за счет обеспечения рационального режима их работы, повысится точность и эргономика при эксплуатации автомобильной техники за счет применения автоматического регулирования электропривода автомобиля;

- в соответствии с предложенными принципами построения электрооборудования разработан источник вторичного электропитания на основе широко - импульсного стабилизатора, позволяющий стабилизировать параметры и повысить долговечность и точность информационно-измерительной

системы за счет формирования выходного напряжения, не зависящего от напряжения аккумуляторной батареи;

- с целью повышения эксплуатационных характеристик систем впрыскивания топлива в рамках предложенных принципов построения электрооборудования предложен принцип изменения напряжения на электромагнитных форсунках и намечены пути его реализации;

- показано, что при использовании импульсных адаптивных преобразователей параметров электроэнергии в рамках предложенных принципов построения электрооборудования, надежность работы систем электрооборудования автомобиля возрастает при условии грамотного выбора режимов работы полупроводниковых приборов, входящих в состав преобразователей.

## **Заключение**

В результате проведенных испытаний получены следующие результаты:

- в связи с сокращением массы системы пуска со специализированной системой электропитания облегчаются условия труда водителей и ремонтных рабочих, уменьшаются затраты материальных и денежных средств на эксплуатацию и техническое обслуживание системы электростартерного пуска;

- предельная минимальная температура надежного пуска холодного двигателя значительно снижена (на  $\sim 10 - 20^{\circ}\text{C}$ ) за счет применения адаптивных систем электроснабжения, пуска и зажигания (для бензиновых двигателей);

- увеличен срок службы аккумуляторных батарей за счет повышения их средней степени заряженности с учетом температурного режима и облегчения режима эксплуатации за счет снижения стартерных токов в 1,2 - 1,4 раза;

- увеличивается срок службы остальных потребителей электрической энергии за счет применения автоматического регулирования электропривода и достижения рациональных режимов их работы (для ламп накаливания  $\sim$  в 2 раза).

Таким образом, поставленная цель получения рациональных характеристик систем электрооборудования автомобилей за счет разработки и применения адаптивных преобразователей параметров электрической энергии, достигнута.

### ***Основные результаты и выводы***

1. На основании разработанных теоретических и практических положений, теоретических принципов построения и развития адаптивной системы электрооборудования автомобиля, как единой системы с обратными связями, предложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, комплекс инновационных устройств и конструкторских разработок, значительно повышающих эксплуатационные характеристики и надежность

систем электрооборудования автомобилей, особенно в экстремальных низкотемпературных условиях эксплуатации, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие автомобильного транспорта России.

2. По системе электрического пуска двигателя внутреннего сгорания:

- разработана математическая модель системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания при ее питании от емкостного накопителя энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные;
- произведен синтез методом Кауэра эквивалентной электрической схемы замещения системы пуска ДВС;
- предложены инновационные устройства и технические решения по совершенствованию системы электропуска автомобильных двигателей с помощью преобразователя параметров электрической энергии на основе емкостного накопителя энергии, обеспечивающие соответствующие необходимым требованиям пуска выходные параметры системы электропуска двигателей автомобильной техники в широком температурном диапазоне (технические решения защищены патентами РФ); [157, 158, 159, 160].
- экспериментальные исследования предложенных технических решений подтвердили адекватность математической модели системы электропуска ДВС исследуемым процессам и эффективность предложенных схем и технических решений.

3. По системе зажигания:

- получена теоретическая модель необходимого напряжения системы зажигания при пуске и в рабочем режиме в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- разработаны эффективные устройства и технические решения для системы зажигания, содержащие для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот – понижающий преобразователь, напряжение которого обеспечивает постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению на всех режимах работы ДВС (технические решения защищены патентами РФ) [242, 243, 244, 245, 248];



- испытания предложенных разработок при низких температурах окружающей среды показали, что замена штатной системы зажигания, предложенной обеспечивает повышение надежности пуска бензинового двигателя;

4. По системе электроснабжения:

- в соответствии с предложенным принципом построения системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, разработаны инновационные устройства и конструкторские решения, обеспечивающие повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима в 1,2 – 1,4 раза;

- разработаны новые устройства отключения обмотки возбуждения генератора, обеспечивающие повышение эффективности пуска ДВС и защиту генератора от перегрузок (технические решения защищены патентами РФ); [184, 185, 186, 187, 188, 189, 195, 196, 199];

5. По электроприводу вспомогательного оборудования:

- предложены принципы построения и технические решения адаптивных систем электропитания на основе широтно-импульсных регуляторов для электропривода вспомогательного оборудования, обеспечивающие плавное регулирование уровня напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального, а также системы автоматического регулирования электропривода вспомогательного оборудования, оптимизирующие температурные, скоростные и другие режимы, обеспечиваемые электроприводом и улучшающие эргономику, эксплуатационные характеристики и безопасность движения (технические решения защищены патентами РФ); [202, 205, 206, 207, 208, 212, 214, 222, 223, 226];

6. По остальным системам электрооборудования автомобильной техники (технические решения защищены патентами РФ) [246, 247, 250, 251, 266, 267, 281, 282]:

- разработан источник вторичного электропитания на основе широтно - импульсного стабилизатора, позволяющий стабилизировать выходное напряже-

ние с погрешностью до 0,5% и повысить долговечность потребителей электроэнергии;

- в соответствии с предложенными принципами разработан источник вторичного электропитания на основе широтно - импульсного регулятора, позволяющий повысить срок службы ламп накаливания за счет плавного увеличения напряжения на системах световой сигнализации и освещения в пределах, допускаемых техническими условиями;

- с целью улучшения эксплуатационных характеристик систем впрыска топлива предложен принцип изменения напряжения на электромагнитных форсунках и технические решения пути его реализации;

7. На основе предложенных принципов, теоретических положений и математических моделей разработаны устройства и технические решения, на которые получены 38 патентов Российской Федерации. В частности, запатентованы системы электрического пуска, импульсные регуляторы напряжения, источники опорного напряжения для адаптивных преобразователей систем электропитания, системы отопления и вентиляции салона, стеклоочистки, охлаждения ДВС. Аналитические и экспериментальные исследования предложенных теоретических положений и технических решений подтвердили их высокую эффективность.

8. Обоснованность теоретических положений, технических решений и полученных результатов работы, их научная, практическая и экономическая значимость подтверждается внедрением в серийное производство на Рязанском заводе металлокерамических приборов, в учебные процессы Рязанского военного автомобильного института имени генерала армии В.П. Дубынина, Современного технического института, Московского государственного открытого университета, Рязанского государственного радиотехнического университета, результаты исследований проверены на ряде предприятий (РЗ металлокерамических приборов, ФГУП Рязанский приборный завод, Воронежский НИИ связи), реализованы на X международном салоне инноваций и инвестиций, внедряются в серийное производство на предприятии «КамАЗ», по ре-

результатам исследования автором выполнены научные проекты «Учебно-лабораторный комплекс «машины постоянного тока», «Автомобильный кондиционер для зимних условий эксплуатации», «Регулирование времени срабатывания электромагнитной форсунки» по заказу Министерства промышленности, инновационных и информационных технологий Рязанской области.

## Список сокращений и условных обозначений

AC/AC	- переменный ток – переменный ток;
AC/DC	- переменный ток – постоянный ток;
DC/AC	- постоянный ток – переменный ток;
DC/DC	- постоянный ток – постоянный ток;
ДВС	- двигатель внутреннего сгорания;
ДПТ	- двигатель постоянного тока;
КПД	- коэффициент полезного действия;
МДП	- металл – диэлектрик - полупроводник;
МОП	- металл – окисел - полупроводник;
АКБ	- аккумуляторная батарея
НЭ	- накопитель энергии;
РЭА	- радиоэлектронная аппаратура;
СЭП	- система электропитания;
ТКН	- температурный коэффициент напряжения, $K^{-1}$ ;
ШИМ	- широтно-импульсная модуляция;
ЭДС	- электродвижущая сила, В;
$r_A$	- внутреннее сопротивление аккумулятора, Ом;
$U_{AB}$	- напряжение аккумулятора при заряде, В;
$\varepsilon_A$	- электродвижущая сила аккумулятора, В;
$\rho_{25}$	- величина, численно равная плотности электролита, $г/см^3$ при $25^\circ C$ ;
$\varepsilon_P$	- ЭДС поляризации, В;
$I_3$	- сила зарядного тока, А;
$I_P$	- сила разрядного тока, А;
$\eta_w$	- коэффициент полезного действия по емкости;
$\eta_w$	- коэффициент полезного действия по энергии;
$I$	- электрический ток, А;
$I_A$	- ток якоря, А;
$I_B$	- ток возбуждения, А;
$M_c$	- момент сопротивления, Нм;
$M_{BP}$	- вращающий момент, Нм;
$C_M$	- коэффициент пропорциональности, зависящий от конструктивных особенностей двигателя постоянного тока, Нм/А Вб;

$\Phi$	- магнитный поток, Вб;
$\varepsilon_{\text{ПР}}$	- противоЭДС двигателя, В;
$n$	- скорость вращения якоря, об/мин;
$C_E$	- коэффициент пропорциональности, определяемый конструкцией двигателя;
$R_B$	- сопротивление цепи возбуждения, Ом;
$t$ °С	- температура, °С;
$\gamma$	- коэффициент заполнения ШИМ – сигнала;
$t_u$	- длительность импульса, с;
$T$	- период, с;
$U_{\text{бат}}$	- напряжение бортовой сети автомобиля, В;
$U_{\text{ср}}$	- среднее напряжение, В;
$f$	- циклическая частота, Гц;
$R_k$	- сопротивление канала, Ом;
$U_n$	- напряжение питания, В;
$\tau_{\text{зар}}$	- постоянная времени заряда, с;
$\tau_p$	- постоянная времени разряда, с;
$P_{\text{СТ}}$	- номинальная мощность стартера, Вт;
$U_6$	- напряжение питания, В;
$R_{\Sigma}$	- суммарное активное сопротивление первичной цепи, Ом;
$\tau_3$	- время замкнутого состояния контактов прерывателя, с;
$n$	- частота вращения коленчатого вала ДВС, об/мин;
$Z$	- число цилиндров двигателя;
$I_p$	- ток разрыва, А;
$\eta$	- коэффициент, учитывающий потери энергии;
$w_1$	- число витков первичной обмотки катушки зажигания;
$w_2$	- число витков вторичной обмотки катушки зажигания;
$\varepsilon_1$	- коэффициент, учитывающий наличие потока рассеяния;
$R_d$	- сопротивление дополнительного резистора, Ом;
$R_{\text{нас}}$	- сопротивление насыщения транзисторного ключа, Ом;
$k_3$	- коэффициент запаса;
$U_{2\text{ПР}}$	- минимальное пробивное напряжение, В;
$U_{2\text{М}}$	- максимальное вторичное напряжение, развиваемое системой зажигания, В;
$W_i$	- энергия, выделяемая в искровом промежутке свечи, Дж;
$L_1$	- индуктивность первичной цепи катушки зажигания, Гн;
$L_2$	- индуктивность вторичной цепи катушки зажигания, Гн;

- $\tau_n$  - время нарастания вторичного напряжения  $U_2$  до пробивного напряжения  $U_{2пр}$ , с;
- $\tau_{pд}$  - продолжительность пробоя и емкостной фазы искрового разряда, с;
- $\tau_{pт}$  - продолжительность индуктивной фазы искрового разряда, с;
- $W_{pд}$  - энергия фазы дугового разряда, Дж;
- $W_{pт}$  - энергия фазы тлеющего разряда, Дж;
- $W_{RШ}$  - потери энергии на сопротивлении, шунтирующем искровой промежуток, Дж;
- $W_{C_2}$  - потери энергии на заряд емкости вторичной цепи, Дж;
- $\omega$  - частота прокручивания,  $c^{-1}$ ;
- $Z(j\omega)$  - комплексное сопротивление цепи, Ом;
- $U(j\omega)$  - спектральная плотность напряжения, В;
- $I(j\omega)$  - спектральная плотность тока, А;
- $g_{max} = \frac{i_{max}}{U}$  - начальная проводимость цепи, См;
- $g_{уст} = \frac{i_{уст}}{U}$  - установившаяся проводимость цепи, См
- $g(t)$  - переходная проводимость цепи, См;
- $C$  - емкость эквивалентной схемы, Ф;
- $r_{np}$  - сопротивление проводов, Ом;
- $r, R$  - сопротивления эквивалентной схемы замещения, Ом;
- $I(p)$  - изображение тока  $i(t)$ , А;
- $G(p)$  - изображение переходной проводимости  $g(t)$ , См;
- $U_n(0)$  - начальный скачок напряжения на входе цепи, В;
- $\xi$  - коэффициент, учитывающий число цилиндров и конструктивные особенности ДВС;
- $P_{мех}$  - механическая мощность на валу стартера, Вт;
- $\alpha_\omega$  - электромеханическая постоянная стартера,  $c^{-1}$ ;
- $i_{пт}$  - ток стартера в режиме полного торможения, А;

$M_{шт}$	- момент стартера в режиме полного торможения, Нм;
$\omega_{уст}$	- установившаяся частота прокручивания, $c^{-1}$ ;
$i(0)$	- начальный ток в цепи, А;
$m$	- коэффициент редукции;
$G_T$	- часовой расход топлива, л/час;
$N_e$	- мощность двигателя, кВт;
$g_e$	- удельный расход топлива, л/кВт;
$\lambda_p$	- интенсивность отказов, $час^{-1}$ ;
$\lambda_0$	- интенсивность отказов в условиях, оговоренных техническими условиями, $час^{-1}$ ;
$K_p$	- коэффициент режима, определяемый отношением мощности, на коллекторе выходного транзистора, к максимально допустимой мощности;
$K_\phi$	- коэффициент функционального назначения прибора;
$K_{SI}$	- коэффициент, учитывающий зависимость интенсивности отказов от величины рабочего напряжения по техническим условиям;
$K_{пр}$	- коэффициент приемки;
$K_s$	- коэффициент жесткости эксплуатации по ГОСТ В 20.39 304-76;
$K$	- постоянная Больцмана, Дж/К;
$T$	- абсолютная температура, К;
$E$	- заряд электрона, Кл;
$\Delta E_g$	- ширина запрещенной зоны полупроводника, Дж;
$S$	- крутизна температурной зависимости р-п перехода, В/К;
$I_o$	- ток прямо смещенного р-п перехода, А;

## Словарь терминов

Наименование термина	Определение	Источники
Эксперимент	Система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Опыт	Воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях воспроизведения эксперимента при возможности регистрации его результатов	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Фактор	Переменная величина, по предположению влияющая на результаты эксперимента	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Уровень фактора	Фиксированное значение фактора относительно начала отсчета	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Размах варьирования факторов	Разность между максимальным и минимальным натуральными значениями фактора в данном плане	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Интервал варьирования фактора	Половина размаха варьирования фактора	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Отклик	Наблюдаемая случайная переменная, по предположению зависящая от факторов	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания.
Функция отклика	Зависимость математического ожидания отклика от факторов	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания
Временной дрейф	Случайное или неслучайное изменение функции отклика во времени	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания



Модель регрессионного анализа	Зависимость отклика от количественных факторов и ошибок наблюдения отклика	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания
Модель дисперсионного анализа	Зависимость отклика от качественных факторов и ошибок наблюдения отклика	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания
Адекватность математической модели	Соответствие математической модели экспериментальным данным по выбранному критерию	ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания
Изделие	Любая функциональная единица, которую можно рассматривать в отдельности	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Составная часть	Рассматриваемая часть изделия	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Надежность	Свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности, ремонтпригодности и поддержка технического обслуживания	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Готовность	Способность изделия выполнить требуемую функцию при данных условиях в предположении, что необходимые внешние ресурсы обеспечены	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Безотказность	Способность изделия выполнить требуемую функцию в заданном интервале времени при данных условиях	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Ремонтпригодность	Способность изделия при данных условиях использования и технического обслуживания к	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и

	поддержанию или восстановлению состояния, в котором оно может выполнить требуемую функцию	определения
Долговечность	Способность изделия выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при данных условиях использования и технического обслуживания	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Комплексное материально-техническое обеспечение	Процесс скоординированного управления по обеспечению всех материалов и ресурсов, требуемых для эксплуатации изделия	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Сохраняемость	Способность изделия выполнять требуемую функцию в течение и после хранения и (или) транспортирования	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Работоспособное состояние	Состояние изделия при котором оно способно выполнить требуемую функцию при условии, что предоставлены все необходимые ресурсы	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Продолжительность работоспособного состояния	Интервал времени, в течение которого изделие находится в работоспособном состоянии	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Состояние функционирования	Состояние выполнения изделием требуемой функции	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Наработка	Интервал времени в течение которого изделие находится в состоянии функционирования	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Требуемое время	Интервал времени в течение	ГОСТ Р53480-2009

