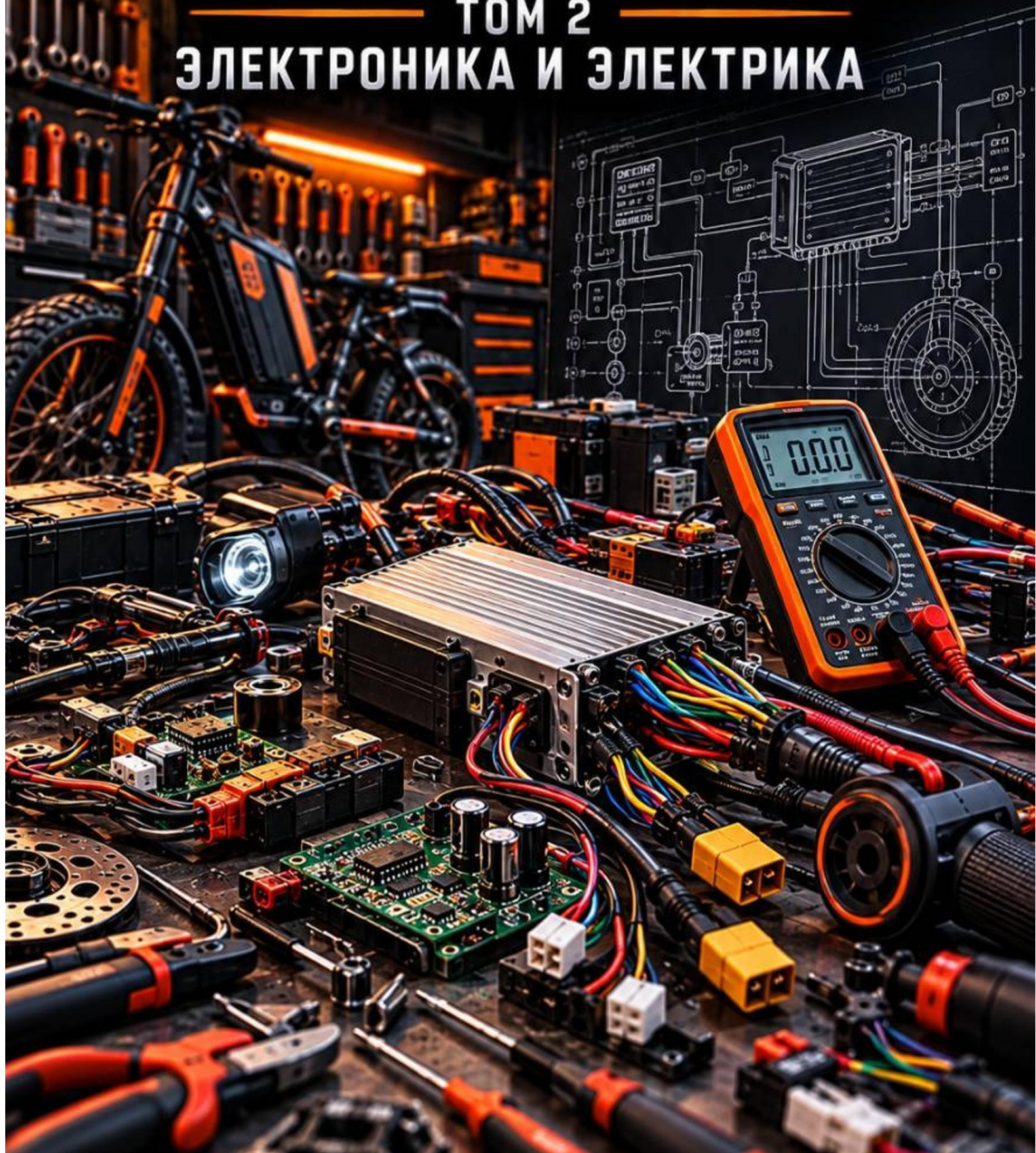


РЕМОНТ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

ТОМ 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРИКА



Иван Грешник

Ремонт электротранспорта Том 2

«Автор»

2026

Грешник И.

