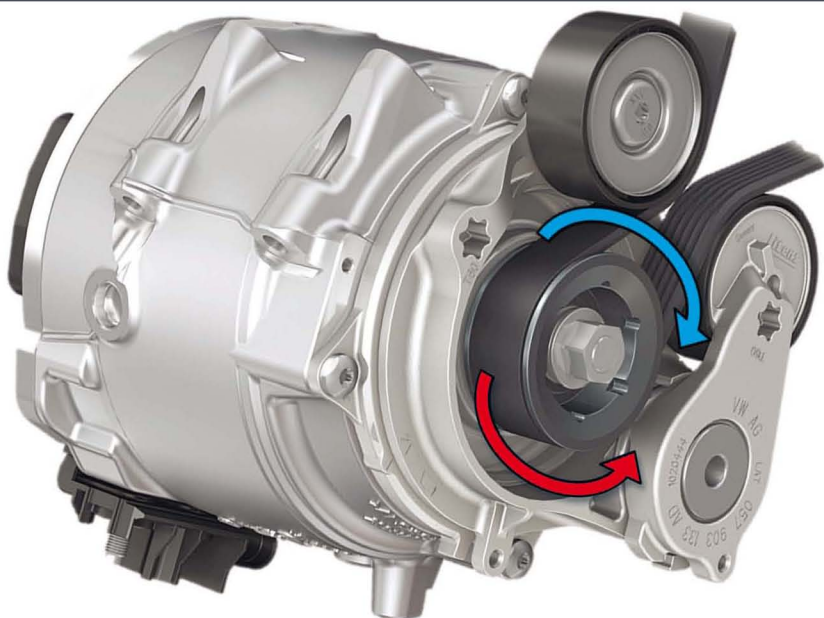


А. В. Пузаков

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ



«Инфра-Инженерия»

А. В. Пузаков

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2019

УДК 629.33(075.8)
ББК 39.33-04я73
П88

Рекомендовано учёным советом ГБОУ ВО
«Оренбургский государственный универси-
тет» для обучающихся по образовательной
программе высшего образования по направ-
лению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация
транспортно-технологических машин и ком-
плексов»

Рецензенты:

д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой теоретической и общей электротехники
Самарского государственного технического университета *В. Н. Козловский*;
д-р техн. наук, профессор, проректор по учебной работе
Курганского государственного университета *В. И. Васильев*

Пузаков, А. В.

П88 Системы электроснабжения транспортных средств : учебное посо-
бие / А. В. Пузаков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 228 с. :
ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0344-3

Приведено описание принципов построения и функционирования си-
стем электроснабжения транспортных средств. Раскрыты основные физи-
ческие законы, на которых базируется работа источников электрической
энергии, рассмотрены конструктивное исполнение, параметры и характе-
ристики аккумуляторных батарей и генераторных установок, освещены
вопросы технического обслуживания и диагностики систем электроснаб-
жения.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.03
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Мо-
жет быть использовано в рамках специальности 23.05.01 «Наземные
транспортно-технологические средства».

УДК 629.33(075.8)
ББК 39.33-04я73

ISBN 978-5-9729-0344-3

© Пузаков А. В., 2019
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2019
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

Оглавление

Предисловие	6
Введение	8
Глава 1. Характеристика системы электроснабжения автомобилей.....	13
§ 1.1. Общие сведения	13
§ 1.2. Принцип работы бортовой сети.....	15
§ 1.3. Схемы бортовой сети	17
§ 1.4. Система управления электрической энергией	20
1.4.1. Управление током без нагрузки	22
1.4.2. Управление энергией во время работы двигателя	22
1.4.3. Увеличение выходной мощности генератора	23
1.4.4. Распознавание состояния аккумуляторной батареи и управление ею	24
1.4.5. Датчик аккумуляторной батареи	27
1.4.6. Блок управления для контроля аккумуляторной батареи ..	29
§ 1.5. Стабилизация напряжения бортовой сети	32
§ 1.6. Бортовая сеть с двумя батареями	33
§ 1.7. Бортовые сети грузовых транспортных средств.....	35
1.7.1. Компоненты бортовой сети	37
§ 1.8. Бортовая сеть на напряжение 48 В.....	39
§ 1.9. Баланс электроэнергии на автомобиле	44
§ 1.10. Стартер-генераторы	49
Контрольные вопросы к главе 1	53
Глава 2. Источники тока на автомобилях	55
§ 2.1. Общие сведения	55
2.1.1. Солнечные батареи	55
2.1.2. Топливные элементы	57
2.1.3. Суперконденсаторы	60
2.1.4. Аккумуляторные батареи.....	66
§ 2.2. Назначение аккумуляторных батарей и требования, предъявляемые к ним.....	73
§ 2.3. Устройство и принцип работы свинцово-кислотного аккумулятора	75

§ 2.4. Устройство стартерной аккумуляторной батареи	79
§ 2.5. Типы аккумуляторных батарей	90
§ 2.6. Маркировка аккумуляторных батарей.....	96
§ 2.7. Параметры и характеристики аккумуляторных батарей	99
§ 2.8. Заряд аккумуляторных батарей	107
§ 2.9. Эксплуатация аккумуляторных батарей.....	113
2.9.1. Саморазряд	113
2.9.2. Эксплуатация аккумуляторных батарей в различных условиях	115
§ 2.10. Техническое обслуживание аккумуляторных батарей	119
2.10.1. Измерение уровня электролита	121
2.10.2. Измерение плотности электролита	122
2.10.3. Измерение напряжения батареи	126
§ 2.11. Неисправности аккумуляторных батарей	127
Контрольные вопросы к главе 2	133
Глава 3. Генераторы транспортных средств	137
§ 3.1. Общие сведения	137
§ 3.2. Принцип действия автомобильных генераторов	141
§ 3.3. Конструктивное исполнение автомобильных генераторов.....	144
§ 3.4. Устройство элементов автомобильного генератора.....	156
3.4.1. Статор генератора	156
3.4.2. Ротор генератора	158
3.4.3. Выпрямительный блок	160
3.4.4. Щёткодержатель	161
3.4.5. Подшипниковые узлы	162
3.4.6. Привод генератора	163
3.4.7. Обгонная муфта шкива генератора.....	165
§ 3.5. Электрические схемы генераторных установок	166
§ 3.6. Основные параметры и характеристики генераторов.....	177
§ 3.7. Принцип регулирования напряжения бортовой сети.....	182
3.7.1. Конструктивные исполнения регуляторов напряжения ...	187
3.7.2. Защита от перенапряжений.....	189