	которого потребитель требует, чтобы изделие находилось в работоспособном состоянии	Надежность в технике. Термины и определения
Состояние готовности	Состояние нефункционирования изделия в требуемое время	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Время готовности	Интервал времени в течение которого изделие находится в состоянии готовности	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Мгновенная интенсивность отказов	Предел, если он существует, отношения условной вероятности, что момент отказа неремонтируемого изделия произойдет в интервале времени к длине этого интервала, стремящейся к нулю, при условии, что в начале этого интервала изделие находилось в работоспособном состоянии	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Ресурс	Суммарная наработка изделия в течение срока службы	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
Средний ресурс	Математическое ожидание ресурса	ГОСТ Р53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения

**Список использованных источников**

- 1 **Можаев, В.Н.** Электрооборудование армейских машин [Текст] /В.Н. Можаев – М.: Воениздат. - 1982. – 312 с.
- 2 **Фесенко, М.Н.** Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования. [Текст]: Учебное пособие/М.Н. Фесенко;- М.: Машиностроение - 1979. - 342 с.
- 3 **Чишков, Ю.П.** Электрооборудование автомобилей [Текст]: Учебник для ВУЗов /Ю.П. Чишков, С.В. Акимов – М.: Издательство «За рулем», 1999. - 384 с.
- 4 **Ютт, В.Е.** Электрооборудование автомобилей [Текст]/ В.Е. Ютт - М.: Транспорт, 1989. - 287 с.
- 5 **Ютт, В.Е.** Электрооборудование автомобилей [Текст]/ В.Е. Ютт - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Горящая линия – телеком. - 2006. – 440 с.
- 6 **Полонский В. А.** Важный фактор обороной мощи государства [Текст]: – М.: Автомобильный транспорт. – 2005. - № 2. - С. 10-15.
- 7 **Васильченков, В. Ф.** Военные автомобили. Конструкция и расчет [Текст]: учеб. для ввузов / В. Ф. Васильченков, А. И. Веденеев, В. А. Горячев [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Васильченкова. – Рыбинск: издание ОАО «РДП». - 1997. – 664 с. – Библиогр.: с. 655 – 657.
- 8 **Данов, Б.А.** Электрооборудование военной автомобильной техники [Текст]: учеб. для воен. вузов / Б.А. Данов, В. Д. Рогачев, Н. П. Шевченко. М-во обороны РФ, Ряз. воен. автомб. ин-т. – Рязань: Воен. автомоб. ин-т. - 2005. – 598 с.
- 9 **Подчинок, В.М.** Эксплуатация военной автомобильной техники [Текст]: учебник для ВВУЗов / В.М. Подчинок. – Изд. 3-е, перераб. и доп.- Рязань: Русское слово. - 2006. - 696 с.
- 10 **Ипатов, А.А.** Автотранспорт и экология мегаполисов [Текст]/ А.А. Ипатов, В.Ф. Кутенев, В.А. Лукшо, А.С. Теренченко, Н.А. Хрипач. - М: - Экология Машиностроение. - 2010. - 254 с.

- 11 Автомобильные регионы. Статистика автопарка //За рулем. - 2009. - №7. - С. 282.
- 12 **Квайт, С.М.** Пусковые качества и системы пуска автотракторных двигателей [Текст]/С.М. Квайт, Ю.П. Менделевич, Ю.П. Чижков.- М.: Машиностроение. - 1990. - 256 с.
- 13 **Поляков, Н. А.** Система электростартерного пуска транспортных средств с применением комбинированного источника электрической энергии [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 2005 - М.: 2005. – с. 170 – Библиогр.: с. 159-170.
- 14 **Акимов, С.В.** Электрическое и электронное оборудование автомобилей [Текст]/ С.В. Акимов, Ю.И. Боровских, Ю.П. Чижков – М.: Машиностроение. - 1988. – 277 с.
- 15 **Акимов, С.В.** Электрооборудование автомобилей [Текст]: Учебник для ВУЗов/С.В. Акимов, Ю.П. Чижков – М.:ЗАО КЖИ «За рулем». - 2004. – 384с.
- 16 **Луканин, В.Н.** Двигатели внутреннего сгорания в 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов [Текст]: учебное пособие /В.Н. Луканин, К.А. Морозов, Н.С. Хачиян [и др.]. - М.: Высш. шк. - 1995. - 368 с.
- 17 **Опарин, И.М.** Разработка автомобильных бесконтактных и микропроцессорных систем зажигания с целью повышения надежности и экономичности автомобилей [Текст]: Дис...д - р. техн. наук: 20.02.14: – защищена 5.04.97/Опарин Игорь Минович. – М., - 1997. - 231 с.: Библиогр.: 215 - 231 с.
- 18 **Опарин, И.М.** Электронные системы зажигания [Текст]/И.М. Опарин, Ю.А. Купеев, Е.А. Белов – М.: Машиностроение. - 1987. – 200 с.
- 19 **Дмитриевский, А.В.** Влияние интенсивности искрового разряда на показатели карбюраторного двигателя внутреннего сгорания [Текст]/А.В. Дмитриевский, А.С. Тюфяков //Автомобильная промышленность.- 1985. - № 8. - С.42.
- 20 **Оберемок, В.З.** Пуск автомобильных двигателей [Текст]/В.З. Оберемок, И.М. Юрковский - М.: Транспорт. - 1979. - 118 с.
- 21 **Луканин, В.Н.** Двигатели внутреннего сгорания. Т1. Теория рабочих

процессов [Текст]/В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др – М.: Высшая школа. - 2005. - 476 с.

22 **Лосавио, Г.С.** Пусковые износы автомобильных двигателей при низких температурах [Текст]/ Г.С. Лосавио. – М.: Транспорт. - 1967. - 55 с.

23 **Данов, Б.А.** Электрооборудование военной автомобильной техники [Текст]/Б.А. Данов - М.: Военное издательство. - 1988. - 332 с.

24 **Чижков, Ю.П.** Процесс прокручивания вала двигателя при использовании в системе пуска емкостного накопителя энергии [Текст]/ Ю.П. Чижков//Машиностроитель. – 1998. - № 1. - С. 22-25.

25 **Чижков, Ю.П.** Электростартерный пуск автотракторных двигателей. [Текст]/Ю.П. Чижков, С.М. Квайт, Н.Н. Сметнев. – М.: Машиностроение. - 1985. - 160 с.

26 **Бурячко, В.Р.** Автомобильные двигатели: рабочие циклы. Показатели и характеристики. Методы повышения эффективности энергопреобразования. ISBN 5-902253-05-5 [Текст]: Учебное пособие/ В.Р. Бурячко, А.В. Гук; - С.Пб.: НПИКЦ. - 2005. - 292 с.

27 **Акимов, С.В.** Электрическое и электронное оборудование автомобилей. [Текст]: учебное пособие/ С.В. Акимов, Ю.И. Боровских, Ю.П.Чижков; - М.: Машиностроение. - 1998. - 280 с.

28 **Акимов, С.В.** Справочник по электрооборудованию автомобилей. [Текст] Учебное пособие/ С.В. Акимов, А.А. Здановский, А.М. Корец [и др.]. - М.: Машиностроение. - 1994. - 544 с.

29 **Горлатов, В. Е.** Пуск двигателя при низких наружных температурах [Текст]/В.Е. Горлатов., В.И. Манохин //Автомобильная промышленность. – 1996. - №10. - С.40.

30 **Банников, С. П.** Электрооборудование автомобилей [Текст]: Учебное пособие для студентов вузов /С. П. Банников – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт. - 1977. – 288 с.

31 **Каштанов, В. П.** Исследование работоспособности стартерных аккумуляторных батарей армейских машин в условиях низких температур

при обогреве их методом циркуляции мощности переменного тока [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: - Л.: 1975.

32 ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний [Текст]. - Введ. 1982-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1994. - 53 с

33 **Алексеев, А. В.** Аналитическое исследование систем зажигания с импульсным накоплением энергии в емкости с батарейным источником питания. [Текст]/ А. В. Алексеев, Ю.А. Воробьев //Тр. НИИавтоприборов – 1985. - в. 58. - С. 93 – 108.

34 **Белов, П. М.** Двигатели армейских машин. Часть первая. Теория [Текст] / П. М. Белов, В. Р. Бурячко, Е. И. Акатов. - М.: Воениздат. - 1991. - 512 с.

35 **Бурячко, В.Р.** Теоретические основы эффективности энергообразования в поршневых двигателях [Текст]: Учеб. пособие/ В.Р. Бурячко, С.В. Мась – С.Пб.: - 1993. - 158 с.

36 Автомобили ГАЗ с двигателем ЗМЗ-4062.10 [Текст]: руководство по ремонту. - М.: Легион-Автодата. - 1999. - 96с.

37 **Литвиненко, В.В.** Электрооборудование автомобилей ГАЗ. Устройство, поиск и устранение неисправностей[Текст]/ В.В. Литвиненко. - М.: За рулем. - 2002. - 344 с.

38 **Банников, С. П.** Электрооборудование автомобилей [Текст]/С. П. Банников. - М.: Транспорт. - 1970. - 288 с.

39 Электрооборудование автомобилей [Текст]: Справочник/ А.В. Акимов, О.А. Акимов, С.В. Акимов [и др.]. Под. Ред. Чижкова Ю.П. – М.: Транспорт. - 1993. - 223 с.

40 **Микулин, Ю.В.** Пуск холодных двигателей при низкой температуре / Ю.В. Микулин, В.В. Карницкий, Б.А. Энглин. - М.: Машиностроение. - 1971. - 215 с.

41 Аккумуляторная батарея с внутренним электрообогревом [Текст]: Пат. 2136085 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 01 М 10/50. / Айзензон А.Е., Кесов Ю.В., Титов Е.И.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 97115970; заявл. 29.09.1997. опубл. 27.08.1999, Бюл. 24.

- 42 **Ерохов В.И.** Системы впрыска топлива легковых автомобилей. [Текст] Учебное пособие/В.И. Ерохов. - М.: Транспорт. - 2002. - 174 с.
- 43 **Тверг, Р.** Система зажигания легковых автомобилей. Устройство, обслуживание и ремонт [Текст]/Р. Тверг. - М.: Изд-во «За рулем». - 1997. - 90 с.
- 44 **Фесенко, М. Н.** Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования. [Текст]: Учебное пособие/ М.Н. Фесенко. – М.: Машиностроение. - 1979. – 342 с.
- 45 **Орлин, А. С.** Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст]: Учебное пособие/ А.С. Орлин, М.Г. Круглов. - М.: Машиностроение. - 1993. – 372 с.
- 46 **Тимофеев, Ю. Л.** Электрооборудование автомобилей. Устранение и предупреждение неисправностей [Текст]: учебное пособие/ Ю.Л. Тимофеев, Н. М. Ильин.; - М.: Транспорт. - 2000. –301 с.
- 47 **Покровский, Г. П.** Электронное управление автомобильными двигателями [Текст] Учебное пособие/ Г.П. Покровский. - М.: Машиностроение. - 1994. - 336 с.
- 48 **Данов, Б. А.** Электронное оборудование иностранных автомобилей [Текст]: Системы управления двигателем/Б.А. Данов, Е.И. Титов. - М.: Транспорт. - 1998. - 76 с.
- 49 **Дасоян, М. А.** Основы расчета, конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов [Текст]/ М.А. Дасоян, И.А. Агуф - Л.: Энергия. -1978. -152 с.
- 50 **Фламиш, О.** Диагностика автомобилей [Текст]/о. Фламиш - М.: Транспорт. - 1973. - 207 с.
- 51 **Аджимамедов, С. Б.** Защита аккумуляторных батарей от перезаряда [Текст]/ С.Б. Аджимамедов //Автомобильная промышленность. - 2004. - №1. - С. 31-32.
- 52 **Грига, А. Д.** Кондиционеры воздуха для транспортных средств [Текст]/ А.Д. Грига, И.Н. Никитин, В.Е. Костин, А.П. Кулько //Автомобильная промышленность. – 2000. - № 12. - с. 13-16.



- 53 **Привалов, Н. Я.** Оценка условий работы водителя в зависимости от параметров окружающей среды [Текст]/ Н.Я. Привалов, О.А. Ковальчук, А.Д. Грига, К.В. Худяков //Автомобильная промышленность. - 2007. - №11. - С. 25–27.
- 54 **Касаткин, А. С.** Электротехника [Текст]/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов.- М.: Академия. - 2003. - 539 с.
- 55 **Общая электротехника [Текст] /Под ред. А. Т. Блажкина.** - Л.: Энергоатомиздат. - 1986. - 591 с.
- 56 **Твег, Р** Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт [Текст]/ Р. Твег. - М.: За рулем. - 1996. - 144 с.
- 57 **Аджимамбетов, С. Б.** Двухэтапный пуск ДВС электростартером [Текст]/ С.Б. Аджимамбетов//Автомобильная промышленность. - 2007. - №7. - С. 11-12.
- 58 **Менухов, В. И.** Сверхъёмкие электрохимические конденсаторы. Что это такое? [Текст]/ В.И. Менухов// Электронные компоненты. - 2000. - № 5. - С. 59 – 62.
- 59 **Поляшов, Л. И.** Зарубежные конденсаторы [Текст]/Л. И. Поляшов, Ю.П. Чижков, Н.А. Поляков //XXXIX международная научно-техническая конференция ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». Тез. докл. - М.: МГТУ «МАМИ». - 2002. - С. 51.
- 60 **Поляшов, Л. И.** Отечественные накопители энергии [Текст]/Л. И. Поляшов, Ю.П. Чижков, Н. А. Поляков // XXXIX международная научно-техническая конференция ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». Тез. докл. - М.: МГТУ «МАМИ». - 2002. - С. 51 – 52.
- 61 **Фесенко, М. Н.** Электроника и конденсаторный пуск [Текст]/М.Н. Фесенко, В.П. Хортов //Автомобильная промышленность. - 1986. - №12. - С. 17-18.
- 62 **Фесенко, М. Н.** Конденсаторные системы пуска ДВС [Текст]/М.Н. Фесенко, В.П. Хортов, Ю.П. Чижков//Автомобильная промышленность. - 1986. -

№6. - С. 7.

63 **Белоусов, Б. Н.** Автомобили с гибридной трансмиссией и КЭУ [Текст]/ Б.Н. Белоусов, И.М. Изосимов, К.Г. Лексин //Автомобильная промышленность. - 2006. - №5. - С. 4 - 6.

64 **Зайтин, П. А.** Электромобили и гибридные автомобили [Текст]/П.А. Зайтин, В.А. Кеменов, И.П. Кееневич – М.:Агроконсалт. - 2004. – 416 с.

65 **Ипатов, А. А.** АТС с комбинированными силовыми установками [Текст]/А.А. Ипатов, В.В. Карницкий, И.М. Минкин //Автомобильная промышленность. - 2002. - №7.- С. 36 - 39.

66 **Кондрашкин, А. С.** Легковой автомобиль с гибридной силовой установкой. Результаты экспериментов [Текст]/ А.С. Кондрашкин, Н.М. Филькин, В.Г. Мезрин, В.Ю. Сальников// Автомобильная промышленность. - 2001. - №11. - С. 9 - 10.

67 **Карпунин, А. Л.** Автомобиль с комбинированной силовой установкой. Результаты и методика испытаний [Текст]/ А.Л. Карпунин, С.В. Бахмутов, В.В. Селифонов, М.Е. Вайсблюм, Е.Е. Баулина, К.Е. Карпунин //Автомобильная промышленность. - 2007. - №7. - С. 6 - 9.

68 **Пабат, Ан. А.** Комбинированная силовая установка для АТС [Текст]/Ан.А. Пабат, Ал.А. Пабат //Автомобильная промышленность. - 2006. - № 10. – С. 15 - 17.

69 **Рыбаков, А. А.** Универсальный ДВС [Текст]/А.А. Рыбаков, Е.И. Феофилов //Автомобильная промышленность. - 2000. - №8. - С. 19 - 21.

70 **Эйдинов, А. А.** Математические модели комбинированных силовых установок [Текст]/ А.А. Эйдинов, О.А. Яковлева // Автомобильная промышленность. – 2002. - №1. - С. 17 - 19.

71 **Фесенко, М. Н.** Емкостные накопители энергии в электрооборудовании транспортных средств [Текст]/М.Н. Фесенко, Ю.П. Чижков //Грузовик. - 1999. - № 8. - С. 11 - 15.

72 **Копылов, А. И.** Конденсаторная система пуска для «Оки» [Текст]/А.И. Копылов, В.А. Прохоров, В.С. Прохоров //Автомобильная промышленность.