Ремонт электротранспорта Том 2 / И. Грешник — «Автор», 2026

Второй том серии «Ремонт электротранспорта» посвящён устройству и принципам работы электрических и электронных систем электросамокатов, электровелосипедов и других видов персонального электротранспорта. В книге рассматриваются основы электротехники, напряжение, сила тока, сопротивление и мощность, устройство электрических цепей, проводка, разъёмы, контроллеры и другие электронные компоненты. Отдельное внимание уделяется работе измерительных приборов, чтению электрических схем, проверке соединений и поиску типичных неисправностей электрической части. Материал помогает понять, как взаимодействуют основные узлы электротранспорта, научиться ориентироваться в электрических цепях и применять теоретические знания при обслуживании и ремонте техники. Формулы, объяснения и практические примеры делают изложение доступным для последовательного изучения материала.

© Грешник И., 2026

© Автор, 2026

Содержание

Ремонт электротранспорта. Том II	7
Часть III. Электрика	9
Глава 19. Основы электричества	9
19.1. Почему мастеру необходимо знать основы электричества	9
19.2. Что такое электричество	9
19.3. Электрический заряд	9
19.4. Электрический ток	10
19.5. Напряжение	10
19.6. Сила тока	10
19.7. Сопротивление	11
19.8. Закон Ома	11
19.9. Электрическая мощность	11
19.10. Электрическая энергия	12
19.11. Постоянный и переменный ток	12
19.12. Проводники и изоляторы	13
19.13. Электрическая цепь	13
19.14. Короткое замыкание	13
19.15. Электробезопасность	13
Типичные ошибки начинающих мастеров	14
Совет мастера	14
Итоги главы	14
Глава 20. Закон Ома	16
20.1. Почему закон Ома необходим мастеру	16
20.2. История закона Ома	16
20.3. Что описывает закон Ома	17
20.4. Формулы закона Ома	18
20.5. Как понять закон Ома без сложной математики	19
20.6. Практический пример	19
20.7. Закон Ома в электротранспорте	19
20.8. Что происходит при увеличении напряжения	20
20.9. Что происходит при увеличении сопротивления	20
20.10. Закон Ома и короткое замыкание	20
20.11. Закон Ома и мультиметр	21
20.12. Типичные ошибки начинающих мастеров	21
Совет мастера	22
Итоги главы	22
Глава 21. Напряжение	24
21.1. Что такое напряжение	24
21.2. Роль напряжения в электротранспорте	24
21.3. Источник напряжения	24
21.4. Номинальное, максимальное и минимальное напряжение	25
21.5. Наиболее распространённые напряжения	25
21.6. Как напряжение влияет на работу транспорта	25
21.7. Измерение напряжения	26

21.8. Падение напряжения	26
21.9. Перенапряжение	26
21.10. Недостаточное напряжение	27
21.11. Диагностика напряжения	27
21.12. Типичные ошибки начинающих мастеров	27
Совет мастера	28
Итоги главы	28
Глава 22. Электрический ток	30
22.1. Что такое электрический ток	30
22.2. Как возникает ток	30
22.3. Постоянный ток	31
22.4. Сила тока	31
22.5. Почему большой ток опасен	31
22.6. Рабочий и пиковый ток	32
22.7. Ток и аккумулятор	32
22.8. Ток и двигатель	32
22.9. Ток и проводка	32
22.10. Измерение силы тока	33
22.11. Предохранители	33
22.12. Диагностика	33
22.13. Типичные неисправности, связанные с током	33
22.14. Типичные ошибки начинающих мастеров	34
Совет мастера	34
Итоги главы	34
Глава 23. Электрическая мощность	36
23.1. Что такое мощность	36
23.2. Что означает мощность двигателя	36
23.3. Формула электрической мощности	36
23.4. Номинальная и пиковая мощность	37
23.5. Мощность аккумуляторной батареи	37
23.6. Мощность контроллера	37
23.7. Мощность зарядного устройства	38
23.8. Куда расходуется мощность	38
23.9. Почему высокая мощность не всегда означает высокую скорость	38
23.10. Перегрузка двигателя	38
23.11. Диагностика мощности	39
23.12. Типичные ошибки начинающих мастеров	39
Совет мастера	39
Итоги главы	39
Глава 24. Последовательное соединение	42
24.1. Что такое последовательное соединение	42
24.2. Основной принцип работы	42
24.3. Последовательное соединение аккумуляторных элементов	43
24.4. Последовательное соединение резисторов	43
24.5. Закон Ома для последовательной цепи	44
24.6. Последовательное соединение в аккумуляторных батареях	44