3.7.3. Электронное управление генераторами	192
§ 3.8. Эксплуатация и техническое обслуживание генераторов	193
§ 3.9. Неисправности генераторных установок	197
§ 3.10. Диагностирование генераторных установок.....	198
Контрольные вопросы к главе 3	201
Список использованных источников.....	206
Глоссарий	208
Предметный указатель.....	225

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эксплуатационная надёжность, экономичность, активная безопасность и экологические качества автомобиля в значительной степени определяются работой его электрооборудования. Электрооборудование современного автомобиля представляет собой очень сложную систему, включающую несколько сотен изделий, а его стоимость составляет свыше трети стоимости автомобиля.

С точки зрения системного подхода электрооборудование автомобиля может быть представлено в виде ряда самостоятельных функциональных систем – электроснабжения, пуска, зажигания, освещения и сигнализации, информации и диагностирования, автоматического управления двигателем и трансмиссией и др. Среди них ведущую роль играет система электроснабжения, как снабжающая энергией все устройства-потребители автомобиля.

Помимо традиционных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей все большее применение получают литий-ионные батареи, топливные элементы, преобразующие энергию водорода в электрическую, а также источники, способные запасать электричество за счёт энергии торможения автомобиля (рекуперация) в молекулярных накопителях энергии (суперконденсаторах) и маховиках.

Следует отметить, что в последнее время появились существенные изменения как в функциональном использовании генераторов, так и в их схемном и конструктивном исполнении. На генератор переносятся, в частности, функции управления двигателем внутреннего сгорания, управление временем разгона автомобиля и т. п.

Многие фирмы работают над созданием и внедрением автомобилей с гибридными силовыми установками – с совместной работой двигателя внутреннего сгорания и силового тягового электропривода.

Целью пособия является систематизация и актуализация сведений, касающихся систем электроснабжения современных автомобилей.

В результате изучения курса обучающийся должен:

○ **знать:**

- основные понятия и определения в области генерации и хранения электрической энергии на борту транспортных средств;
- принципы построения и функционирования систем электроснабжения, обеспечивающие снижение электрических потерь и выработку необходимого качества электроэнергии;
- принцип работы, конструктивное исполнение, параметры и характеристики аккумуляторных батарей и генераторных установок;
- требования к эксплуатации и техническому обслуживанию аккумуляторных батарей и генераторных установок;

○ **уметь:**

- классифицировать системы электроснабжения транспортных средств по различным признакам;
- читать и разрабатывать принципиальные электрические схемы в соответствии со стандартами на их составление;
- подбирать необходимый тип аккумуляторных батарей и генераторных установок с учетом особенностей транспортных средств и условий их эксплуатации;
- оценивать техническое состояние аккумуляторных батарей и генераторных установок транспортных средств с применением диагностической аппаратуры и по косвенным признакам;

○ **владеть:**

- навыками использования в практической деятельности данных оценки технического состояния аккумуляторных батарей и генераторных установок транспортных средств;
- методами выявления неисправностей аккумуляторных батарей и генераторных установок транспортных средств;
- навыками разработки и поиска неисправностей в функциональных связях узлов, агрегатов и систем электроснабжения транспортных средств;
- методиками синтеза систем электроснабжения новых видов транспортных средств.

Автор выражает признательность рецензентам издания, замечания и пожелания которых позволили улучшить форму представления материала пособия:

- доктору технических наук, доценту *Козловскому Владимиру Николаевичу*, заведующему кафедрой теоретической и общей электротехники ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»;
- доктору технических наук, профессору *Васильеву Валерию Ивановичу*, заведующему кафедрой автомобильного транспорта и сервиса ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет».

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование автомобилестроения неразрывно связано с широким применением электротехнического оборудования, автоматических устройств и систем, объединённых в единый комплекс электрооборудования автомобилей. Электрооборудование современного автомобиля – сложная система, обеспечивающая автоматизацию рабочих процессов, безопасность движения и улучшение условий труда водителей. Развитие электрооборудования автомобилей тесным образом связано с развитием общей электротехники, электроники и автоматики.

Впервые электрическая энергия применена в двигателях внутреннего сгорания в 1860 г. для воспламенения горючей смеси. Источником электроэнергии являлся аккумулятор, изобретателем которого принято считать Алессандро Вольта (1745–1827), итальянского физика. Вольта расположил пластины из меди и цинка друг над другом в виде столба. Между пластинами он разместил пропитанные соляной кислотой куски картона или кожи. Получился ряд гальванических элементов, соединённых последовательно. Этот столб был первым источником тока для практического применения и известен как вольтов столб. После смерти Вольты единица измерения электрического напряжения получила наименование вольт.

Немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер (1776–1810) построил электрическую батарею в форме цилиндра, которая была названа в его честь столбом Риттера. Столб состоял из расположенных друг над другом медных дисков и проложенных между ними и пропитанных раствором NaCl (хлорид натрия, или поваренная соль) дисков из картона. Это устройство можно было заряжать электрическим током, а при разряде оно снова вырабатывало электрический ток. Поэтому столб Риттера считается прародителем современных аккумуляторов.

Ещё один немецкий физик Вильгельм Йозеф Зинштеден (1803–1891) разработал первый свинцовый аккумулятор. Он поместил две свинцовые пластины, которые не соприкасались друг с другом, в ёмкость с раствором серной кислоты и подсоединил к ним источник электрического напряжения. После многочисленных циклов зарядки и разряда конструкция приобрела определённую ёмкость.

Усовершенствовал конструкцию аккумулятора Зинштедена французский физик Гастон Раймон Луи Планте (1834–1889), придав свинцовым пластинам спиральную форму. Однако этот свинцовый аккумулятор так и остался лишь экспериментом.