- 1989. - №8. - С. 22.

73 **Хортов, В. П.** Конденсаторная система пуска на автомобиле ЗИЛ [Текст]/ В.П. Хортов, В.И. Курский, В.А. Башкиров //Автомобильная промышленность. - 1989. - №4. - С. 26.

74 **Чижков, Ю. П.** Емкостные накопители энергии в системах пуска [Текст]/ Ю.П. Чижков// Автомобильная промышленность. - 2001. - №1. - С. 26 - 27.

75 **Боровских, Ю. И.** Электрооборудование автомобилей [Текст]/ Ю.И. Боровских - М.: Транспорт. - 1971. - 192 с.

76 **Данов, Б. А.** Электронные приборы автомобилей[Текст]: Учеб. пособие /Б.А. Данов, В.Д. Рогачев – 3-е изд.стер. – М.: Транспорт. - 1996. - 80 с.

77 **Воинов, А. Н.** Сгорание в быстроходных поршневых двигателях [Текст]/А.Н. Воинов. – М.: Машиностроение. - 1977. - 277 с.

78 **Глезер, Г. Н.** Автомобильные электронные системы зажигания [Текст]/Г.Н. Глезер., И.М. Опарин. - М.: Машиностроение. - 1977. - 144 с.

79 **Балагуров, В. А.** Аппараты зажигания. Монография. [Текст]/ В.А. Балагуров; - М.: Машиностроение, 1965. - 352.

80 **Каменев, В. Ф.** Способ управления двигателем, работающим на обедненных топливовоздушных смесях [Текст]/В.Ф. Каменев, С.А. Ефременко //Автомобильная промышленность. - 1995. - № 4. – С. 42.

81 ГОСТ 28827-90. (ИСО 6518/2-82, ст. СЭВ 6898-89). Системы зажигания автомобильных двигателей. Методы испытаний=Ignition systems of automobile engines. Testmethods; [Текст] - Введ. 01.07.92, - М.: Изд-во стандартов. - 1991. – 10 с.

82 **Брюханов, А. Б.** Электроника на автомобильном транспорте. [Текст] Учебное пособие/ А.Б. Брюханов, А.Б. Хомич. - М.: Транспорт. - 1984.- 126 с.

83 **Баранов, Ю. Ф.** Бесконтактные тиристорные системы зажигания с источником переменного тока для двухтактных двигателей внутреннего сгорания. [Текст]: учебное пособие/ Ю.Ф. Баранов, А.К. Старостин. - М.: НИИ-НАвтопром. - 1978. - 35 с.

84 **Глезер, Г. Н.** Автомобильные электронные системы зажигания

[Текст]/Г.Н. Глезер., И.М. Опарин, Э.Л. Хейман – М.: Машиностроение. - 1967. - 167 с.

85 **Ерохов, В. И.** Общая концепция совершенствования газовой аппаратуры ДВС с искровым зажиганием [Текст]/ В.И. Ерохов, М.А.Карпунин //Автомобильная промышленность. - 2007. - №7. - С. 12-15.

86 **Корнюшин, В. М.** Газ – топливо, ухудшающее экологию [Текст]/ В.М. Корнюшин //Автомобильная промышленность. - 2007. - №9. - С. 10-12.

87 **Бортников, Л. Н.** Оценка экологических и экономических показателей поршневых ДВС с искровым зажиганием при их работе на смеси «бензин-водород» [Текст]/Л.Н. Бортников, Н.М. Русаков //Автомобильная промышленность. - 2008. - №2. - С. 12-15.

88 **Бортников, Л. Н.** Оценка экологических и экономических показателей поршневых ДВС с искровым зажиганием при их работе на смеси «бензин-водород» [Текст]/Л.Н. Бортников, Н.М. Русаков //Автомобильная промышленность. – 2008. - №3. - С. 11-13.

89 **Ерохов, В. И.** Лазерная система зажигания автомобильного ДВС [Текст]/ В.И. Ерохов, А.Л. Карпунин, М.А.Карпунин, А.М. Ревонченков //Автомобильная промышленность. – 2007. - №8. - С. 10–13.

90 **Ерохов, В. И.** Лазерно-искровая система зажигания [Текст]/В.И. Ерохов, А.Л. Карунин // Автомобильная промышленность. - 2005. - № 6. - С. 12-15.

91 **Румянцева, А. Л.** Перспективы создания систем зажигания с искровым разрядом высокой энергии [Текст]/А.Л. Румянцева, С.Г. Пустельников, В.И. Чепланов, И.М. //Яр. НИИавтоприборов. - 1982. - в. 53. - С. 71-84.

92 **Румянцева, А. Л.** Перспективы создания систем зажигания с искровым разрядом высокой энергии [Текст]/ А.Л. Румянцева, С.Г. Пустельников, В.И. Чепланов, И.М. Опарин. - М: Нииавтоприбор. - 1982. – 154 с.

93 Бесконтактная батарейная экранированная система зажигания “Искра “ для автомобилей ЗиЛ и Урал: Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст] - Старый Оскол: - 1983. - 32 с.

- 94 **Соснин, Д. А.** Новейшие электронные автомобильные системы [Текст]/Д.А. Соснин, В.Ф. Яковлев. - М.: Солон Пресс. - 2005. - 240 с.
- 95 **Вайнштейн, Л. Л.** Система зажигания двигателя ВАЗ 2108 [Текст]/Л.Л. Вайнштейн, Н.И. Леонов, В.И. Чепланов, Н.И.Мелешко. //Автомобильная промышленность. - 1986. - №12. - С.14-16.
- 96 Ремонтируем Газель: Иллюстрированное руководство «Своими силами» [Текст]/ – М.: ЗАО «За рулем». - 2003. - 264 с.
- 97 Цветное руководство по ремонту, техническому обслуживанию и эксплуатации автомобилей ВАЗ-2107, ВАЗ-21072, ВАЗ-21073-04, ВАЗ-21074 [Текст]/ – М.: «Издательский Дом Третий Рим». - 2001. - 176 с.
- 98 **Хортов, В. П.** Высокочастотная система зажигания [Текст]/ В.П. Хортов//Автомобильная промышленность. - 2003. - №6. - С. 22-24.
- 99 **Резник, А. М.** Электрооборудование автомобилей [Текст]/А.М. Резник, В.П. Осипов - Изд.3-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт. - 1988. - 236 с.
- 100 **Галкин, В. И.** Полупроводниковые приборы [Текст]: Справочник/В.И. Галкин, А.Л. Булычев, П.М. Лямин. - Минск, Беларусь. - 1995. - 383 с.
- 101 **Асмус, Т. У.** Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями. [Текст]: учебное пособие/ Т.У. Асмус, К.Н. Боргнаккс, С.К. Кларк // Пер. с англ. А.М.Васильева, под редакцией А.В. Кострова. - М.: Машиностроение. - 1988. - 504 с.
- 102 **Хейман, Э. Л.** Переходные процессы в контактно-транзисторных системах зажигания. [Текст]: учебное пособие/ Э.Л. Хейман; // Труды НИИАП. - в. 2. – 1965. - 97 с.
- 103 **Воробьев, Ю. А.** Моделирование и расчет схем электронного зажигания с применением программных средств автоматизированного схематического проектирования [Текст] / Ю.А. Воробьев, В.М. Черепенников. - М.: Тр. НИИавтоприборов. - 1985. в. - 58. - С. 157-165.
- 104 **Шаховцев, В. И.** Исследование эксплуатационной надежности и работоспособности систем зажигания грузовых и легковых автомобилей [Текст]. Дис....канд. техн. наук: 05.05.03: - защищена 14.07.63/ Шаховцев Владимир

Иванович. – М.: - 1963. - 197 с. Библиогр.: С. 180 – 197.

105 **Злотин, Г. Н.** Влияние скорости открытия дроссельной заслонки и скоростного режима карбюраторных двигателей на параметры искровых разрядов в свечах зажигания [Текст]/Г.Н. Злотин, В.М. Малатов //Автомобильная промышленность. - 1974. - № 1. - С. 42.

106 **Набоких, В. А.** Катушки зажигания российского производства [Текст]/В.А. Набоких., И.М. Опарин //Автомобильная промышленность. - 2006. - № 7. – С. 29-31.

107 **Лазарев, Л. Л.** Современные методы и средства контроля и регулирования систем зажигания двигателей внутреннего сгорания. [Текст] Учебное пособие/ Л.Л.Лазарев - М.: НИИНавтопром. - 1977. – 43 с.

108 **Ланцберг, И. Д.** Ремонт Электрооборудования автомобилей. [Текст] Учебное пособие/ И.Д. Ланцберг, Л.З. Соколин, В.Н. Каманин. - М.: Транспорт. - 1981. -317 с.

109 **Леб, Л. Б.** Основные процессы электрических разрядов в газах. [Текст]: учебное пособие / Л.Б. Леб. - М.: Гостехиздат. - 1960. - 840 с.

110 **Гутцайт, Л. Э.** Тенденции развития электронных коммутаторов систем зажигания автомобильных двигателей [Текст]/ Л.Э.Гутцайт, В.И. Чепланов, С.Г. Пустельников. - М.: Труды НИИавтоприборов. - 1985. - в. 58. - С. 56-81.

111 **Давтян, Р. И.** Анализ технического уровня и тенденций развития двигателей внутреннего сгорания [Текст]/Под ред. Р.И. Давтяна. Научно-информационный отчет. - М.: Информцентр – НИИД. - 1997. - в. 22, 23, 25, 26.

112 **Данов, Б. А.** Электрооборудование военной автомобильной техники. [Текст] Учебное пособие/ Б.А. Данов, В.Д.Рогачев, Н.П. Шевченко; - Рязань.: РВАИ. - 2005. – 518 с.

113 **Зубков, А. С.** Потребляемая мощность и оценка экономичности работы системы зажигания [Текст]/А.С. Зубков,В.П. Горкин. - М.:Тр. НИИавтоприборов. - 1985. - в. 58. - С.115-130.

- 114 **Кальмансон, Л. Д.** Электрооборудование автомобиля ГАЗ-3110. [Текст] Учебное пособие/ Л.Д.Кальмансон, О.И. Пелюшенко; - М.: Изд-во «Колесо». - 1998. - 160 с.
- 115 **Копылова, Л. В.** Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования. [Текст]: учебное пособие/ Л.В. Копылова, В.И. Короткое, В.Е. Красильников [и др.]. - М.: Машиностроение. – 1979. - 344 с.
- 116 **Кудрявцева, Е. С.** Анализ электрического смещения момента искробразования в бесконтактных системах зажигания с магнитоэлектрическим датчиком. [Текст]: учебное пособие/ Е.С. Кудрявцева, И.М. Опарин. - М.:Тр. МАДИ. - 1985. - в. 14. - С. 41-46.
- 117 **Куликов, А. А.** Контактно-транзисторные системы зажигания и расчет их выходных характеристик на ЭВМ [Текст]/ А.А. Куликов, И.М. Опарин: //Автомобильная промышленность. - 1967. - № 2 - 40 с.
- 118 Функциональные устройства систем электропитания наземной РЭА [Текст]/ Под редакцией В.Г. Костикова. - М.: Радио и связь. - 1990. – 193 с.
- 119 **Миловзоров, В. П.** Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения [Текст]/ В.П. Миловзоров, А.К. Мусолин – М.: Энергоатомиздат. - 1986. - 247 с.
- 120 Интегральные микросхемы. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение [Текст] - М.: Додека. - 2000. - 608 с.
- 121 **Гармаш, Ю. В.** Время пролета основных носителей заряда в слое Шоттки [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Тез. докл. 4 Всес. научно-техн. семинара "Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем". - М.: - 1987. - С. 12.
- 122 **Денисов, А. Л.** Резонансная спектроскопия глубоких центров в полупроводниковых структурах [Текст]/А.Л. Денисов, А.Я. Клочков, С.И. Кордюков, Ю.В. Гармаш, П.Т. Орешкин, Ю.А. Туркин // Электронная промышленность. - 1986. - в.4/152. - С.65-67
- 123 **Денисов, А. Л.** Применение резонансной релаксации заряда для исследования полупроводниковых структур [Текст]/А.Л. Денисов, А.Я. Клочков,

Ю.В. Гармаш, П.Т. Орешкин, Перелыгин А.И., С.В. Рожков // Электронная промышленность. - 1984. - в.2/130. - С. 65-68.

124 **Орешкин, П. Т.** Исследование переходных процессов в диодах Шоттки [Текст]/ П.Т. Орешкин, А.Я. Ключков, Ю.В. Гармаш // Электронная техника. - 1984. - сер.3. - в.2/201 - С. 87-88.

125 **Орешкин, П. Т.** Исследование энергетического спектра на границе раздела в слоях Шоттки [Текст]/П.Т. Орешкин, А.Я. Ключков, О.Н.Лактюшкин, Ю.В. Гармаш, А.С.Глебов, М.В. Зубков, А.Н. Кузьмин // Электронная техника. - 1984. - сер.3. - в.2/201. - С. 114-115.

126 **Орешкин, П. Т.** К вопросу о релаксационной спектроскопии глубоких центров в полупроводниках [Текст]/ П.Т. Орешкин, А.И. Перелыгин, Ю.В. Гармаш// Физика и техника полупроводников. - т.17. - 1983. - в.3. - С.496-498.

127 **Орешкин, П. Т.** Резонансная релаксация заряда в физических барьерных слоях [Текст]/ П.Т. Орешкин, А.И. Перелыгин, Ю.В. Гармаш // Известия вузов СССР. Физика. - 1983. - №11. - С.67-72.

128 **Орешкин, П. Т.** Исследование переходных процессов в диодах [Текст]/П.Т. Орешкин, Ю.А. Туркин, Ю.В. Гармаш, В.О. Мягких, Н.В. Бодягин // Тез. докл. 3 Всес. научно-техн. семинара "Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем". - М.: - 1984. - С. 36-37.

129 **Гармаш, Ю. В.** Релаксационная спектроскопия глубоких центров [Текст]/Ю.В. Гармаш// Материалы 3 Всес. научно-техн. семинара "Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем". - Рязань: - 1985. - С.11-19.

130 **Кныш, В. А.** Полупроводниковые преобразователи в системах заряда накопительных конденсаторов [Текст]/ В.А. Кныш. - Л: Энергоиздат. Ленинградское отделение. - 1981, - 156 с.

131 **Пентегов, И. В.** Об оптимальном законе заряда батарей конденсаторов [Текст]/ И.В. Пентегов, И.В. Волков // Доклады АН УССР. - 1966. - в.4. - с. 477-479.



- 132 **Бальян, Р. Х.** Трансформаторы для радиоэлектроники [Текст]/ Р.Х. Бальян. – М.: Советское радио. – 1971. - 253 с.
- 133 **Волков, Н. И.** Электромашинные устройства автоматики [Текст]/Н.И. Волков, В.П. Миловзоров. - М.: Высшая школа. - 1978. - 336 с.
- 134 **Воробьев, А. А.** К.п.д. зарядки емкостного накопителя [Текст]/ А.А. Воробьев, М.П. Тонконогов, Е.И. Глузберг // Известия ВУЗов. Электромеханика. - 1968. - № 12. - с. 1303 - 1310.
- 135 **Федченко, И. К.** Приближенный метод расчета времени заряда конденсаторной батареи выпрямленным пульсирующим напряжением [Текст] / И.К. Федченко, О.С. Ильченко // Известия ВУЗов. Энергетика. - 1965. - т. 2. - с. 12 - 19.
- 136 **Милях, А. Н.** Индуктивно-емкостные преобразователи [Текст]/А.Н. Милях, Б.Е. Кубышин, И.В. Волков. – Киев: Наукова думка. – 1964. - 234 с.
- 137 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]/ Л.А.Бессонов. - М.: Высшая школа. - 1978. – 656 с.
- 138 **Зевеке, Г. В.** Основы теории цепей [Текст]/Г.В.Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов: - 5-е изд. перераб. - М.: Энергоатомиздат. - 1989. - 528 с.
- 139 **Гоноровский, И. С.** Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]/ И.С. Гоноровский - М.: Советское радио. - 1977. - 608 с.
- 140 **Бронштейн, И. Н.** Справочник по математике [Текст]/ И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. - М.: Наука. - 1986. - 544 с.
- 141 **Корн, Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст]/Г. Корн, Т.Корн - Издание пятое. – М.: Наука. - 1984. – 832 с.
- 142 **Галкин, Ю. М.** Выбор минимальной величины напряжения питания приборов системы зажигания [Текст]/Ю.М. Галкин, Ю. А. Купеев/ Автомобильная промышленность. - 1983. - №11. С.7-8.
- 143 Аналоговый регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2006176 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 9/30. / Нещадим И.Л. ; Заявитель и патентообладатель

тель Рязанское высш. военн.инжен. авт.училище.; №5033264; заявл. 19.03.1992. опубл. 15.01.1994, Бюл.№1.