24.7. Проблемы неравномерности последовательных групп	44
24.8. Последовательное соединение и BMS	45
24.9. Диагностика последовательной цепи	45
24.10. Типичные неисправности последовательных батарей	45
24.11. Типичные ошибки начинающих мастеров	46
Конец ознакомительного фрагмента.	47

Иван Грешник

Ремонт электротранспорта Том 2

Ремонт электротранспорта. Том II

Глава 19 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Понимание электричества — основа надёжного ремонта

*Знания
сегодня —
надёжный
завтра*

1. АТОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

- Протон (+ заряд)
- Нейтрон (нет заряда)
- Электрон (- заряд)

2. ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Движение электронов создаёт электрический ток

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

Выключатель
Источник питания
Нагрузка

Ток течёт только в замкнутой цепи

4. НАПРЯЖЕНИЕ (U)

Разность потенциалов, которая заставляет ток течь.

Единица: вольт (В)

5. СИЛА ТОКА (I)

Количество заряда, проходящего через проводник за единицу времени.

Единица: ампер (А)

6. СОПРОТИВЛЕНИЕ (R)

Препятствует прохождению тока.

Единица: ом (Ω)

Зависит от:

- материала
- длины
- сечения
- температуры

7. ЗАКОН ОМА

$$I = \frac{U}{R}$$

I — сила тока (А)
 U — напряжение (В)
 R — сопротивление (Ω)

Большое напряжение — большой ток (при том же сопротивлении).

8. МОЩНОСТЬ (P)

Скорость передачи электрической энергии.

$$P = U \times I$$

Единица: ватт (Вт)

9. ЭНЕРГИЯ (E)

Показывает, сколько энергии накоплено или потреблено.

$$E = U \times A \cdot \text{ч}$$

Единица: ватт-час (Вт·ч)

10. ПОСТОЯННЫЙ И ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Постоянный ток (DC)

Используется в аккумуляторах, контроллерах, дисплеях и др.

Переменный ток (AC)

Используется в бытовой сети. Зарядное устройство преобразует AC в DC.

11. ПРОВОДНИКИ И ИЗОЛЯТОРЫ

Проводники (хорошо проводят ток)	Изоляторы (плохо проводят ток)
Медь	Пластик
Алюминий	Резина
Серебро	Силикон
	Стекло
	Керамика

12. КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ

Причины:

- повреждение изоляции
- попадание металла
- ошибки при ремонте
- неправильное подключение

Последствия:

- большой ток
- перегрев проводов
- повреждение компонентов
- риск возгорания

13. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ

Аккумулятор, Контроллер, Мотор-колесо, Дисплей, Проводка и разъёмы, Освещение

14. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Позволяют измерять:

- напряжение (В)
- ток (А)
- сопротивление (Ω)
- проверять цепи

искать неисправности

15. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

- Отключайте аккумулятор перед ремонтом
- Используйте исправный инструмент
- Избегайте коротких замыканий
- Не работайте во влажной среде
- Проверяйте отсутствие напряжения
- Используйте защитные очки

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

48 В, Контроллер, Мотор-колесо, Фара, Дисплей

ПОЛЕЗНЫЕ ФОРМУЛЫ

Закон Ома: $I = \frac{U}{R}$

Мощность: $P = U \times I$

Энергия: $E = U \times A \cdot \text{ч}$

ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ

- ✗ Путать напряжение и силу тока
- ✗ Неправильный режим мультиметра
- ✗ Работа при подключённом аккумуляторе
- ✗ Соединение проводов без проверки полярности
- ✗ Использование тонких проводов
- ✗ Недооценка опасности короткого замыкания

СОВЕТ МАСТЕРА

Прежде чем искать сложную неисправность, проверьте самое простое: есть ли напряжение на аккумуляторе, исправен ли предохранитель, надёжно ли соединены разъёмы. Часто причина оказывается гораздо проще, чем кажется.