Существенно модернизировал свинцовый аккумулятор французский инженер и физик Камиль Альфонс Фор (1840–1898). Фор покрыл обе стороны свинцовой пластины пастой из свинцового порошка и серной кислоты. Благодаря этому его свинцовый аккумулятор уже всего после нескольких циклов зарядки приобретал значительную ёмкость.

Люксембургский инженер и изобретатель Генри Оуэн Тюдор (1859–1928) довёл опытную модель свинцового аккумулятора до промышленной зрелости. Тюдор увеличил поверхность электродов и расположил их так, что ёмкость свинцового аккумулятора увеличилась, а срок его службы стал существенно большим. Он придал АКБ привычную сегодня форму ящика. В качестве электролита служил раствор серной кислоты. Отрицательный электрод состоял из свинца, а положительный – из двуокиси свинца. Тюдор изготовил формы для литья, которые позволили наладить промышленное производство свинцовых пластин для аккумуляторов. Он разработал первую, пригодную для технического применения свинцово-кислотную АКБ.

Однако никакая батарея или аккумуляторный элемент не может дать больше некоторого количества энергии, и изобретатели вскоре осознали, что нужен постоянный источник электрического тока.

Первым действительно успешным генератором стало детище немца Эрнста Вернера фон Сименса. Он создал свой генератор в 1867 г. и назвал его динамо-машиной. Сегодня термин «динамо» применяется только для генератора, который вырабатывает постоянный электрический ток, а термин «генератор» (от англ. *alternator*) подразумевает только машины переменного тока.

Эмиль Морс использовал электрическое зажигание, подключённое к цепи низкого напряжения, питаемой аккумуляторами, которые подзаряжались от динамо-машины, приводимой в движение ремённой передачей. Это была первая успешная зарядная система, которая может быть датирована примерно 1895 г.

Трёхщёточный генератор, разработанный доктором Гансом Лейтнером и Р. Г. Лукасом, впервые появился примерно в 1905 г. Он дал водителю некоторую возможность управления системой подзаряда. По современным меркам это был очень крупный генератор, но он мог вырабатывать ток только около 8 А (рис. В 1).

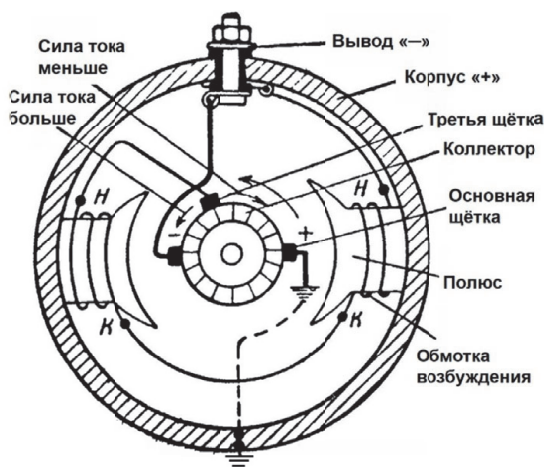


Рис. В 1. Схема трёхщёточного генератора

В течение следующего десятилетия было опробовано много других технических приёмов, призванных решить проблему регулировки мощности при постоянно меняющейся скорости генератора.

Одной из идей была нагреваемая спираль в главной цепи питания, которая при нагреве увеличивала свое сопротивление и вынуждала электрический ток течь в обход неё через шунтирующую катушку, уменьшая поле подмагничивания динамо-машины.

Однако управление зарядкой батареи для всех этих систем постоянного тока было несовершенным, и часто на водителя возлагалась обязанность включать и выключать ток зарядки при достижении высокого и низкого предельных значений. По сути, одним из ранних устройств на приборной доске был указатель уровня электролита, чтобы контролировать состояние зарядки батареи.

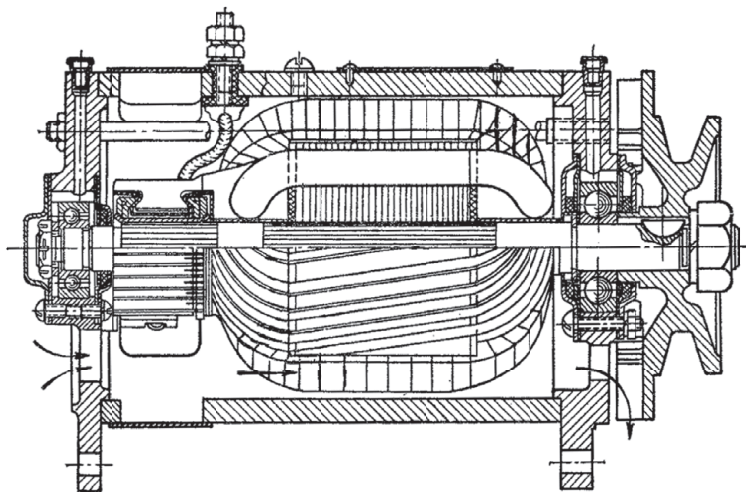


Рис. В 2. Генератор постоянного тока
(динамо-машина)

Двухщёточная динамо-машина (рис. В 2) и блок контроля напряжения с компенсацией были впервые использованы в 1930-х гг. Это дало значительно лучший контроль над процессом заряда и подготовило почву для возникновения многих других электрических систем.

Генератор переменного тока, впервые использованный в 60-е годы в США, к 1974 г. стал нормой и в Европе.

Большая доступная мощность и стабильность генератора переменного тока стали тем, чего именно и ждала электронная индустрия, и к 80-м годам электрические системы значительно изменились.

Дальнейшее совершенствование конструкции генераторов переменного тока было связано с применением более качественных изоляционных и полупроводниковых материалов, а также изменением конструктивного исполнения регуляторов напряжения.

Существенное изменение конструкции генераторов произошло на рубеже начала XXI века, когда появились так называемые компакт-генераторы, обладающие изменённой системой охлаждения, контактными кольцами, вынесенными за пределы задней крышки, и приводимые во вращение поликлиновым ремнём, допускающим большее передаточное отношение.