144 **Хоровиц, П.** Искусство схемотехники. [Текст]: Т1. / П. Хоровиц, У. Хилл. -М.: Мир. - 1983. - 598 с.

145 **Шалимова, К. В.** Физика полупроводников [Текст]/К.В. Шалимова – М.: Энергия. - 1976. – 355 с.

146 **Айзенцон, А. Е.** Вторичные источники питания электрооборудования автомобильной техники. Монография [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш. - Рязань: РВАИ. – 2005. - 226 с Устройство для компенсации саморазряда аккумуляторных батарей [Текст]: Пат. 2088018 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 J 7/10, Н 01 М 10/42. /Рогачев В.Д., Гармаш Ю.В., Калошин А.Н.; Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 95121186/07; заявл. 14.12.1995; опубл. 20.08.1997, Бюл. 23.

147 **Гармаш, Ю. В.** Источник опорного напряжения с регулируемым температурным коэффициентом напряжения тока [Текст]/Ю.В. Гармаш, Е.И. Титов, А.В. Латахин// Межвузовский сб. научных трудов "Физика полупроводников и микроэлектроника". – Рязань: РГРТА. - 1997. - С.60-63.

148 **Буна, Бела.** Электроника на автомобиле [Текст]/ Бела Буна – М.: Транспорт. – 1979. - 182 с.

149 **Паньков, Л. А.** Для уменьшения шума отопителя салона легкового автомобиля [Текст]/Л.А. Паньков //Автомобильная промышленность. - 2006. - № 3. - С. 22 -23.

150 **Айзенцон, А. Е.** К понятию «Квазистационарность» при рассмотрении переходных процессов [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш //Труды IV междунар. научно-методической конференции преподавателей вузов, ученых и специалистов «Высокие технологии в педагогическом процессе». - Нижний Новгород: - 2003. - С. 83.

151 **Гармаш, Ю.В.** Моделирование системы электропуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]/Ю.В. Гармаш// Сб. Трудов XV всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специали-

стов. Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании НИТ 2010. Материалы конференции. – Рязань, - РГРТУ-2010, - С. - 324.

152 **Гармаш, Ю.В.** Экспериментальное исследование системы пуска с емкостным накопителем энергии [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Е.В.Латахина// Рязанский военный автомобильный институт. Сборник научных трудов. Вып. 17. – Рязань: РВАИ, 2007, С. 211-214.

153 **Айзенцон, А. Е.** Модель работы системы электропуска ДВС [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Е.В.Латахина //Автомобильная промышленность. – 2004. - № 5. - С. 16-18.

154 Sarbaev, V. I. Current and voltage of a starter at a feed of system of start-up of the engine from the store of energy[Текст]/ V. I. Sarbaev, **Y.V Garmasch** //Nauka i studia. - NR 10 (41) - 2011. -p.85-89.

155 **Гармаш, Ю.В.** Улучшение эксплуатационных характеристик системы электроснабжения автомобиля [Текст]/ Ю.В. Гармаш// Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы 16 Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2011. - С. 266-267.

156 **Лебедев, С. А.** Зарядное устройство для экологически чистых накопителей энергии [Текст]/С.А. Лебедев, В.С. Антипенко, Ю.В. Гармаш // Сб. тез. Трудов международной конференции «Протек – 2006» (производство, технология, экология), - М. : МГТУ «Станкин». - 2006. - С. 6.

157 **Лебедев, С. А.**Зарядное устройство для экологически чистых накопителей энергии [Текст]/С.А. Лебедев, В.С. Антипенко, Ю.В. Гармаш//Труды международной конференции «Протек – 2006» (производство, технология, экология). - М.: МГТУ «Станкин», сб. научных трудов. – 2006. - № 9. - С. 77-79.

158 Устройство для локального разогрева масла в подшипниках силовой установки транспортного средства [Текст]: Пат. 2178829 Российская федера-

ция, МПК<sup>7</sup> F 02 N 17/04; F 01 M 5/02 /Гармаш Ю.В., Титов Е.И., Лебедев С.А.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2000100156; заявл. 05.01.2000; опубл. 27.01.2002, Бюл. 3.

159 Система электростартерного пуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2187013 Российская федерация: МПК<sup>7</sup> F 02 N 11/08. / Гармаш Ю.В., Титов Е.И., Лебедев С.А.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2000108954; заявл. 10.04.2000; опубл. 10.08.2002, Бюл. 22.

160 Устройство для заряда накопителей энергии для системы конденсаторного электростартерного пуска двигателя внутреннего сгорания. [Текст]: Пат. 2217623 Российская федерация: МПК<sup>7</sup> F 02 N 11/08. /Гармаш Ю.В., Карабанов С.М., Ясевич В.И.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2001135784; заявл. 26.12.2001. опубл. 27.11.2003, Бюл. 33.

161 Система пуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2247036 Российская федерация: МПК<sup>7</sup> В 60 К 11/02 , F 01 P 3/20/ Ясевич В.И., Гармаш Ю.В., Карабанов С.М., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю., Латахина Е.В.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2003118956; заявл. 24.06.2003. опубл. 27.02.2005, Бюл. 6.

162 **Титов, Е. И.** Зарядное устройство для накопителей энергии [Текст]/ Е.И. Титов, Ю.В. Гармаш, С.А. Лебедев //Грузовик. - 2001. - №7. - С.10-11.

163 **Лебедев, С. А.** Анализ технического уровня свинцовых стартерных аккумуляторных батарей, применяемых на образцах вооружения и военной техники [Текст]/С.А. Лебедев, М.А. Молчанов, Е.И. Титов, Ю.В. Гармаш //Грузовик. - 2001. - №7. - С. 31-34.

164 **Титов, Е. И.** Унифицированный источник электроэнергии для систем электрического пуска ВВТ. Батарея-модуль [Текст]/ Е.И. Титов, Ю.В. Гармаш, С.А. Лебедев //Грузовик. - 2001. - №9. - С.7-8.

- 165 **Айзенцон, А. Е.** О проблеме электропуска автомобильного двигателя при низких температурах. [Текст]/А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Е.В. Латахина//Сборник научных трудов. – Рязань: РВАИ. - 2007. - в. 17. - С. 211-214.
- 166 **Гармаш, Ю. В.** Системы бортового электрооборудования с ограниченной мощностью первичного источника [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Грузовик. - 2007. - № 8. - С.10-11.
- 167 **Гармаш, Ю. В.** Моделирование процесса пуска двигателя внутреннего сгорания при питании стартера от емкостного накопителя энергии [Текст]/ Ю.В. Гармаш //Международная научно-практическая конференция «Наука и образование XXI века». – Рязань: - 2007. - С. 229-233.
- 168 **Гармаш, Ю. В.** Моделирование системы пуска ДВС при ее питании от емкостного накопителя энергии [Текст]/ Ю.В. Гармаш//Грузовик. - 2007. - № 11. - С.19-22.
- 169 **Ясевич, В. И.** Моделирование системы электропуска автомобильного двигателя при низких температурах [Текст]/В.И. Ясевич, С.М. Карабанов, А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Е.В. Латахина //Электронная промышленность. - 2003. - №4. - С. 108-117.
- 170 **Гармаш Ю.В.** Об оптимизации системы очистки стекла транспортного средства [Текст]/ Ю.В. Гармаш.//Изв. ВУЗов. Машиностроение № 1, 2011, С. 23- 26
- 171 **Лебедев, С. А.** Унификация и оптимизация номенклатуры аккумуляторных батарей [Текст]/ С.А. Лебедев, Е.И.Титов, Ю.В. Гармаш, С.Н.Шумкин//Грузовик. - 2000. - №9. - С. 33-34.
- 172 **Титов, Е. И.** Пути унификации и оптимизации источников тока для систем электрического пуска военной автомобильной техники [Текст]/ Е.И.Титов, С.А. Лебедев, С.Н.Шумкин, Ю.В. Гармаш// Научно-технический сборник №10. – Рязань: - ВАИ. – 2000. – С .36-42.
- 173 **Айзенцон, А. Е.** Экспериментальное исследование системы пуска с емкостным накопителем энергии [Текст]/А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш// Рязань-

ский военный автомобильный институт. Сборник научных трудов. Вып. 17. – Рязань: - РВАИ. – 2007. - С. 214 - 216.

174 **Гармаш, Ю. В.** Определение компрессии ДВС при прокручивании двигателя стартером [Текст]/Ю.В. Гармаш// Тез. докл. 18 научно-методической конференции Рязанского высшего военного автомобильного инженерного училища. – 1988. - С.78-79.

175 Устройство для компенсации саморазряда аккумуляторных батарей [Текст]: Пат. 2088018 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 J 7/10, Н 01 М 10/42. /Рогачев В.Д., Гармаш Ю.В., Калашин А.Н.; Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 95121186/07; заявл. 14.12.1995; опубл. 20.08.1997, Бюл. 23.

176 **Лебедев, С. А.** Анализ технического уровня свинцовых стартерных аккумуляторных батарей, применяемых на образцах вооружения и военной техники [Текст]/С.А. Лебедев, М.А. Молчанов, Е.И. Титов, Ю.В. Гармаш //Грузовик. - 2001. - №7. - С. 31-34.

177 **Пряшников, В. А.** Электроника [Текст]: Курс лекций/ В.А. Пряшников – С.Пб.: Корона – принт. - 1998. - 399 с.

178 **Пухальский, Г. И.** Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах [Текст]: справочник/Г.И. Пухальский, Т.Я. Новосельцева. - М.: Радио и связь. - 1990. - 304 с.

179 **Гармаш, Ю. В.** Оптимизация характеристик системы зажигания бензиновых двигателей [Текст]/Ю.В. Гармаш, А.В. Латахин, Е.И. Титов// Научно-технический сборник № 8. – Рязань: - ВАИ. – 1998. - С.136.

180 **Гармаш, Ю. В.** К вопросу оптимизации характеристик систем зажигания в военной автомобильной технике [Текст]/Ю.В. Гармаш, Е.И. Титов, А.В. Латахин// Научно-технический сборник № 8. – Рязань: - ВАИ. – 1998. - С.6-8.

181 **Гармаш, Ю. В.** Устройство для регулирования системы зажигания бензинового двигателя [Текст]/Ю.В. Гармаш, А.В. Латахин, Е.И. Титов// Научно-методический сборник. – Рязань: - ВАИ. - 1999. - С.116.

182 **Гармаш, Ю. В.** Исследование системы зажигания с регулируемым напряжением питания [Текст]/Ю.В. Гармаш, Е.И. Титов, А.В. Латахин // Материалы XXIV научно-методической конференции. - Рязань: - ВАИ. - 1999. - С.131 – 133.

183 **Гармаш, Ю.В.** Моделирование системы электропуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]/ XV всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. /Ю.В. Гармаш, //Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании НИТ 2010. Материалы конференции. – Рязань, - РГРТУ-2010, -324 с.

184 **Гармаш, Ю.В.** Адаптивная система зажигания для двигателя внутреннего сгорания [текст] / XV всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании НИТ 2010. Материалы конференции. – Рязань, - РГРТУ-2010, - С. 343.

185 **Гармаш, Ю.В.** Автомобильный регулятор напряжения с двумя уровнями [Текст]/Ю.В. Гармаш, Л.Е. Михневич// Материалы IV международной научно-практической конференции «Наука и образование XXI века» Т.2. Ч1. – Рязань, - 2010. С. 41-46.

186 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2136105 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 9/30./Гармаш Ю.В., Титов Е.И., Белов А.Б., Касем Мохамад, Латахин А.В., Плисова Р.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 98103216; заявл. 10.02.1998. опубл. 27.08.1999, Бюл. 24.

187 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2188497 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 9/30, Н 02 J 7/14 /Гармаш Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2000100251; заявл. 05.01.2000. опубл. 27.08.2002, Бюл. 24.

188 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2207703 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 9/30.. /Гармаш Ю.В., Титов Е.И., Лебедев С.А.; За-

явитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2001111438; заявл. 25.04.2001. опубл. 27.06.2003, Бюл. 18.

189 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2277748 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 9/30, Н 02 J 7/14. / Карабанов С.М., Гармаш Ю.В., Ясевич В.И., Белов А.Б., Голиков А.Н.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов». № 2004115011; заявл. 17.05.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. 16.

190 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2292628 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 9/30, Н 02 J 7/14 / Белов А.Б., Гармаш Ю.В., Михневич Л.Е., Голиков А.Н.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2005110537; заявл. 11.04.2005; опубл. 27.01.2007, Бюл. 3.

191 **Гармаш, Ю.В.** Управление электроприводом постоянного тока (монография) [Текст] // Ю.В., Гармаш, В.И. Сарбаев.//Lambert academic publishing. - GmbH Saarbrücken, Germany. ISBN: 978-3-659-15763-9. – 2012 – 136 с.

192 Сарбаев, В.И. Источники опорного напряжения для автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, Ю.В. Гармаш // В кн.: Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств / Материалы XIУ Международной научно-практической конференции. - Владимир, ВлГУ, 2011, - 333с., - с. 181-183. - ISBN 978-5-9984-0237-1.

193 **Айзенцон, А. Е.** Источник опорного напряжения для регулятора напряжения синхронного генератора [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш // IX Международная конференция «Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов». Сб. статей. – Пенза: - 2004. - С.5 - 8.

194 **Айзенцон, А. Е.** Регулятор напряжения с двумя уровнями [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Л.Е. Михневич // Материалы 49-ой международной научно-технической конференции «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». – М.: МГТУ «МАМИ». - 2005. - С. 6-8.



195 **Айзенцон, А. Е.** О расширении представлений о температурных коэффициентах физических величин [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш //Труды V Международной научно-технической конференции преподавателей вузов, ученых и специалистов «Высокие технологии в педагогическом процессе. - Нижний Новгород: - 2004. - С. 275-276.

196 Источник опорного напряжения [Текст]: Пат. 2119212 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 01 L 23/58, Н 03 F 1/30. /Гармаш Ю.В., Карабанов С.М.; Заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью «Гелион».; №96117919; заявл. 4.09.1996; опубл. 20.09.1998, Бюл. 26.

197 Измеритель температуры [Текст]: Пат. 2165600 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 K 7/16, 7/00.. /Карабанов С.М., Гармаш Ю.В.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 99111389; заявл. 26.05.1999. опубл. 27.03.2001, Бюл. 11.

198 **Ютт, В. Е.** Электронные системы зажигания автомобильных двигателей. [Текст]: учебное пособие/ В.Е. Ютт, О.Л. Блохин. – М.: МАДИ. - 1985. - 100с.

199 **Набоких, В. А.** Эксплуатация и ремонт электрооборудования автомобилей и тракторов. [Текст] Учебное пособие/ В.А. Набоких; – М.: Транспорт. - 2004. – 240 с.

200 Устройство для заряда батарей аккумуляторов [Текст]: Пат. 2127938 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 J 7/02 / Гармаш Ю.В., Шевченко Н.П., Титов Е.И., Кесов Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 97116176/09; заявл. 29.09.1997. опубл. 20.03.1999, Бюл. 8.

201 **Айзенцон, А. Е.** Регулятор напряжения с импульсным стабилизатором [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Л.Е.Михневич, О.В. Герасев // Автомобильная промышленность. - 2005. - № 8. - С. 21-22.

202 **Гармаш, Ю. В.** Новый автомобильный регулятор напряжения в бортовой сети АТС [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Н.П. Шевченко, Л.Е. Михневич //Автомобильная промышленность. - 2006. - № 9. - С. 16 - 17.

203 Система управления работой отопителя салона автомобиля [Текст]: Пат. 2236957 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/08. / Гармаш Ю.В., Ясевич В.И., Карабанов С.М., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов». № 2003117238; заявл.09.06.2003; опубл. 27.09.2004, Бюл. 27.

204 **Гармаш, Ю. В.** Анализ применения импульсных преобразователей напряжения в электроприводе вспомогательного оборудования автомобильной техники. Монография [Текст]/ Ю.В. Гармаш. – Рязань: РВАИ. - 2007. – 99 с.

205 **Зи, С.** Физика полупроводниковых приборов [Текст]: Т.2/ С. Зи. - М.: Мир. - 1984. - 456 с.

206 Система отопления и вентиляции салона автомобиля [Текст]: Пат. 2270104 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/04. /Карабанов С.М., Ясевич В.И., Гармаш Ю.В., Пономарева И.И.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2004115012 заявл. 17.05.2004; опубл. 20.02.2006, Бюл. 8.

207 Система вентиляции и отопления салона автомобиля [Текст]: Пат. 2304525 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/06 / Карабанов С.М., Невдах М.А., Айзензон А.Е., Гармаш Ю.В., Ясевич В.И.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2005104058; заявл. 15.02.2005; опубл. 20.08.2007, Бюл. 23.

208 Система управления электровентилятором охлаждения двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2247036 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 К 11/02 , F 01 P 3/20 / Ясевич В.И., Карабанов С.М., Гармаш Ю.В., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2003118956; заявл. 14.06.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. 6.

- 209 Система управления электроклапаном охлаждения радиатора двигателя с плавной регулировкой скорости вращения [Текст]: Пат. 2229985 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 К 11/02/ Карабанов С.М., Ясевич В.И., Со-ломенко А.Н., Гармаш Ю.В., Андрук М.Ю.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2002103143; заявл. 04.02.2002; опубл. 27.10.2007, Бюл. 23.
- 210 **Гармаш, Ю.В.** Модернизация системы охлаждения двигателя внутренне-го сгорания [Текст]/Ю.В. Гармаш, И.И. Пономарева, Д.А. Панов// Матери-алы IV международной научно-практической конференции «Наука и образо-вание XXI века» Т.2. Ч1. – Рязань, - 2010. С. 50-57.
- 211 **Гармаш, Ю.В.** Управление электроприводом постоянного тока авто-транспортного средства[Текст]/Ю.В. Гармаш,Л.Е. Михневич// Материалы IV международной научно-практической конференции «Наука и образование XXI века» Т.2. Ч1. – Рязань, - 2010. С. 73-78.
- 212 **Айзенцон, А. Е.** Многорежимное устройство управления стеклоочисти-телем [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш, Н.П. Шевченко // Автомоби-льная промышленность. - № 12. – 2005. - с.23-24.
- 213 Система управления электродвигателем стеклоочистителя [Текст]: Пат. 2297345 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 S 1/08,/ Гармаш Ю.В., Шевченко Н.П., Михневич Л.Е.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2005110541; заявл. 11.04.2005; опубл. 20.04.2007, Бюл 11.
- 214 **Гармаш, Ю. В.** Об оптимизации системы очистки стекла транспортного средства. [Текст]/ Ю.В. Гармаш //Международная научно-практическая кон-ференция «Наука и образование XXI века». –Рязань: - 2007 - С. 234-237.
- 215 Система очистки стекла транспортного средства [Текст]: Пат. 2127676 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 S 1/46. / Рогачев В.Д., Гармаш Ю.В., Дмитриев В.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 96111123/28; заявл. 30.05.1996; опубл. 20.03.1999, Бюл. 8.

- 216 **Ермаков, В. В.** Вентильно - индукторный двигатель для усилителя руля [Текст]/ В.В. Ермаков, В.В. Королев //Автомобильная промышленность. - 2005. - № 12. - С. 19 - 21.
- 217 **Рожков, С. В.** Вопросы моделирования микропроцессорной системы, информирующей о скорости замедления автомобиля [Текст]/С.В. Рожков, Ю.В.Гармаш, И.И. Пономарева// Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и оборудовании». – Рязань: РГРТУ. - 2007. - С. 213-214.
- 218 **Гармаш, Ю. В.** О возможности индикации торможения транспортного средства [Текст]/ Ю.В. Гармаш, С.В. Рожков// Рязанский военный автомобильный институт. Сборник научных трудов. Вып. 17. – Рязань: - РВАИ. - 2007. - С. 234 - 235.
- 219 **Гармаш, Ю. В.** Об исследовании спектра шума как средства анализа электролиза [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Л.Е. Михневич// Рязанский военный автомобильный институт. Сборник научных трудов. Вып. 17. – Рязань: - РВАИ. - 2007. - С. 235 - 236.
- 220 **Гармаш, Ю. В.** Об автоматической очистке стекла транспортного средства [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Рязанский военный автомобильный институт. Сборник научных трудов. Вып. 17. – Рязань: - РВАИ. - 2007. - С. 236 - 238.
- 221 **Айзенцон, А. Е.** О плавной регулировке скорости вращения вентилятора отопителя [Текст]/А.Е.Айзенцон, Ю.В.Гармаш, И.И. Пономарева, В.И. Ясевич// Автомобильная промышленность. – 2004. - № 11. - С. 21 – 22.
- 222 **Гармаш, Ю.В.** Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электроприводе вспомогательного оборудования автомобильной и строительной техники. ISBN 978-5-904221-03-4 [Текст]: монография / Ю.В. Гармаш. – Рязань: СТИ. – 2008. – 89 с.
- 223 Система отопления и вентиляции салона автомобиля [Текст]: Пат. 2236956 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/06. /Гармаш Ю.В., Ясевич В.И., Карабанов С.М., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю., Сажин Б.Н.; Заяви-

тель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов». № 2003117255/11; заявл.09.06.2003; опубл. 27.09.2004, Бюл. 27.

224 Система регулирования микроклимата помещения транспортного средства [Текст]: Пат. 2211156 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/08 / Карabanов А.С., Гармаш Ю.В., Ясевич В.И., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2001116276; заявл. 13.06.2001; опубл. 27.08.2003, Бюл. 24.

225 **Гармаш, Ю. В.** О профессионально значимом применении эффекта Пельтье [Текст]/Ю.В. Гармаш, С.С. Минаев// Тез. докл. XXXIII научно - методической конференции Рязанского военного автомобильного института. – Рязань: - ВАИ. - 2003. - С. 107-108.

226 **Гармаш, Ю. В.** О поэтапном развитии инженерных навыков при изучении системы отопления и вентиляции автомобиля [Текст]/Ю.В. Гармаш, Н.П. Шевченко, И.И. Пономарева// Тез. Докл. XXXIV научно-методической конференции Рязанского военного автомобильного института. – Рязань: - РВАИ. - 2004. - С.114-116.

227 Термоэлектрический кондиционер [Текст]: Пат. 2336184 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/03 / Гармаш Ю.В.; Пономарева И.И., Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2007117272; заявл. 08.05.2007; опубл. 20.10.2008, Бюл. 29.

228 **Гармаш, Ю.В.** Системы бортового электрооборудования с ограниченной мощностью первичного источника [Текст]/ Ю.В. Гармаш// Изв. ВУЗов. Машиностроение № 3, 2011, С. 33- 35.

229 **Сарбаев, В.И.** Экспериментальное исследование системы зажигания с адаптируемыми преобразователями параметров электрической энергии при холодном пуске двигателя внутреннего сгорания [Текст]/ В.И. Сарбаев, Ю.В. Гармаш, В.И. Тюнин// Материалы 5 Международной научно-практической конфер. «Наука и образование XXI века» - т1. «Технические и гуманитарные

науки». – Рязань, - 2011. С. 26-32.

230 **Гармаш, Ю.В.** Импульсные преобразователи энергии в системе вентиляции и отопления салона автомобиля [Текст]/ Ю.В. Гармаш, И.И. Пономарева.: //Тез. докл. научн.- мет. конференции «Тенденции развития современного профессионального военного образования», 26-27 апреля 2011 г.– Рязань: РВВДКУ - 2011. - С.274.

231 **Сарбаев, В.И.** Лабораторные исследования системы зажигания с постоянным коэффициентом запаса[Текст]/ В.И. Сарбаев, Ю.В. Гармаш, И.И. Пономарева, Ю.Р. Евсина, В.С. Житникова // Материалы 5 Международной научно-практической конфер. «Наука и образование XXI века» - т1. «Технические и гуманитарные науки». – Рязань, - 2011. С. 43-49.

232 **Грабарь, М. И.** Применение математической статистики в педагогических исследованиях [Текст]/М.И. Грабарь., К.А. Краснянская. - М.: Педагогика. - 1977. – 136 с.

233 ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний [Текст]. Введ. - 1982 - 01 - 01. - М.: Изд-во стандартов. - 1994. - 53 с.

234 **Николаев, А. Д.** Экспериментальная система автоматического управления углом опережения зажигания двигателем [Текст]/А.Д. Николаев, М.Н. Фесенко//Автомобильная промышленность. - 1982. - № 8. - С.6-8

235 **Опарин, И. М.** Электронные системы зажигания. [Текст]: учебное пособие / И.М. Опарин, Ю. А. Купеев, Е.А. Белов. - М.: Машиностроение. – 1987. - 200 с.

236 **Айзенцон, А. Е.** О четырех точках и трех линиях [Текст]/ А.Е. Айзенцон, Ю.В. Гармаш //Труды V Международной научно-технической конференции преподавателей вузов, ученых и специалистов «Высокие технологии в педагогическом процессе. - Нижний Новгород: - 2004. - С. 276.

237 **Латахин, А. В.** Совершенствование характеристик системы зажигания [Текст]/ А.В. Латахин, Е.И. Титов, **Ю.В. Гармаш** //Межвузовский сборник научных трудов. Автомобильные и тракторные двигатели. -М.: - ТУ МАМИ. - 1999. - в. XV. - С. 31-34.

- 238 **Латахин, А. В.** Устройство для регулирования напряжения питания системы зажигания бензинового двигателя [Текст]/А.В. Латахин, Е.И. Титов, **Ю.В. Гармаш** // Межвузовский сборник научных трудов. Автомобильные и тракторные двигатели. -М.: - ТУ МАМИ. - 1999. - в. XV. - С. 252-257.
- 239 **Гармаш, Ю. В.** Система зажигания с регулируемым напряжением питания [Текст]/ **Ю.В. Гармаш**, Е.И.Титов, А.В. Латахин, С.В. Рожков //Сборник докладов и тезисов III научно-практической конференции "Человек, экология, здоровье" – Рязань: - 1999. - С. 51-52.
- 240 **Гармаш, Ю. В.** Импульсный преобразователь напряжения для систем зажигания автомобиля [Текст]/ **Ю.В. Гармаш**//Сб. научных трудов межотраслевой конференции «Ключевые радиоэлектронные технологии двойного применения». СПб, ВАТТ. - 1996.
- 241 **Гармаш, Ю. В.** Система зажигания с регулируемым напряжением питания [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Е.И.Титов, А.В. Латахин //Автомобильная промышленность. – 2000. - № 5. - С. 26-27.
- 242 **Гармаш, Ю. В.** Система зажигания с регулируемым напряжением питания для бензинового двигателя [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Е.И.Титов, А.В. Латахин //Грузовик. - 2001. - №1. - С. 19-20.
- 243 Система зажигания для двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2127826 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 P 15/12. /Гармаш Ю.В., Латахин А.В., Титов Е.И., Рогачев В.Д.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 97100578/06; заявл. 14.01.1997; опубл. 20.03.1999, Бюл. 8.
- 244 Устройство электронного зажигания для двигателей внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2136954 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 P 3/04 / Титов Е.И., Гармаш Ю.В., Латахин А.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 97118972/06; заявл. 10.11.1997; опубл. 10.09.1999, Бюл. 25.
- 245 Система зажигания карбюраторного двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2157917 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 P 3/04 / Гармаш

Ю.В., Титов Е.И., Латахин А.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 98116645/06; заявл. 07.09.1998; опубл. 20.10.2000, Бюл. 29.

246 Устройство управления моментом зажигания двигателей внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2160379 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 P 5/145 /Гармаш Ю.В., Данов Б.А., Плисова Р.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 99101185; заявл. 18.01.1999. опубл. 10.12.2000, Бюл. 34.

247 Анализатор работы систем двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2274845 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 M 15/00 / Карабанов С.М., Ясевич В.И., Рогочев В.Д., Гармаш Ю.В., Нечаев В.В.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2004111819; заявл. 19.04.2004; опубл. 20.04.2006, Бюл. 11.

248 Анализатор работы систем двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2292024 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 M 15/06/ Рогачев В.Д., Гармаш Ю.В., Нечаев В.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2004111893; заявл. 19.04.2004; опубл. 20.01.2007, Бюл 2.

249 Система зажигания карбюраторного двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2293874 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 P 3/05, F 02 P 15/12. / Гармаш Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2005110537; заявл. 11.04.2005; опубл. 27.01.2007, Бюл 3.

250 Экономика автомобильной промышленности и тракторостроения [Текст] [Текст] / под ред. А.А. Невелева, В.И. Козырева. . - М.: Высшая школа. – 1989. - 311 с.

251 Устройство, индицирующее угол поворота управляющих колес автомобиля и качество контакта водителя с рулевым колесом [Текст]: Пат. 2332321 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> B 62 D 15/02. / Цибизов А.Б., Цибизов С.А., Гармаш Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2003112537; заявл. 28.04.2003; опубл. 27.08.2008, Бюл 24.



- 252 Устройство, индицирующее угол поворота управляемых колес автомобиля при переключении передач в коробке передач [Текст]: Пат. 2333127 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 62 D 15/02. / Цибизов А.Б., Цибизов С.А., Гармаш Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 20031125339; заявл. 28.04.2003; опубл. 10.09.2008, Бюл 25.
- 253 Автомобильный справочник «Бош» [Текст]: Пер. с нем. - М.: За рулем. - 1999. - 895 с.
- 254 **Будыко, Ю. И.** Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей. [Текст]: учебное пособие/ Ю.И. Будыко. - Л.: Машиностроение. - 1975. - 192 с.
- 255 **Ерохов, В. И.** Системы впрыска топлива легковых автомобилей [Текст]: учебное пособие/ В.И.Ерохов. - М.: Транспорт. - 2002.- 174 с.
- 256 **Купеев, Ю. А.** Развитие микропроцессорных систем управления бензиновыми двигателями. [Текст]// Ю.А. Купеев, В.А. Набоких, Б.Я. Черняк: //Двигателестроение. -М.: Машиностроение. -1984. - № 1. - С.21-23.
- 257 **Резник, П. А.** Электрооборудование автомобилей. [Текст]: учебное пособие/ П.А. Резник. - М.: Транспорт. - 1990. – 256 с.
- 258 Руководство по электрическому оборудованию автомобилей. Основы теории и практики обслуживания автомобильных электрических и электронных систем [Текст]/ Пер. с англ. – СПб.: Алфамер Пабблишинг. - 2001. – 287 с.
- 259 **Буль, Б. К.** Основы теории и расчета магнитных цепей [Текст]: учебное пособие/Б.К.Буль. - М.: Энергия. - 1964. - 59 с.
- 260 **Любчик, М. Н.** Расчет и проектирование электромагнитов постоянного и переменного тока [Текст]: учебное пособие/ М.Н. Любчик. - М.: Госэнергоиздат. - 1959. - 98 с.
- 261 **Любчик, М. Н.** Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока [Текст]: учебное пособие/ М.Н. Любчик. - М.: Энергия. - 1968. - 123 с.
- 262 **Моргулев, А. С.** Полупроводниковые системы зажигания [Текст]: учебное пособие/ А.С.Моргулев., Е.К. Сонин. - М.: Энергия. - 1972. – 397 с.

- 263 **Пеккер, И. И.** Физическое моделирование электромагнитных механизмов [Текст]: учебное пособие/ И.И. Пеккер. - М.: Энергия. - 1969. - 106 с.
- 264 **Сливинская, А. Г.** Электромагниты и постоянные магниты [Текст]: учебное пособие/ А.Г.Сливинская. - М.: Энергия. - 1972. - 248 с.
- 265 **Тер-Акопов, А. К.** Динамика быстродействующих электромагнитов [Текст]: учебное пособие/ А.К. Тер-Акопов. - М.: Энергия. - 1965. - 102 с.
- 266 Bosh. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого [Текст]/- Первое русское издание. – М.: За рулем. - 2005. - 432 с.
- 267 Устройство диагностирования электромеханических форсунок [Текст]: Пат. на полезную модель 65980 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 01 N 11/08/ Патрин А.Н., Меркушов Ю.Н., Белов А.Б., Гармаш Ю.В., Ухов А.В., Агошков А.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2006144960; заявл.18.12.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. 24.
- 268 Устройство управления моментом зажигания двигателей внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2305203 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 P 5/145/ Белов А.Б., Меркушов Ю.Н., Гармаш Ю.В., Кузьмин Ю.А. ; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2006118466; заявл.29.05.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. 24.
- 269 **Гармаш, Ю. В.** О регулировании времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Т.С. Валова//Международная научно-практическая конференция «Наука и образование XXI века». – Рязань. – 2007. - С. 238-243.
- 270 Способ определения энергии ионизации глубоких уровней в полупроводниках [Текст]: А.С. СССР 1005221, МПК<sup>7</sup> H 01 L 21/66 / Орешкин П.Т., Перельгин А.И., Гармаш Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский радиотехн. Ин-т.; № 3291704; заявл.18.05.1981; опубл. 15.03.1983. Бюл. 10.
- 271 **Орешкин, П. Т.** Исследование физического механизма формирования инверсных слоев в МДП-структурах [Текст]/П.Т. Орешкин, Ю.В.Гармаш// Тез. докл. 2 Всес. научн.-техн. семинара "Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем". - М.: - 1981. - С.21-22.