Взаимосвязь тенденций совершенствования генераторов и транспортных средств в целом с изменениями в конструкции генераторов представлена на рис. В 3.

Увеличение мощности потребителей связано с ростом числа агрегатов и систем автомобиля, отвечающих за безопасность движения, автоматизацию рабочих процессов, комфортабельность салона и т. д. Согласно [11], мировая тенденция роста мощности потребителей электроэнергии на борту автомобилей составляет 15–20 % за каждые 3–4 года, или по 100 Вт в год.

Генераторы фирмы Bosch серии EL содержат пять фаз, что позволило снизить толщину обмоточного провода, повысить число витков обмотки статора, а следовательно, и номинальную мощность. Пентаграммное соединение фаз способствовало снижению уровня шума и пульсаций выпрямленного напряжения. Также в генераторах данной серии выпрямительные диоды заменены полевыми транзисторами, что снизило потери напряжения и повысило коэффициент полезного действия (КПД) генераторов.

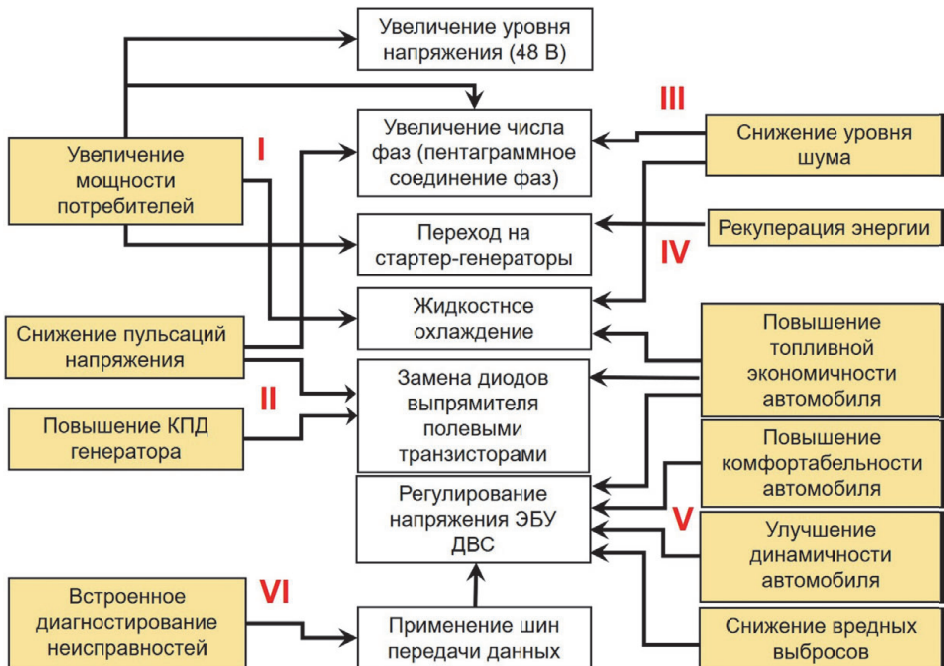


Рис. В 3. Тенденции совершенствования генераторов транспортных средств

Рост мощности генераторов при сохранении воздушного охлаждения ограничен величиной 3–4 кВт, поэтому ряд производителей (Audi, BMW) автомобили представительского класса штатно оборудуют генераторами жидкостного охлаждения, что улучшает теплоотвод, способствует снижению уровня шума и повышает коэффициент полезного действия.

Увеличение мощности потребителей приводит к увеличению сечения проводов, длина которых в современном автомобиле может достигать нескольких километров. Для снижения токов, циркулирующих в бортовой сети, необходимо увеличение напряжения бортовой сети. В настоящее время разработаны схемы перехода на напряжение 48 В, а в ряде случаев (автомобили Audi SQ7, Bentley Bentayga, Lamborghini Urus) такой переход частично реализован для ряда энергоёмких потребителей.

Дальнейшее увеличение мощности возможно при замене генераторов на устройства, совмещающие функции генерирования энергии и запуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) – стартер-генераторы. Применение подобных устройств позволяет использовать рекуперацию энергии – преобразование накопленной кинетической энергии в электрическую в процессе замедления и торможения автомобиля.

Многообещающие перспективы открывает передача функций регулирования напряжения электронному блоку управления (ЭБУ) двигателя внутреннего сгорания.

Встроенное диагностирование неисправностей становится возможным при соблюдении двух условий: передаче функций регулирования ЭБУ ДВС и связи этого блока с генератором посредством шины передачи данных (как правило, LIN-шины).

Таким образом, значительные изменения в конструкции систем электроснабжения автомобилей не отражены в учебной или методической литературе, поэтому разработанное пособие будет востребованным у широкой аудитории.

ГЛАВА 1.

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

§ 1.1. Общие сведения

Система электроснабжения транспортной машины представляет собой совокупность устройств генерирования и распределения электроэнергии.

Подсистема генерирования электроэнергии включает в себя источники электроэнергии, устройства регулирования напряжения, защиты, управления и контроля, которые обеспечивают производство электроэнергии и поддержание её характеристик в заданных пределах во всех режимах работы системы. Система распределения электроэнергии состоит из устройств, передающих электроэнергию от системы генерирования к распределительным устройствам.

В транспортных машинах находят применение одноканальные и многоканальные системы электроснабжения. Применение многоканальных систем вызывается необходимостью питания электроэнергией приёмников с различным номинальным напряжением (6, 12 и 24 В), а также приёмников, требующих использования различного рода тока.

Все системы электроснабжения транспортных машин выполняются по однотипным принципиальным схемам на постоянном токе. Как правило, электрооборудование транспортных машин изготавливается по однопроводной схеме. В большинстве автомобилей отрицательные выводы источников и потребителей электроэнергии соединены с кузовом автомобиля. Это значит, что точка подсоединения лампы накаливания соединена с кузовом через провод. Кузов, в свою очередь, медным кабелем соединён с отрицательной клеммой аккумулятора. Поскольку данная система обходится только одним проводом (обратный отвод осуществляется через кузов), то речь идёт об однопроводной схеме. В технически целесообразных случаях могут быть применены двухпроводные системы электроснабжения, в которых от корпуса изолированы оба провода – положительный и отрицательный. Применение однопроводной схемы по сравнению с двухпроводной позволяет снизить массу электрической сети, уменьшить падение напряжения в линиях, упростить монтаж и эксплуатацию сети, так как падение напряжения в корпусе машины невелико. К недостаткам однопроводной схемы можно отнести повышенную вероятность коротких замыканий проводов на корпус.