- 272 **Лактюшкин, О. Н.** Определение параметров глубоких центров по температурной зависимости равновесной и неравновесной емкости МДП-систем [Текст]/ О.Н. Лактюшкин, Ю.В. Гармаш, С.Б. Спиридонов// Тез. докл. 2 Всес. научн.-техн. семинара "Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем". - М.: - 1981. – С116-117.
- 273 **Орешкин, П. Т.** Резонансная релаксация заряда в МДП-структурах [Текст]/ П.Т. Орешкин, Ю.В.Гармаш// Тез. докл. Всес. конфер. "Физика диэлектриков". – Баку: - 1982. - С.106-108.
- 274 **Орешкин, П. Т.** Резонансная релаксация заряда в МДП-системах и слоях Шоттки [Текст]/ П.Т. Орешкин, А.И. Перельгин, Ю.В. Гармаш, А.Я. Ключков, А.Л. Денисов, С.В. Рожков// МЭП СССР, тез. докл. конференций сер.7 "Технология, организация производства и оборудование". - в.3/187/. Методы и оборудование для физико-химических исследований по поверхности материалов электронной техники. – М.: ЦНИИ "Электроника". – 1982. - ч.2. - С.50.
- 275 **Орешкин, П. Т.** Новый способ определения энергии активации глубоких центров, расположенных у поверхности полупроводника [Текст]/ П.Т. Орешкин, А.И. Перельгин, Ю.В. Гармаш// МЭП СССР, тез. докл. конференций сер.7 "Технология, организация производства и оборудование", в.3/187/. Методы и оборудование для физико-химических исследований по поверхности материалов электронной техники. – М.: - ЦНИИ "Электроника". – 1982. - ч.2. - С.51.
- 276 **Перельгин, А. И.** Исследование параметров глубоких центров методом релаксационной спектроскопии [Текст]/ А.И. Перельгин, Ю.В. Гармаш, М.В. Зубков.// Тез. докл. Всес. совещания-семинара "Математическое моделирование и экспериментальное исследование электрической релаксации в элементах интегральных схем". – М.: Радио и связь. – 1983. - С.54-55.
- 277 **Гармаш, Ю. В.** Определение энергии ионизации глубоких центров в n-p переходах [Текст]/Ю.В. Гармаш, Ю.А. Туркин, В.А. Коновалов// Тез. докл. 3

Всес. научно-техн. семинара "Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем". - М.: - 1984. - С.38.

278 **Гармаш, Ю. В.** Релаксационная спектроскопия глубоких центров как способ контроля и способ управления производственными процессами [Текст]/Ю.В. Гармаш// тез докл. Всес. конференции "Конструирование и технология микроэлектронных устройств". – Рига; - 1986. - С.54.

279 **Рогачев, В. Д.** Диагностирование электронных регуляторов напряжения [Текст]/ В.Д. Рогачев, В.В. Нечаев //Автомобильная промышленность. - 2005. - №1. - С. 23 - 25.

280 **Рогачев, В. Д.** Диагностирование приборов и систем электрооборудования автомобиля [Текст]/В.Д. Рогачев, В.В. Нечаев// Автомобильная промышленность. - 2005. - №4. - С. 22 - 23.

281 **Рогачев, В. Д.** Диагностирование элементов системы зажигания, определяющих мощность искры [Текст]/ В.Д. Рогачев, Г.Г. Воробьев, В.В. Нечаев//Автомобильная промышленность. - 2006. - №1. - С. 27.

282 Емкостный компенсационный уровнемер [Текст]: Пат. 2166736 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 F 23/26/**Гармаш Ю.В.**; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 99111417; заявл. 01.06.1999; опубл. 10.05.2001, Бюл. 13.

283 Сигнализатор аварийного режима работы ДВС [Текст]: Пат. 2116473 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 01 P 11/14 / Рогачев В.Д., **Гармаш Ю.В.**; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 96108762; заявл. 29.04.1996; опубл. 27.07.1998, Бюл. 21.

284 **Старостин, А. К.** Проблемы надежности автомобильной электроники [Текст] // А.К. Старостин // Автомобильная промышленность. - 1989. - № 4. - С. 7-8.

285 **Окшевский, А. Л.** Элементы основ надежности автомобильной электроники [Текст]: учебное пособие/ А.Л. Окшевский, А. К. Старостин - М.: Азбука. - 1995. - 138 с.

286 ГОСТ В 20.39.401-81. Изделия электронной техники, квантовой электро-

ники и электротехнические военного назначения. Общие положения. [Текст] - Введ. 01.01.82.- М.: Изд-во стандартов. -1981. -8 с.:

287 ГОСТ В 20.39.404-81 ВД. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Классификация по условиям применения и требования по стойкости к внешним воздействующим факторам. Комплексная система общих технических требований. [Текст] - Введ. 01.01.82,- М.: Изд-во стандартов. - 1981. -57 с.

288 ГОСТ В 20.57.405-87 ВД. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям по стойкости к воздействию ионизационных и электромагнитных излучений. Комплексная система контроля качества. [Текст] - Введ. 01.01.88.-М.:Изд-во стандартов. - 1987. - 8 с.

289 **Шишок, Н. А.** Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники [Текст] / Н.А. Шишок [и др.]. – М.: Советское радио. - 1964. - 551 с.

290 **Титов, Е. И.** Надежность автомобильной электроники и ее расчет [Текст]: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию по курсу «Электрооборудование военной автомобильной техники»/Е.И. Титов, В.И. Дьячков. - Рязань: ВАИ. - 1995. – 144 с.

291 **Сарбаев, В.И.** Управление электроприводом постоянного тока автотранспортных средств [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И. Пономарева/ Мир транспорта и технологических машин./Орел, Госуниверситет-УНПК, - № 1 (36) - 2012. - с. 59-64.

292 **Сарбаев, В.И.** Система вентиляции, отопления и кондиционирования салона автомобиля [Текст]// В.И. Сарбаев., **Ю.В. Гармаш**, А.Г Ширяев., И.И. Пономарева, Е.С. Калугина, А.Ю. Синдюк //Материалы VI научн.-практ. конф. «Наука и образование 21 века. Т.2 (26 октября 2012 СТИ г.Рязань)- Рязань, СТИ, 2012 - С. 15-19.

293 **Гармаш, Ю.В.** Инновационная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания с пропорциональным управлением [Текст]// Ю.В. Гармаш,

В.С. Тюнин, И.П. Котлубей, Ю.Р.Евсина // Материалы VI научн.-практ. конф. «Наука и образование 21 века. Т.2 (26 октября 2012 СТИ г.Рязань)- Рязань, СТИ, 2012 - С. 19-25.

294 **Сарбаев, В.И.** Способ кондиционирования салона автомобиля[Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И. Пономарева/ М.; -ВИНИТИ Транспорт: наука, техника, управление . № 12, 2012, с. 47-49

295 Система отопления, вентиляции и кондиционирования салона автомобиля [Текст]: Пат. 2472642, С1 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/08 / В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И. Пономарева/ Заявитель и патентообладатель НОУ ВПО «Современный технический институт 20.01.2013, БИ №22, 2013.

296 **Сарбаев, В.И.** Эффективная схема управления системой охлаждения автомобильного двигателя[Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**// Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/- № 2, -2013. С. 11-13.

297 **Сарбаев, В.И.** Анализ и перспективы развития автомобильных кондиционеров [Текст]// В.И. Сарбаев, Ю.В. Гармаш, А.Г. Ширяев, И.И. Пономарева, А.С. Галкина// Материалы VII Междунар. научн.-практ. конф. «Наука и образование 21 века. (25 октября 2013 СТИ г.Рязань)- Рязань, СТИ, 2013 - С.140 - 147.

298 **Сарбаев, В.И.** Модернизация системы стеклоочистки [Текст]// В.И. Сарбаев, Ю.В. Гармаш, Ю.Р. Евсина, Е.И. Булхова// Материалы VII Междунар.научн.-практ. конф. «Наука и образование 21 века. (25 октября 2013 СТИ г.Рязань)- Рязань, СТИ, 2013 - С.157-164

299 **Сарбаев, В.И.** Система электроснабжения автомобиля с адаптируемыми преобразователями параметров электрической энергии [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, Е.С. Калугина, А.Ю. Синдюк// Материалы VII Междунар. научн.-практ. конф. «Наука и образование 21 века. (25 октября 2013 СТИ г.Рязань)- Рязань, СТИ, 2013 - С. 165-172.

300 **Сарбаев, В.И.** Модернизация системы впрыскивания топлива [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, Т.С. Валова// Материалы VII Междунар.

научн.-практ. конф. «Наука и образование 21 века. (25 октября 2013 СТИ г.Рязань)- Рязань, СТИ, 2013 - С.131-136.

301 **Сарбаев, В.И.** Экспериментальное исследование системы зажигания с адаптируемыми параметрами электрической энергии [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**// Материалы XV Международной научно-практической конференции. «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» 20-22 ноября 2013 Владимир ISBN 978-5- 9984-0436-8 ВлГУ , 2013 с. 104-107.

302 **Сарбаев, В.И.** Импульсный преобразователь параметров электрической энергии для системы впрыскивания топлива [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, Т.С. Валова// Автомобильная промышленность №3, 2014. – с. 18-20

303 **Сарбаев, В.И.** Импульсные преобразователи энергии в системе электроснабжения автомобиля [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.В. Волков// Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 3 2014. С. 2--6.

304 **Сарбаев, В.И.** Физические основы регулирования времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, Т.С. Валова// Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 4 2014. С. 2-5.

305 **Сарбаев, В.И.** Исследование ламп накаливания в системе освещения и сигнализации автомобиля [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.Г. Волков// Автотранспортное предприятие № 8, 2014, С. 46-49.

306 **Сарбаев, В.И.** Система зажигания с адаптируемым преобразователем [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**// Мир транспорта. 2014. № 3. С.42-45.

307 **Сарбаев, В.И.** Перспективы развития кондиционеров [Текст]// В.И. Сарбаев, Ю.В. Гармаш, И.И. Пономарева// Транспорт: наука, техника, управление . № 5, 2014, стр. 28-31.

308 **Сарбаев, В.И.** Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системе впрыска топлива [Текст]// В.И. Сарбаев,

**Ю.В. Гармаш, Т.С. Валова**// Мир транспорта и технологических машин./Орел, Госуниверситет-УНПК, - № 2 (45) - 2014. - с.26 -32.

309 **Сарбаев, В.И.** Теоретические предпосылки уменьшения времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш, Т.С. Валова, Ю.В. Усачёв**// Материалы XVI Международной научно-практической конференции. «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» 20-21 ноября 2013 Владимир ISBN 978-5- 9984-0549-5 ВлГУ , 2014 с. 357-361.

310 **Сарбаев, В.И.** О регулировании времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш, Т.С. Валова**// Наука и образование XXI века : Материалы VIII-й Междунар. научно-практ. Конф., 24 октября 2014 г., СТИ, г. Рязань - ISBN 978-5-904221-26-3 С. 58-62.

311 **Гармаш Ю.В.** Современные системы освещения автомобиля [Текст]// Ю.В. Гармаш, С.Г. Волков, А.С. Галкина, Е.И. Булхова, В.И.Сарбаев // Наука и образование XXI века : Материалы VIII-й Междунар. научно-практ. Конф., 24 октября 2014 г., СТИ, г. Рязань - ISBN 978-5-904221-26-3 С. 31-35.

312 **Sarbaev, V.I.** Experimental research of electric start-up system of the internal combustion engine with the capacitor store of energy [Текст]// V.I Sarbaev, **Y.V. Garmash**// Nauka i studia. - N11 (56) - 2012. -p.50-53.

313 **Sarbaev, V.I.** Way of air-conditioning of interior of the automobile [Текст]// V.I Sarbaev, **Y.V. Garmash, I.I. Ponomareva** // Материалы IX международной научно-практической конференции «Современная наука - 2013» Том 74. Технические науки - Praha. 27.01. 2013 -05.02.2013. - Publishing House «Education and science»2013 p. 49-53.

314 **Sarbaev, V.I.** About speed of electromagnetic atomizers in systems of injection of fuel [Текст]// V.I Sarbaev, **Y.V. Garmash, T.S. Valova** // Материалы IX международной научно-практической конференции «Современная наука - 2013» Том 74. Технические науки - Praha. 27.01. 2013 -05.02.2013. - Publishing House «Education and science»2013 p. 53-57.



- 315 **Сарбаев, В.И.** Устройство управления магнитным генератором-амортизатором для автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, В.Г. Сидельников, Л.Г. Блинникова// Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 1 2015. С. 7-10.
- 316 **Сарбаев, В.И.** Система зажигания двигателя внутреннего сгорания с повышающим преобразователем напряжения [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш** // Справочник. Инженерный журнал . - № 2 - 2015. - с. 18 – 25.
- 317 **Сарбаев, В.И.** Плавный пуск автомобильных ламп накаливания [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.Г. Волков // Электроника и электрооборудование транспорта, ISSN 1812-6782/ - 2015 - № 2
- 318 **Сарбаев, В.И.** Системы освещения и сигнализации автомобилей, основанные на микроконтроллере [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.Г. Волков //«Мир транспорта и технологических машин» -2016. - №1(52) - с. 42 -48.
- 319 **Hidall, A. L.** Factors relating to the development, selection and servicing of automative storage batteries [Текст]/ A.L. Hidall // SAE, Journal. - 1967. - N 5. - p. 56-58.
- 320 **Little, Daily R.** Storage batteries performance of low temperatures [Текст]/ Daily R. Little// SAE, Journal, - 1969. - N 6. . - p. 37-54.
- 321 **Mostov, P. M.** Optimum capacitor charging efficiency for spage systems [Текст]/ P.M. Mostov, I.I. Neuringer, D.S. Rigney // Proceeding of the IRE. – 1961. - v.49. - №5, - p. 941-948.
- 322 **Torges, Gerhard.** Electrotechnisch Aurustung des Kraftfafahrezeuges [Текст]/Gerhard Torges– Berlin: Verlang Technik. - 1988. - 292 с.
- 323 **Zhengzhong, Z.** Feeding a sub-ns-risetime rectangular pulse onto a rod-shaped resistive divider in risetime < 2 ns [текст] / Z. Zhengzhong, M. Lianying // Rev. Sci. Instrum. - 2004. -V.75. - №1. - P. 163-165.
- 324 **Lembeye, Y.** Integrated planar L-C-T component design characterization and experimental efficiency analysis [текст] /Y. Lembeye, P. Goubier, J.P. Ferrieux//IEEE Trans. Power Electron. - 2005. - V.20. -№3. - P. 593-599.

- 325 **Paulaen, S.** Hysteresis controller with constant switching frequency [текст] / S. Paulaen, M.A.E. Andersen//IEEE Trans. Consum. Electron. – 2005. –V. 51. - №2 - P. 688-693.
- 326 **Hainfret-Ariijtila, J.** Low supply voltage high- performance CMOS- current mirror with low input and output voltage requirements [текст] /J. Hainfret-Ariijtila, R.G. Carpnjal, A. Tarralba//IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2004. -V. 51. - № 3 - P. 124-129.
- 327 **Blaabjerg, F.** The future of electronic power processing and conversion [текст] / F. Blaabjerg, A. Consoli, J.A. Ferreira, D. Van Wyk Jacobus//IEEE Trans. Power Electron. - 2005. - V.20. - №3. - P. 715-720.
- 328 **Kelly, N.** Bridge rectifier protects two op-amp inputs [текст] / N. Kelly// Electron. World. - 2004. - V.111. - № 1819. - P. 50.
- 329 **Oh, W.S.** PWM switched voltage source inverter with zero neutral point potential [текст] / W.S. Oh, S.K. Han, G.W. Moon // Electron. Lett. - 2004. - V.40. - №12. - P. 767-768.
- 330 **Wataru, S.** High breakdown voltage undoped AlGa<sub>N</sub>-Ga<sub>N</sub> power HEMT on sapphire substrate and its demonstration for DC-DC converter application [текст] / S. Wataru, K. Masahica, T. Yoshiharu, T. Kunio, O. Ichiro, O. Taunco // IEEE Trans. Electron. Devices. - 2004. - V. 52. - № 11 - P. 1913-1917.
- 331 **Yu-Lung, K.** A novel single-stage power factor –correction circuit with high-frequency resonant energy tank for DC-link inverters [текст] / K. Yu-Lung, C Ying-Chun // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2006. -V. 53. - № 2. - P. 115-119.
- 332 **Xiao, S.** Design and analysis of an optimal controller for parallel multi-inverter systems [текст] / S. Xiao, W. Lik-Kin, L. Yim-Shu, X. Dehong // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2006. - V. 53. - № 1 - P. 56-61.
- 333 **Axelrod, B.** A cascade boost-switched-capacitor-converter – two level inverter with an optimized multilevel output waveform [текст] / B. Axelrod, Y. Berkovich, A. Ioinovici // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 1. - 2005. - V. 52. - № 12 - P. 2763-2770.