Электрооборудование автомобиля включает в себя генератор как преобразователь энергии, одну или несколько аккумуляторных батарей и устройства-электропотребители. Энергия аккумуляторной батареи подаётся на стартер, который затем запускает двигатель автомобиля. Во время работы автомобиля на систему зажигания, систему впрыска топлива, блоки управления, системы обеспечения безопасности и комфорта, освещения и другое оборудование подаётся

питание от генератора, который, кроме этого, заряжает аккумуляторную батарею.

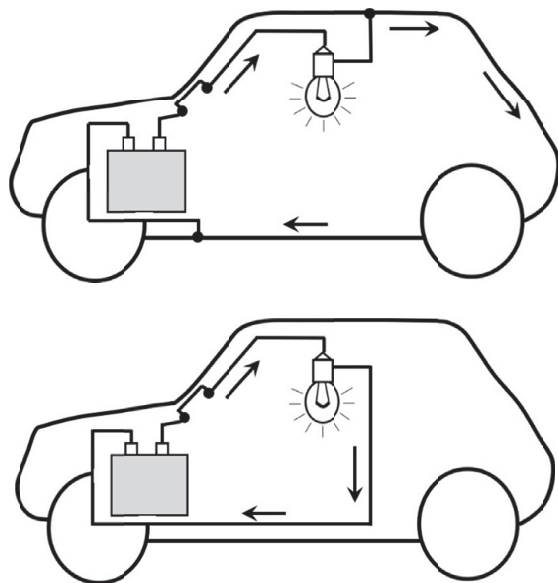


Рис. 1.1. Одно- и двухпроводная схема электроснабжения

Повышение требований к комфорту и безопасности приводит к значительному росту энергопотребления в бортовой сети. Кроме того, продолжается тенденция к электрификации все большего числа компонентов (например, регулировка сидений, электрический стояночный тормоз, электроусилитель рулевого управления). Номинальная мощность генераторов варьируется от 1,5 кВт в субкомпактном классе до более 5 кВт в представительском классе. Это меньше, чем в общей сложности требуется потребителям. Другими словами, аккумуляторная батарея тоже должна подавать электрическое питание во время работы автомобиля. Все компоненты должны быть рассчитаны таким образом, чтобы баланс заряда аккумуляторной батареи был всегда положительным или хотя бы равным потреблению.

Электропотребители имеют разную длительность включения. Различают:

- постоянные нагрузки: от потребителей, включённых всегда (электрический топливный насос, блок управления двигателем);
- длительные нагрузки: от потребителей, включаемых по мере необходимости и остающиеся включёнными в течение длительного времени (фары ближнего света, радиоприёмник, вентилятор радиатора);
- кратковременные нагрузки: от потребителей, включаемых лишь на короткое время (указатели поворотов, стоп-сигналы, электрорегулировка сидений, электростеклоподъёмники).

Потребности в электрической энергии не являются постоянными. Первые минуты после запуска двигателя обычно характеризуются большой потребляемой мощностью (обогрев заднего стекла, сидений, зеркал), после чего происходит резкое падение потребляемой мощности (см. рис. 1.2).

Эти потребители выключаются через несколько минут. Здесь требования к электрической нагрузке главным образом определяются постоянной и длительной нагрузкой.

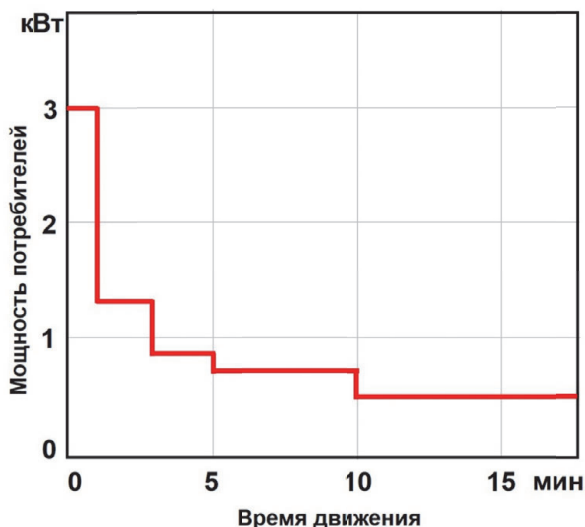


Рис. 1.2. Изменение мощности потребителей в процессе движения

Различным ЭБУ и потребителям требуется питание даже тогда, когда автомобиль стоит на стоянке. Безнагрузочный ток (ток утечки) составляется из общего тока этих включённых потребителей. Большинство этих потребителей выключаются вскоре после выключения двигателя (например, освещение салона). Некоторые же всегда остаются включёнными (например, система охранной сигнализации).

Безнагрузочный ток должен подаваться аккумуляторной батареей. Максимальное значение безнагрузочного тока определяется автопроизводителями. Расчёт параметров аккумуляторной батареи, помимо всего прочего, базируется и на этом значении.

Типичная величина безнагрузочного тока в легковом автомобиле составляет 3–10 мА.

§ 1.2. Принцип работы бортовой сети

Генератор подаёт электрический ток I_G (см. рис. 1.3) во время работы двигателя. Чтобы зарядить аккумуляторную батарею, генератор должен увеличить

напряжение в бортовой сети выше напряжения батареи с разомкнутым контуром. Однако генератор способен сделать это лишь тогда, когда включённые потребители не потребляют ток больше, чем генератор может создать. Если ток нагрузки оборудования I_v в бортовой сети больше тока генератора I_G (например, на холостых оборотах), то аккумуляторная батарея будет разряжаться. Напряжение в бортовой сети падает до уровня напряжения батареи, откуда потребляется ток.