- 334 **Mezaroba, M.** A ZVS PWM inverter with active voltage clamping using the reverse recovery energy of the diodes [текст] / M. Mezaroba, D. Cruz, I. Rarbi // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2005. - V. 52. - № 10. - P. 2219-2226.
- 335 **Pawan, G.** Hybrid mode switched control of DC-DC boost converter circuits [текст] / G. Pawan, P. Amit // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2005. - V. 52. - № 17. - P. 734-738.
- 336 **Zhou, S.** A high efficiency, soft switching DC-DC converter with adaptive current-ripple control for portable applications [текст] / S. Zhou, G.A. Rincon-Mora // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2006. - V. 53. - № 4. - P. 319-323.
- 337 **Figueres, E.** Adaptive two-loop voltage-mode control of DC-DC switching converters [текст] / E. Figueres, G. Garcerd, J.M. Benavent, M. Fascual, J.A. Martinez // IEEE Trans. Ind. Electron. - 2006. - V.53. - №1. - P. 239-253.
- 338 **Shen, Z.J.** Lateral power MOSFET for megahertz-frequency high density DC/DC converter [текст] / Z.J. Shen, D.N.Okada, F. Lin, S. Andersen, X. Chen // IEEE Trans. Power Electron. - 2006. - V.21. - № 1. - P. 11-17.
- 339 **Liang, Y.** An integrated magnetic isolated two-inductor boost converter analysis design and experimentation [текст] / Y. Liang, L. Brad // IEEE Trans. Power Electron. - 2005. - V.20. - № 2. - P. 332-342.
- 340 **Jang, Y.** A new soft switched PFC boost rectifier with integrated flyback converter for stand-by power [текст] / Y. Jang, D.L. Dillman, M.M. Jovanovic // IEEE Trans. Power Electron. - 2006. - V.21. - № 1. - P. 66-72.
- 341 **Bryant, B.** Voltage loop of boost PWM DC-DC converters with peak current-mode control [текст] / B. Bryant, M.K. Kazimierczuk // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 1. - 2006. - V. 53. - № 1. - P. 99-105.
- 342 **Bryant, B.** Modeling the closed-current loop of PWM boost DC-DC converters operating in CCM with peak current mode control [текст] / B. Bryant, M.K. Kazimierczuk // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 1. - 2005. - V. 52. - № 11. - P. 2404-2412.

- 343 **Ka-Sing, L. K.** Dynamic hysteresis band control of the buck converter with fast transient response [текст] / L.K. Ka-Sing, C.H. Shu-Hung // IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2005. - V. 52. - № 7. - P. 398-402.
- 344 **Summers, T.G.** Dead-time issues in predictive current control [текст] / T.G. Summers, R.E. Bets//IEEE Trans. Ind. Appl. - 2004. - V.40. -№3. - P. 835-844.
- 345 **Prodic, A.** Dead-zone digital controllers for improved dynamic response of two harmonic rectifiers [текст] / A. Prodic, D. Maksimovic, E.R. Erickson // IEEE Trans. Power Electron. - 2006. - V.21. - № 1. - P.173-181.
- 346 **Javier, G.** Using magnetic coupling to eliminate right half-plane zeros in boost converters [текст] / G. Javier, L. Martinez-Salamero, V. Hugo, E. Vidal-Idiarte // IEEE Trans. Power Electron. Lett. - 2004. - V.2. - №2. - P. 58-62.
- 347 **Jong-Lick, Lin.** Dynamics and control of ZCZVT boost converters [текст] / L. Jong-Lick, y. Chun-Hatao//IEEE Trans. Circuits and Syst. (Sec.) 2. - 2005. -V. 52. - № 9. - P. 1919-1927.
- 348 **Phileva, R.** Control algorithm for uninterruptible power supply system [текст] / R. Phileva, S. Panev // Inj. Technal. and Contr. - 2004. - V.2. -№1. - P. 47-51.
- 349 **Francois, F.** Use of opposition method in the test of high power electronic converters [текст] / F. Francois, J.J. Huselstein, S. Faucher, M. Elghazouani, P. Ladoux, T.A. Meynard, F. Richardeu, C. Turpin // IEEE Trans. Ind. Electron. - 2006. - V.53. - №2. - P. 530-541.
- 350 **Ayst, J.** Voltage control current switch with short circuit protection [текст] / J. Ayst // Electron. World. - 2005. - V.111. - №1833. - P. 52-53.

## Приложение А

### Примерный расчет возможности пуска автомобиля КамАЗ-740 от емкостного накопителя энергии

С целью проведения примерных, оценочных расчетов, воспользуемся данными пусков ДВС автомобиля КамАЗ-740 в холодное время года при температуре минус 25 °С. Система пуска оборудована стартером СТ 142Б, пуск производился от аккумуляторных батарей:

$$i_{cp} = 830 A; \quad U_{cp} = U_{bat} = 18,0 B$$

Учтем, что характеристики стартера СТ 142Б, установленного на автомобиле КамАЗ-740 известны [98]

$$i_{ITT} \leq 800 A, \quad M_{ITT} = 49 H \cdot m; \quad m = 11,3; \quad \text{при} \quad U_{cp} = U_{bat} = 8,0 B$$

Отметим, что при питании 8 В магнитная система стартера еще не находится в режиме насыщения магнитного потока (для большинства стартеров этот режим наступает только при превышении питающим напряжением уровня половины номинального напряжения питания), а потому точность расчета в условиях принятой модели оказывается невысокой.

Приравняем напряжение на накопителе энергии по уравнению (2.46) напряжению по (2.52), причем потери на активных сопротивлениях цепи учтем в КПД ( $\eta$ ):

$$\frac{\omega_{уст} \cdot m \cdot M_{ITT}}{I_{ITT} \cdot \eta} = U_n(0) \cdot e^{-t/\tau}.$$

Откуда выразим:

$$t = \tau \cdot \ln \frac{U_n(0) \cdot \eta \cdot I_{ITT}}{\omega_{уст} \cdot m \cdot M_{ITT}}. \quad (Д1)$$

Постоянную времени цепи  $\tau$  определим по уравнению (2.53). Будем считать, что  $r_{np}$  включает в себя не только сопротивления подводящих проводов, но и внутреннее сопротивление накопителя энергии (примем  $R_{HЭ}=0,01$  Ом, сопротивление цепи – 0,003 Ом, а коэффициент полезного действия  $\eta = 50\%$ ).

Проведем нормирование момента, полагая, что средний момент за время пуска примерно соответствует установившемуся моменту. При этом

$$i_{cp} = i_{уст} = kM_{cp} = kM_{CT.уст} = \frac{i_{пт}}{M_{пт}} M_{CT.уст},$$

отсюда получим

$$M_{CT.уст} = \frac{M_{пт}}{i_{пт}} i_{cp} = \frac{49}{800} \cdot 830 = 51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Найдем момент на валу ДВС

$$M_{уст \text{ ДВС}} = m M_{CT.уст} = 11,3 \cdot 51 = 576 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С другой стороны, в соответствии с уравнением (2.39) и в случае принятой нами аппроксимации момента (2.4):

$$M_{уст \text{ ДВС}} = (0,94 \sqrt{\omega_{уст}} + 2,5) \zeta; \quad (Д2)$$

Приравнявая моменты на валу ДВС, и предполагая, что частота прокручивания соответствует пусковой  $100 \text{ мин}^{-1}$  ( $\sqrt{\omega_{уст}} \approx 3,23$ ), получим:

$$M_{уст \text{ ДВС}} = (0,94 \cdot 3,23 + 2,5) \zeta = 5,54 \zeta \text{ Н} \cdot \text{м},$$

сопоставляя полученное выражение с (Д2) для ДВС КамАЗ-740 вычислим  $\zeta=104$ .

Расчет проведем в несколько этапов:

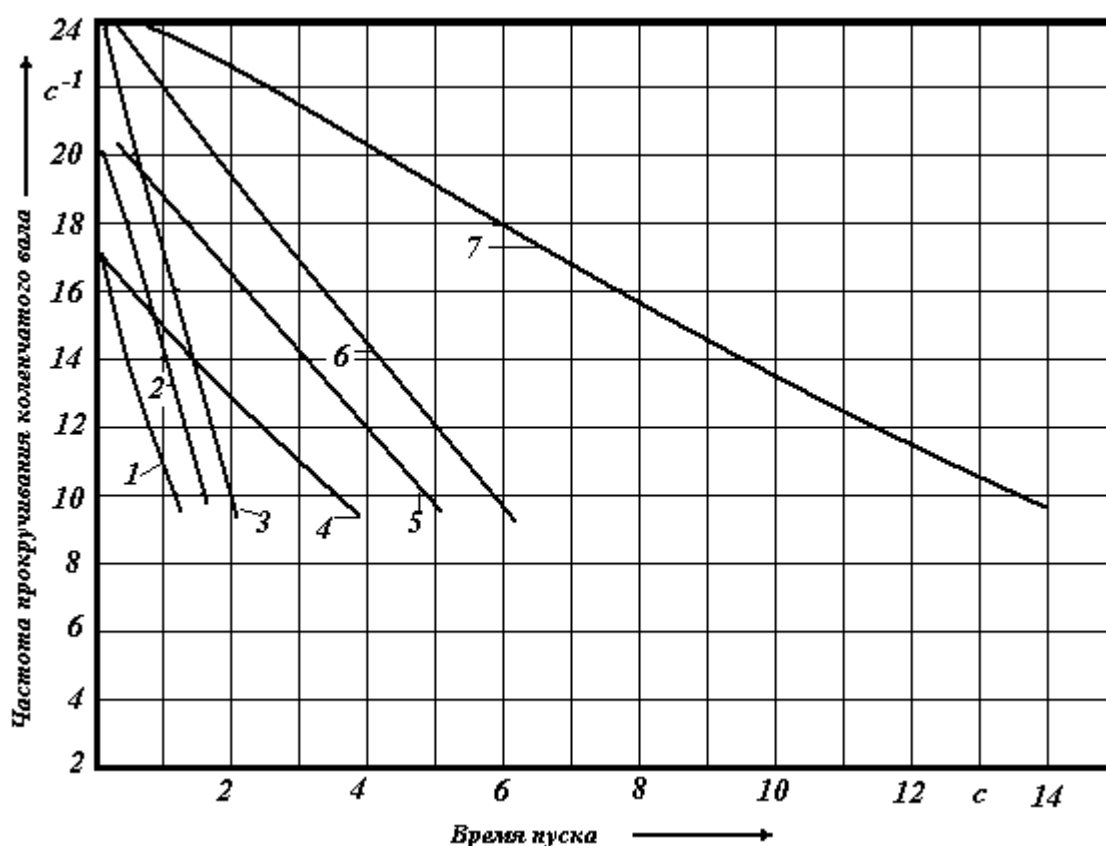
- 1 Задаем емкость накопителя энергии  $C_n$ ;
- 2 Задаем начальное напряжение на накопителе энергии  $U_n(0)$ ;
- 3 Задаем установившуюся частоту прокручивания коленчатого вала  $\omega_{уст}$ ;
- 4 Проводим расчет  $\tau$  по уравнению (2.53);
- 5 Время прокручивания определяем по уравнению (Д1), причем критерием для определения времени прокручивания является достижение минимальной пусковой частоты.

Подставляя найденное значение времени  $t$  в уравнение (2.34), можно определить ток, соответствующий данной частоте прокручивания.

Результаты расчетов приведены в таблице Д1 и проиллюстрированы рисунком Д1.

Таблица Е1 – Расчетные данные времени пуска и пусковой частоты

		$\omega_{уст}, c^{-1}$	10	12	14	16	18	20	22	24
$U_H(0)=24В$	$C_H=100Ф$	t,c	1,16	0,81	0,48	0,17				
	$C_H=300Ф$	t,c	3,36	2,42	1,44	0,51				
$U_H(0)=30В$	$C_H=100Ф$	t,c	1,63	1,31	1,01	0,72	0,45	0,18		
	$C_H=300Ф$	t,c	4,90	3,93	3,03	2,18	1,35	0,56		
$U_H(0)=35В$	$C_H=100Ф$	t,c	1,91	1,66	1,37	1,11	0,85	0,60	0,35	0,12
	$C_H=300Ф$	t,c	5,90	4,98	4,13	3,32	2,55	1,79	1,06	0,35



- 1 - начальное напряжение на накопителе энергии 24 В, емкость – 100 Ф;
- 2 - начальное напряжение на накопителе энергии 30 В, емкость – 100 Ф;
- 3 - начальное напряжение на накопителе энергии 35 В, емкость – 100 Ф;
- 4 - начальное напряжение на накопителе энергии 24 В, емкость – 300 Ф;
- 5 - начальное напряжение на накопителе энергии 30 В, емкость – 300 Ф;
- 6 - начальное напряжение на накопителе энергии 35 В, емкость – 300 Ф;
- 7 - начальное напряжение на накопителе энергии 35 В, емкость – 700 Ф.

Рисунок А.1 - Расчетные зависимости для автомобиля КамАЗ-740 со стартером СТ 142Б при пуске от емкостного накопителя энергии.

Пусковая частота не менее 10 рад/с, время прокручивания не менее 15 с. Коэффициент полезного действия принят равным 0,5. Отметим, что, как показывают экспериментальные данные, для пуск двигателя происходит чаще всего задолго до требуемых стандартом 15 с, что обусловлено существенно более высокой частотой прокручивания коленчатого вала, чем предусмотрено стандартом.



## Приложение Б

Таблица 3.1 – Результаты испытаний системы зажигания при холодном пуске двигателя автомобиля ЗиЛ-131

№ п/п	Температура окружающей среды, °С	Тип системы зажигания	Сост. заряженности аккумулятора, %	Зазор в свечах зажигания, мм	номер попытки, с которой произведен пуск	Напряжение батареи в конце пуска, В
1	2	3	4	5	6	7
1	-18	Серийная	100	0,6	2	8,8
2	-18	Опытная	75	0,6	2	8,8
3	-18	Опытная	100	0,6	3	8,2
4	-18	Серийная	75	0,6	2	8,5
5	-18	Серийная	75	1,2	3	8,9
6	-18	Опытная	75	1,2	2	8,5
7	-19	Серийная	100	0,6	3	8,4
8	-19	Опытная	75	0,6	2	7,9
9	-19	Серийная	100	0,6	2	8,6
10	-19	Опытная	100	0,6	1	8,4
11	-19	Серийная	75	1,2	2	8,1
12	-19	Опытная	75	1,2	1	7,9
13	-22	Серийная	75	1,2	3	7,8
14	-22	Опытная	100	1,2	2	8,1
15	-22	Серийная	100	1,2	2	8,3
16	-22	Опытная	75	1,2	3	7,9
17	-24	Серийная	100	0,6	1	8,8
18	-22	Серийная	100	1,2	2	8,1
19	-24	Опытная	75	0,6	3	8,1
20	-24	Серийная	75	1,2	нет	7,2
21	-24	Опытная	100	1,2	3	7,8
22	-24	Серийная	100	1,2	3	8,2
23	-24	Опытная	75	1,2	2	7,8
24	-25	Серийная	100	1,2	2	7,6
25	-25	Опытная	100	1,2	3	7,9
26	-25	Серийная	75	1,2	нет	6,3
27	-25	Опытная	75	1,2	3	8,2
28	-25	Серийная	75	1,2	3	7,5
29	-25	Опытная	75	0,6	2	7,9
30	-26	Серийная	100	0,6	3	6,5
31	-26	Опытная	75	0,6	3	6,4
32	-26	Серийная	75	1,2	нет	6,1
33	-26	Опытная	75	1,2	3	7,1
34	-26	Серийная	100	1,2	3	8,0
35	-26	Опытная	100	1,2	2	6,5

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акты внедрения результатов работы



«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

А.В. Орлов

« 14 » 12 2016 г.

## А К Т

об использовании результатов диссертационной работы  
Юрия Владимировича Гармаша «Совершенствование систем  
электрооборудования автомобилей на основе адаптивных преобразователей  
электрической энергии», представленной на соискание  
ученой степени доктора технических наук

Настоящим актом подтверждаю, что на ОАО «Рязанский завод  
металлокерамических приборов» с 2001 г. по 2006 г. выпускалась система  
управления отопителем салона автомобиля (СУОС-1).

По отзывам потребителей система отличалась надежностью, не  
требовала специального технического обслуживания в процессе работы,  
позволяла существенно улучшить комфорт эксплуатации автомобиля при  
низких температурах окружающей среды.