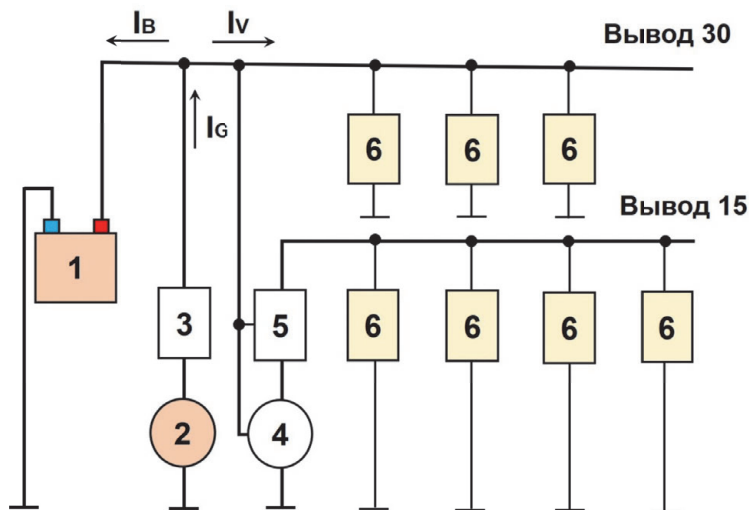


Рис. 1.3. Схема бортовой сети автомобиля:

1 – аккумуляторная батарея, 2 – генератор, 3 – регулятор напряжения, 4 – стартер, 5 – выключатель зажигания, 6 – потребители,
 I_B – электрический ток аккумуляторной батареи, I_G – ток генератора,
 I_v – потребляемый ток оборудования

Максимальный ток генератора очень сильно зависит от оборотов и температуры генератора. На холостых оборотах генератор может давать лишь 55–65 % номинальной мощности. Однако сразу после холодного пуска зимой генератор начиная со средних оборотов способен подавать в бортовую сеть до 120 % своей номинальной мощности. Когда двигатель горячий, моторный отсек нагревается до 60–120 °С, в зависимости от окружающей температуры и нагрузки на двигатель. Высокая температура в моторном отсеке увеличивает сопротивление обмоток, что уменьшает максимальную мощность генератора.

Должно обязательно гарантироваться равновесие заряда батареи путём правильного подбора аккумуляторной батареи, генератора, стартера и другого электрооборудования, чтобы двигатель мог всегда запуститься и при выключенном двигателе можно было в течение достаточно долгого времени включать различные электропотребители.

Электрическую схему автомобиля можно представить как взаимодействие преобразователя энергии (генератора), аккумулятора энергии (аккумуляторной батареи) и потребителей (рис. 1.3).

Генератор приводится через клиновой ремень от коленчатого вала двигателя и преобразует механическую энергию в электрическую. Регулятор генератора ограничивает выходную мощность таким образом, чтобы не превышалось заданное регулятором напряжение (14,0–14,5 В).

Когда ключ вынут из замка зажигания, напряжение подаётся лишь на несколько потребителей (охранная сигнализация, радиоприёмник, дополнительный отопитель и пр.). Вывод, через который записываются эти потребители, называется «вывод 30» (постоянный плюс).

Прочие потребители подключаются к «выводу 15». Когда ключ зажигания находится в положении «зажигание ВКЛ», напряжение батареи подаётся на этот контакт и все потребители подключаются к питанию.

§ 1.3. Схемы бортовой сети

В большинстве автомобилей аккумуляторная батарея размещается в моторном отсеке. Однако большая аккумуляторная батарея (например, на 100 А·ч) занимает много места, и иногда, когда свободное пространство в моторном отсеке ограничено, её не удаётся туда установить. Ещё одним аргументом против установки аккумуляторной батареи в моторном отсеке является потенциально высокая окружающая температура. В качестве альтернативы аккумуляторную батарею можно устанавливать в багажном отделении или в салоне (например, под сиденьем переднего пассажира).

Расстояние между аккумуляторной батареей, установленной в моторном отсеке, и генератором меньше, чем когда аккумуляторная батарея устанавливается в багажном отделении. Это сказывается на повышенном сопротивлении проводов и непосредственно влияет на падение напряжения в них. Падение напряжения можно минимизировать посредством соответствующих сечений проводов и хорошего контакта.

На рис. 1.4 показаны условия для установки в моторном отсеке. Для аккумуляторной батареи, установленной в багажном отделении, требуются более длинные провода с дополнительным сопротивлением R_{L2} (рис. 1.5). Из-за большего падения напряжения зарядное напряжение аккумуляторной батареи, установленной в багажном отделении, будет меньше. Дополнительную разность напряжения, вызванную величиной R_{L2} , можно сбалансировать путём увеличения номинального напряжения генератора. Это увеличивает мощность генератора.

Возможность запуска зависит от напряжения, подаваемого на стартер. Чем выше это напряжение, тем выше обороты стартера при запуске. Из-за высокого пускового тока сопротивление проводов ключевым образом влияет на это напряжение. В случае, когда аккумуляторная батарея устанавливается в багажном отделении, провода между батареей и стартером оказываются длиннее, чем когда она устанавливается в моторном отсеке; соответственно, сопротивление

и падение напряжения выше. Запуск улучшается, когда аккумуляторная батарея устанавливается в моторном отсеке и когда провода между ней и стартером короткие.

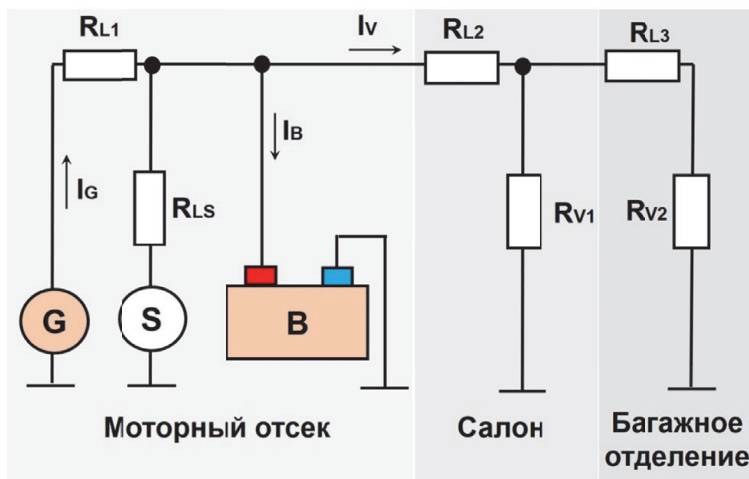


Рис. 1.4. Схема бортовой сети с установкой АКБ в моторном отсеке:
 G – генератор, B – аккумуляторная батарея, S – стартер, R_L – сопротивления в линии,
 R_V – сопротивления оборудования, I_G – ток генератора,
 I_V – потребляемый ток оборудования, I_B – зарядный ток

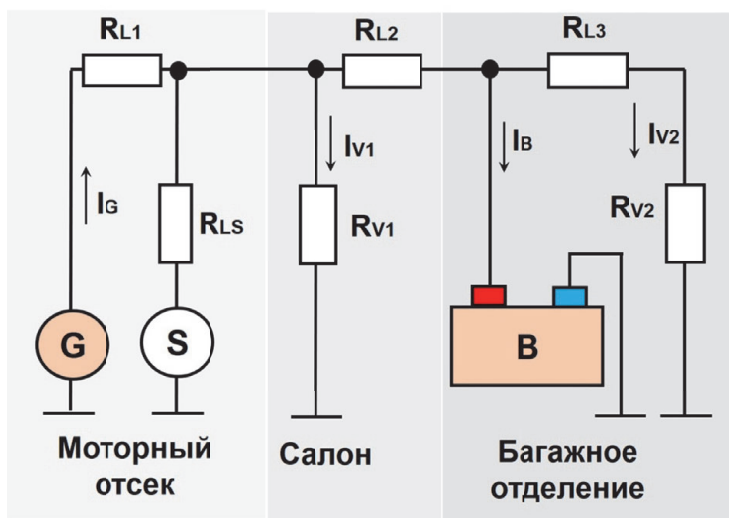


Рис. 1.5. Схема бортовой сети с установкой АКБ в багажном отделении:
 G – генератор, B – аккумуляторная батарея, S – стартер, R_L – сопротивления в линии,
 R_V – сопротивления оборудования, I_G – ток генератора,
 I_V – потребляемый ток оборудования, I_B – зарядный ток

Высокая температура в моторном отсеке может вызвать температурно-зависимые изменения в аккумуляторной батарее (например, газообразование), что отрицательно сказывается на сроке службы батареи. Высокую температуру батареи можно уменьшить экранированием (тепловой кожух).

При низкой окружающей температуре аккумуляторной батареи, установленной в багажнике, требуется больше времени для достижения рабочей температуры. При слишком низкой температуре аккумуляторной батареи она плохо заряжается. Это, в свою очередь, приводит к нарушению зарядного баланса и низкому заряду, что ускоряет процесс старения батареи (происходит сульфатация).

Поскольку в батарее может аккумулироваться только постоянный ток, вырабатываемый генератором переменный ток необходимо выпрямить. Эта операция выполняется диодным выпрямителем, встроенным в генератор. Выпрямление переменного тока создаёт пульсирующее напряжение постоянного тока. Кроме того, переключение диодов – когда ток коммутируется с одного диода на следующий – создаёт высокочастотные колебания напряжения, которые сглаживаются, насколько это возможно, помехоподавляющим конденсатором.

Скачки или пульсации напряжения могут нарушить работу или даже вызвать повреждение электронных потребителей (например, ЭБУ). Аккумуляторная батарея может использовать свою большую ёмкость для сглаживания колебаний напряжения. Однако из-за сопротивления проводов R_L между генератором и батареей они не полностью подавляются в генераторе. Когда потребители подключаются со стороны батареи (рис. 1.6) или после батареи, на них подаётся хорошо сглаженное напряжение бортовой сети. Когда потребители подключаются со стороны генератора, то есть непосредственно к генератору (рис. 1.7), имеют место более сильные пульсации и скачки напряжения.

Таким образом, электропотребители, характеризующиеся высоким потреблением тока и относительно нечувствительные к перенапряжению, должны подсоединяться со стороны генератора, а нагрузка, чувствительная к напряжению с низкими токами потребления, должна подсоединяться со стороны аккумуляторной батареи.

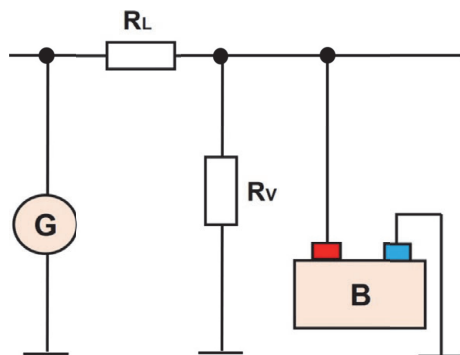


Рис. 1.6. Схема подключения потребителей со стороны генератора:
 S – генератор, B – аккумуляторная батарея, R_L – сопротивление линии,
 R_v – сопротивление потребителей

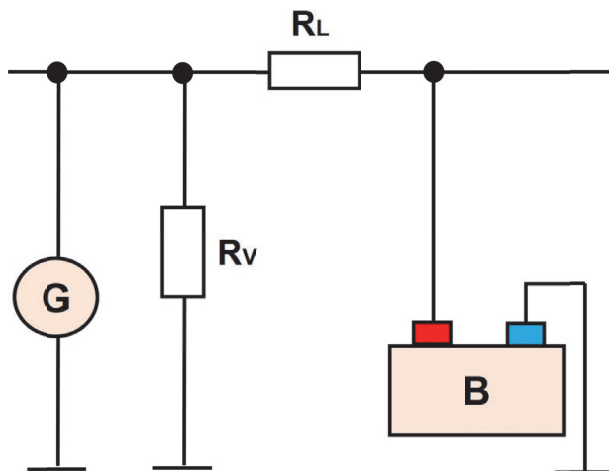


Рис. 1.7. Схема подключения потребителей со стороны батареи:
S – генератор, *B* – аккумуляторная батарея, *R_L* – сопротивление линии,
R_v – сопротивление потребителей

§ 1.4. Система управления электрической энергией

Одной из главных целей автопроизводителей является сокращение расхода топлива и выбросов парниковых газов, в частности CO₂. Она достигается путём оптимизации потоков энергии в автомобилях. Оптимизация включает в себя:

- снижение потерь на холостых оборотах с помощью функции «старт – стоп» (автоматическое выключение и запуск двигателя, например на светофоре);
- повышение эффективности выработки электроэнергии путём оптимизации генератора и интеллектуальной активации генератора (рекуперации);
- аксессуары с электроприводом для упрощения активации путём изолирования от ДВС.