Среднегодовой выпуск СУОС-1 составлял 80-100 шт. при стоимости  
единицы продукции 494,0 руб. (в ценах 2006 г.).

Начальник отдела маркетинга  
и сбыта

Е.В. Семин

«Утверждаю»  
50 Технический директор ФГУП ГРПЗ  
Зеленюк Ю.И.  
«    »    2008г.




## АКТ

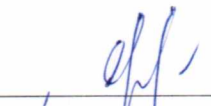

О реализации результатов диссертационной работы и проведении совместного эксперимента по исследованию пусковых характеристик двигателя внутреннего сгорания автомобиля КамАЗ-740 кандидата технических наук, доцента кафедры физики и химии Рязанского военного автомобильного института Гармаша Юрия Владимировича.

Комиссия в составе: председателя – ученый секретарь НТС Астафьев В.М.  
и членов – главный инженер ПТК Городнов В.Г.  
– инженер-механик ПТК Демкин И.В.

Свидетельствует о том, что основные положения диссертационной работы кандидата технических наук, доцента кафедры физики и химии Рязанского военного автомобильного института Гармаша Ю.В. по моделированию системы электростартерного пуска использованы и подтверждены экспериментально. Испытания проведены в лаборатории климатических испытаний РПЗ в низкотемпературной камере испытательного комплекса ФГУП ГРПЗ с целью определения пусковых свойств двигателя КамАЗ-740 при стандартном построении системы электростартерного пуска и при использовании в специализированной системы электропитания, содержащей импульсный преобразователь напряжения с емкостным накопителем энергии в области низких температур (от минус 40 до минус 15°C). Испытания показали лучшие пусковые характеристики (более низкую температуру, при которой происходит надежный пуск двигателя)

новой системы пуска двигателя КамАЗ-740 со специализированной системой электропитания, позволяющей получить начальные напряжения на накопителе энергии, превышающие номинальные.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_  Астафьев В.М.  
22.08.00

Члены комиссии \_\_\_\_\_  Городнов В.Г.  
\_\_\_\_\_  Демкин И.В.



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор Воронежского научно-исследовательского института связи

В.И.Борисов

“ 29 ” IV 1999 года

А К Т

эксплуатационных испытаний системы зажигания с регулированием вторичного напряжения

Комиссия в составе: председателя - главного механика Батура А.И., членов комиссии: заведующего гаражом Фролова Н.Н., водителей Чусова В.Б., Шмарова А.В., Бердугина И.А.

На автомобилях транспортной группы эксплуатации УАЗ-469, ГАЗ-66 были проведены эксплуатационные испытания опытных образцов системы зажигания с регулированием вторичного напряжения.

Эксплуатационным испытаниям подвергались три опытных образца системы зажигания. Во время испытаний производились контрольные заезды в целях определения топливных и динамических качеств автомобилей.

Результаты эксплуатационных испытаний с 5.08.98 по 27.04.99 представлены в таблице № 1.

Таблица № 1

Марка автомобиля	Пробег автомо-биля	Ввод в эксплуата-цию	Тип системы	Средний расход топлива	Разность в %
ГАЗ-66	14426	20.04.89	Штатная	24	2,5
			Опытная	23,4	
ГАЗ-66	10230	14.07.95	Штатная	23,2	4
			Опытная	22,3	
УАЗ-469	13307	11.07.93	Штатная	10,3	3,5
			Опытная	9,9	

По результатам эксплуатационных испытаний установлено, что опытная системы зажигания с регулированием вторичного напряжения позволила сэкономить расход топлива на автомобилях с опытными образцами системы в пределах 2,5-4%, а также значительно повысила пусковые качества двигателя при низкой температуре окружающей среды. Образцы сняты с испытаний 28.04.99 в исправном состоянии.

Вывод: Применение систем зажигания с регулированием вторичного напряжения на бензиновых двигателях военной автомобильной техники является перспективным.

Председатель комиссии

А.И.Батура

Члены комиссии:

Н.Н.Фролов  
И.А.Бердугин  
В.Б.Чусов  
А.В.Шмаров

"УТВЕРЖДАЮ"

Ректор Современного технического  
института кандидат физико-  
математических наук, профессор

  
А.Г. Ширяев

"02" декабря 2008 г.



### АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы  
соискателя ученой степени доктора технических наук  
кандидата технических наук, доцента Гармаша Юрия Владимировича

Комиссия в составе председателя – проректора по научной работе Фомина Юрия Васильевича, членов комиссии – заведующего кафедрой энергетики Козлова Бориса Алексеевича, профессора кафедры строительства дисциплин Сесюнина Николая Алексеевича подтверждает:

научные результаты и практические рекомендации, приведенные в диссертации Гармаша Ю.В., внедрены в учебный процесс кафедр энергетики и строительства в рамках программ учебных дисциплин – «Электрооборудование электростанций», «Электротехника и электроника», «Строительные машины».

Расчетные методики моделирования, разработки и применения специализированных адаптируемых импульсных преобразователей параметров электрической энергии используются в курсовом и дипломном проектировании студентами, при подготовке научно-исследовательских и диссертационных работ соискателей, что повышает уровень подготовки кадров.

Применение результатов диссертационной работы Ю.В. Гармаша позволяет повысить точность, эргономичность и коэффициент полезного действия систем электрооборудования автомобильной и строительной техники.

Председатель комиссии:

кандидат экономических наук, доцент

 Ю.В. Фомин

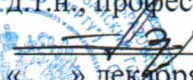
Члены комиссии:

доктор физико-математических наук, профессор

 Б.А. Козлов

доктор технических наук, профессор

 Н.А. Сесюнин

«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по учебной работе РГРТУ  
д.т.н., профессор  
 В.И. Жулёв  
«    » декабря 2010 г.

Акт

об использовании в учебном процессе Рязанского государственного радиотехнического университета результатов докторской диссертационной работы Гармаша Ю. В. на тему «Концепция повышения готовности объектов военной автомобильной техники на основе комплексной адаптации их систем электропитания»

Результаты диссертационной работы Гармаша Ю.В.:

- математическая модель системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания от емкостного накопителя энергии в широком диапазоне напряжений;
  - математическая модель зависимости напряжения питания системы зажигания от частоты вращения коленчатого вала двигателя;
  - системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающего повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима;
  - принципы построения и устройства специализированных систем электропитания на основе широтно-импульсных регуляторов для оптимизации температурных, скоростных и других режимов, обеспечиваемых электроприводом и улучшающих эргономику, эксплуатационные характеристики и безопасность движения,
- использованы в учебном процессе для студентов специальностей 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника», 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств», 230105 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» по курсам «Математические методы в электронике», «Технические средства автоматизации», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Компьютерное моделирование», «Физика полупроводников и диэлектриков».

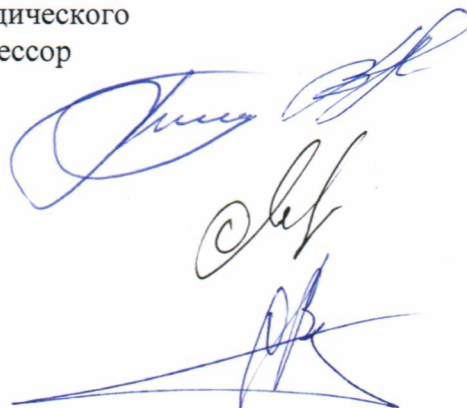
Основные положения и выводы, методики разработки, применения и моделирования специализированных импульсных преобразователей параметров электрической энергии, адаптирующихся к изменяющимся параметрам окружающей среды и условиям работы, позволили качественно по-новому освещать в учебном процессе связанные с моделированием технологических процессов, применяются в курсовом и дипломном проектировании.

Председатель научно-методического  
Совета РГРТУ, д.т.н., профессор

Зав. кафедрой ВПМ,  
д.т.н., профессор

Зав. кафедрой АИТП,  
д.т.н., профессор

Зав кафедрой БМПЭ  
д.ф.-м.н., профессор



В.Н. Локтюхин

А.Н. Пылькин

А.К. Мусолин

С.П. Вихров



"УТВЕРЖДАЮ"



ВРИД заместителя начальника Рязанского  
военного автомобильного института им.  
генерала армии В.П. Дубынина  
по учебной и научной работе  
кандидат технических наук, доцент  
полковник

А.Коберниченко

" 3 " ноября 2008 г.

### АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы,  
на соискание ученой степени доктора технических наук соискателя  
по кафедре электрооборудования военной автомобильной техники  
кандидата технических наук, доцента Гармаша Юрия Владимировича

Комиссия в составе председателя – начальника кафедры электрооборудования ВАТ полковника Шевченко Николая Павловича, членов комиссии – заместителя начальника кафедры электрооборудования ВАТ полковника Патрина Александра Николаевича, профессора кафедры электрооборудования ВАТ Волкова Степана Степановича подтверждает:

научные результаты и практические рекомендации, приведенные в диссертации Гармаша Ю.В. внедрены в учебный процесс кафедры "Электрооборудования ВАТ" в рамках программ учебных дисциплин - "Электрооборудование ВАТ", "Электротехника и электроника".

Расчетные методики моделирования, разработки и применения специализированных адаптируемых импульсных преобразователей параметров электрической энергии используются в курсовом и дипломном проектировании курсантами, при подготовке научно-исследовательских и диссертационных работ соискателей и научно-педагогического состава института, что позволяет повысить точность, эргономичность и коэффициент полезного действия систем электрооборудования ВАТ.

Председатель комиссии:

кандидат технических наук, доцент  
полковник

Н. Шевченко

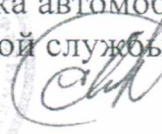
Члены комиссии:

кандидат технических наук, доцент  
полковник

А. Патрин

доктор физико-математических наук,  
профессор

С.Волков

**УТВЕРЖДАЮ**  
ВрИО Начальника автомобильной и  
бронетанковой службы ВМФ  
подполковник  Е. Лукьянов

«30» ноября 2009 г.

### А К Т

о реализации результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук профессора кафедры физики и химии Рязанского Военного автомобильного института кандидата технических наук, доцента ГАРМАША Юрия Владимировича

Комиссия в составе председателя – ВрИО начальника 2 группы автомобильной и бронетанковой службы ВМФ подполковника Маканцева Алексея Виктровича и членов комиссии старшего офицера 1 группы автомобильной и бронетанковой службы ВМФ подполковника Ранкова Алексея Александровича, старшего офицера 2 группы автомобильной и бронетанковой службы ВМФ подполковника Ефремова Сергея Павловича свидетельствует о том, что при проведении практической деятельности в частях Военно-Морского Флота реализованы следующие научные результаты, полученные соискателем Ю.В. Гармаш по применению адаптируемых систем электропитания военной автомобильной техники и изложенные в диссертационной работе:

1. Разработанные автором адаптируемые системы электропитания военной автомобильной техники позволяют оригинальным путем без избыточных материальных затрат повысить эксплуатационные характеристики двигателей в условиях низких температур при этом, снижается предельная минимальная температура надежного пуска холодного двигателя ВАТ даже при неполном заряде аккумуляторных батарей, кроме того реализуется защита системы электропуска ДВС от избыточных перегрузок, и, следовательно, от отказов и возникновения неисправностей.

2. В случае использования адаптируемой системы электропитания отопителя улучшаются эргономические характеристики рабочего места водителя.

3. Применение систем специализированного электропривода позволяет повысить точность и скорость выполнения поставленных задач.

4. Очевидно, следует ожидать повышения ресурса работы ДВС ВАТ при использовании автоматических систем управления электроприводом вспомогательного оборудования с использованием специализированных адаптируемых систем электропитания.

5. Применение специализированных систем электропитания на основе импульсных преобразователей параметров электрической энергии в военной автомобильной технике облегчает труд водителей и ремонтников в процессе эксплуатации и технического обслуживания. Во время учений выхода из строя экспериментальных образцов не наблюдалось.

Реализация результатов диссертационной работы Гармаша Ю.В. позволяет улучшить эксплуатационные характеристики ВАТ и облегчить труд личного состава.

Председатель комиссии:

ВрИО начальника 2 группы АБТС ВМФ

подполковник  А. Макарецв

Члены комиссии:

старший офицер 1 группы АБТС ВМФ

подполковник  А. Ранков

старший офицер 2 группы АБТС ВМФ

подполковник  С. Ефремов



И.Г. Панков

19 ноября 2010 г.

### Акт

реализации результатов диссертационной работы профессора Гармаша Юрия Владимировича на соискание ученой степени доктора технических наук

Настоящим актом подтверждаю, что в Рязанском институте (филиале) Московского государственного открытого университета в учебный процесс внедрены результаты диссертационной работы профессора кафедры физики и химии, к.т.н. Гармаша Юрия Владимировича.

Гармаш Ю.В. принимает активное участие в научной работе, является лауреатом «X Московского международного салона инноваций и инвестиций» за разработку системы отопления и вентиляции салона автотранспортного средства (копия диплома прилагается). Гармаш Ю.В. является автором 170 печатных работ, из них 3 монографии, 47 патентов РФ.

Ценность исследований Ю.В. Гармаша для науки и практики состоит в том, что разработанный системный подход к анализу электрооборудования автомобиля, теория и моделирование систем электрооборудования автомобиля, концепция применения регулируемых преобразователей напряжения в системах электрооборудования транспортных средств позволяет качественно повысить их эксплуатационные характеристики. Подобный системный подход вызывает большой интерес у обучающихся аспирантов и студентов.

Гармаш Ю.В. использует результаты своих научных исследований при проведении всех видов занятий, проведении консультаций и в научной работе со студентами.

Зав. кафедрой физики и химии РИ МГОУ

к.ф.-м.н., доцент

Г.И.Мельник



X МОСКОВСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ САЛОН  
ИННОВАЦИЙ И ИНВЕСТИЦИЙ

7 – 10 сентября 2010 г.: Москва, ВК Гостиный двор

# ДИПЛОМ


награждается

Рязанский институт (филиал) Московского  
государственного открытого университета

за разработку

Автоматический регулятор частоты  
вращения электровентилятора отопителя  
автотранспортного средства

Министр образования и науки  
Российской Федерации

  
А. А. Фурсенко

**УТВЕРЖДАЮ**

Командир в/части 33526

Полковник  И.А.Лещинский

«1» ноября 2003 г.



**А К Т**

**Совместных испытаний системы пуска  
с емкостным накопителем энергии и  
системы зажигания с регулируемым  
вторичным напряжением**

Комиссия, в составе председателя майор Довженко А.В., и членов комиссии майор Мартовицкий В.Н., капитан Иванов Р.Н. данным актом подтверждает, что в в/части 33526 проводились испытания опытных образцов автомобильной техники, оснащенных новыми системами пуска и зажигания.

Эксплуатационным испытаниям подверглись 3 образца, оснащенные новыми системами, - автомобили ГАЗ-66 в/н 03-56НВ RUS 36, УАЗ-469 в/н 03-04 RUS 36, ЗИЛ-131 в/н 03-25НВ RUS 36.

Во время испытаний проводились контрольные заезды в целях определения динамических качеств автомобилей, расхода топлива, износа свечей зажигания и прерывателей-распределителей, а также оценки надежности работы в областях рабочих и пусковых частот, кроме того, оценивалась надежность пуска.

Испытания проводились в сроки с 01.04.2000 г. по 30.10.2003 г., суммарный пробег автомобилей составил 42562 км.

Техническое обслуживание экспериментальных систем зажигания и пуска заключалось в периодических осмотрах, проверке и регулировке зазоров между электродами свечей зажигания в сроки, предусмотренные инструкцией по эксплуатации для штатной системы зажигания.

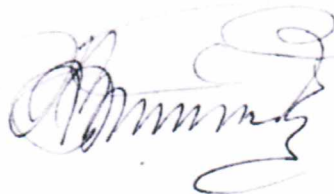
В результате испытаний установлено, что применение экспериментальных систем электрооборудования позволило снизить расход топлива в пределах 2-4% без ухудшения динамических свойств автомобилей, существенно улучшить надежность пуска при низких температурах окружающей среды (особенно в случаях частично разряженной аккумуляторной батареи).

В результате испытаний на автомобилях установлено, что применение новых систем электрооборудования позволило, без снижения динамических качеств автомобилей:

- увеличить срок службы свечей зажигания на 12%;
- снизить расход топлива в пределах от 2% до 4%;
- снизить выброс вредных веществ до 20%.

За все время испытаний не отмечено ни одного отказа экспериментальных систем. Образцы сняты с испытаний 30.10.2003 года в исправном состоянии.

Председатель комиссии: майор



Довженко А.В

Члены комиссии:

майор  
капитан



Мартовицкий В.Н  
Иванов Р.Н.