Дополнительные функции, обеспечивающие комфорт, и аксессуары с электроприводом повышают энергопотребление; одновременно снижается диапазон скоростей для выработки электроэнергии (например, из-за эксплуатации в режиме «старт – стоп»). Новые обеспечивающие комфорт функции и функции безопасности (например, электроусилитель руля, электрический насос охлаждающей жидкости, дополнительный отопитель, электрический климат-контроль в автомобилях с функцией «старт – стоп») требуют дополнительную электрическую мощность в таком количестве, что имеет смысл интеграция системы управления электроэнергией (ЕЕМ).

Система управления электрической энергией (ЕЕМ) координирует во время движения согласованность генератора, аккумуляторной батареи и электрических потребителей. Если транспортное средство стоит, система ЕЕМ следит за батареей и выключает потребителей во время остановки, как только заряд аккумуляторной батареи достигнет критического предельного значения. Система ЕЕМ регулирует общий энергетический баланс. Она сравнивает требования к мощности потребителей с предложением мощности бортовой сети и обеспечивает в среднем равновесие между эффективностью и отдачей мощности.

В основе системы ЕЕМ лежит управление батареей. Целью управления батареей является передача в систему ЕЕМ информации о фактическом состоянии батареи и об ожидаемых электрических характеристиках. С помощью данной информации можно использовать стратегии повышения готовности транспортного средства, а также повышения экономичности.

Система управления батареей передаёт системе ЕЕМ значения, относящиеся к батарее, например состояние заряженности (state of charge, SOC), состояние исправности (state of health, SOH) и состояние функционирования батареи (state of function, SOF). Значение SOF представляет собой прогноз того, как батарея реагирует на заданный профиль нагрузки, например, сможет ли быть выполнен старт при действующей на данный момент степени заряженности батареи.



Рис. 1.8. Управление электроэнергией на автомобиле

Данные значения рассчитываются посредством комплексных, основанных на моделях алгоритмов на основании измерения тока и температуры батареи.

С помощью данных о батарее система ЕЕМ может определить оптимальное зарядное напряжение и сократить нагрузку бортовой сети при ослабевающей эффективной мощности (отключить потребитель) и/или усилить эффективность (например, увеличить частоту вращения при холостом ходе).

Если эффективность батареи уменьшается, несмотря на выполненные действия, ниже заданного порогового значения, система ЕЕМ может послать водителю предупреждение о том, что определённые функции (например, пуск двигателя) невозможны при текущей степени заряженности батареи.

1.4.1. Управление током без нагрузки

Датчик аккумуляторной батареи регулярно контролирует её состояние и, соответственно, возможность запуска двигателя. С помощью точного распознавания состояния аккумуляторной батареи можно оптимизировать готовность потребителей посредством управления с током без нагрузки, то есть максимизировать время работы функций комфорта. В случае временной невозможности запуска двигателя система управления электроэнергией может, например, отправить сообщение на дисплей. Кроме того, при угрозе невозможности запуска двигателя система управления электроэнергией уменьшает энергопотребление (например, путём уменьшения потребляемой мощности вентилятора кондиционера) вплоть до выключения отдельных потребителей, чтобы как можно дольше сохранить возможность запуска двигателя. Примеры таких потребителей – дополнительный отопитель, информационно-развлекательная система, система навигации, радиоприёмник и телефон.

1.4.2. Управление энергией во время работы двигателя

Управление энергией при работающем генераторе, в дополнение к управлению нагрузкой, представляет собой управление генератором, включая функцию рекуперации, и интерфейс системы управления энергией и других систем – например, системы управления двигателем.

Система управления нагрузкой координирует включение и выключение потребителей с целью уменьшения пиков мощности. Система управления нагрузкой также участвует в управлении высокоэффективными системами отопления (обогрев ветрового стекла и вспомогательный отопитель на резисторах с положительным температурным коэффициентом).

При эксплуатации автомобиля обеспечение возможности запуска двигателя также является главной функцией системы управления энергией. При критических состояниях аккумуляторной батареи система управления нагрузкой уменьшает потребляемую электрическую мощность, чтобы как можно быстрее подзарядить аккумуляторную батарею. Обеспечивающие комфорт потребители резервуарного типа (системы отопления) переключаются приоритетно, так как интеллектуальное включение можно использовать для как можно более длительного недопущения ощутимых отклонений от номинальных характеристик.

Учебное издание

Андрей Владимирович Пузаков

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

ISBN 978-5-9729-0344-3



Подписано в печать 11.03.2019
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».

Издательство «Инфра-Инженерия»
160011, г. Вологда, ул. Козленская, д. 63
Тел.: 8 (800) 250-66-01
E-mail: booking@infra-e.ru
<https://infra-e.ru>

Издательство приглашает
к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы



Пузаков Андрей Владимирович

Окончил Оренбургский государственный университет по специальности «Электрический транспорт» в 2000 году; в 2012 году окончил магистратуру по направлению подготовки «Эксплуатация транспортных средств». В 2016 году защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта». За работу «Диагностирование автомобильных генераторов по параметрам выходного напряжения» удостоен премии губернатора Оренбургской области в сфере науки и техники за 2017 год.

Автор свыше 100 научных и методических работ, посвящённых электрооборудованию автомобилей и организации дорожного движения.



ISBN 978-5-9729-0344-3



9 785972 903443