ОБСЛУЖИВАЙ
 РЕМОНТИРУЙ
 ДВИГАЙСЯ ДАЛЬШЕ
 ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ — БОЛЬШЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

8

Часть III. Электрика

Глава 19. Основы электричества

Электрическая система современного электротранспорта объединяет аккумулятор, проводку, контроллер, электродвигатель, органы управления, освещение и множество других компонентов. Неисправность одного элемента часто проявляется через другой: дисплей может не включаться из-за проблем с питанием, мотор-колесо — не запускаться из-за повреждения провода или разъёма, а контроллер — не работать из-за неправильного напряжения на входе.

Поэтому мастеру недостаточно уметь заменять детали. Необходимо понимать, как устроена электрическая цепь, чем отличаются напряжение, ток, сопротивление и мощность и каким образом эти величины связаны между собой. Без этого диагностика быстро превращается в последовательную замену исправных компонентов.

Основы электротехники не требуют сложной математики. Большинство необходимых для ремонта принципов можно понять на простых примерах и затем применять непосредственно на практике.

19.1. Почему мастеру необходимо знать основы электричества

При поиске неисправности мастер должен определить не только то, какой компонент не работает, но и почему это произошло.

Например, если дисплей не включается, причиной может быть разряженный аккумулятор, отсутствие контакта в разъёме, повреждённый провод, неисправный выключатель или проблема в контроллере. Если двигатель не вращается, необходимо учитывать состояние силовой цепи, сигнальных соединений, датчиков и самого двигателя.

Понимание электрических процессов позволяет последовательно проверять цепь и переходить от симптома к причине, а не менять детали наугад.

19.2. Что такое электричество

Электричество — это совокупность явлений, связанных с электрическими зарядами и их взаимодействием.

В металлических проводниках носителями электрического заряда являются в основном свободные электроны. Под действием электрического поля их движение становится упорядоченным, и возникает электрический ток.

Сам провод не является источником энергии. Он лишь создаёт электрический путь между различными участками цепи. Источник питания, например аккумулятор, создаёт условия, при которых ток может протекать через подключённую нагрузку.

19.3. Электрический заряд

Все вещества состоят из атомов. В составе атома находятся ядро и электроны. В ядре содержатся протоны и нейтроны.

Протон имеет положительный заряд, электрон — отрицательный, а нейтрон не имеет электрического заряда.

Для практического ремонта электротранспорта мастеру прежде всего важно понимать, что движение электрического заряда в проводнике связано с возникновением тока. Именно движение зарядов обеспечивает передачу электрической энергии от источника к потребителю.

19.4. Электрический ток

Электрический ток характеризует упорядоченное движение электрического заряда. Его сила измеряется в амперах.

В простейшем случае ток появляется, когда источник питания подключён к замкнутой цепи с нагрузкой. В электротранспорте таким источником обычно является аккумуляторная батарея, а потребителями — контроллер, двигатель, осветительные приборы, дисплей и другие устройства.

В реальной электрической системе цепь может содержать большое количество соединений, выключателей, предохранителей и электронных компонентов. Если в критическом месте цепи возникает обрыв, ток перестаёт поступать к соответствующей части системы.

При этом важно понимать, что ток способен протекать и по нежелательному пути с очень низким сопротивлением. Именно так возникают короткие замыкания.

19.5. Напряжение

Напряжение — это разность электрических потенциалов между двумя точками цепи. Оно является одной из основных величин, определяющих условия протекания тока.

Напряжение измеряется в вольтах.

В электротранспорте распространены системы с номинальными напряжениями 24, 36, 48, 52, 60 и 72 В. Фактическое напряжение аккумулятора зависит от его химического состава, числа последовательно соединённых ячеек и степени заряда.

Для передачи одной и той же мощности увеличение напряжения позволяет уменьшить требуемый ток:


$$P = U \times I$$

Это одна из причин, по которой в более высоковольтных системах при одинаковой мощности можно уменьшить ток и связанные с ним потери в проводниках.

19.6. Сила тока

Сила тока показывает, какое количество электрического заряда проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени. Единица измерения — ампер.

Для мастера эта величина особенно важна при работе с силовыми цепями. При увеличении тока возрастает нагрузка на проводники, разъёмы, предохранители, контакты и силовые элементы контроллера.

Чем больше ток, тем больше тепла при прочих равных условиях выделяется на сопротивлении проводника и соединений. Поэтому для мощных систем особенно важны правильное сечение проводов, качественные соединения и исправные контакты.

19.7. Сопротивление

Электрическое сопротивление характеризует способность элемента препятствовать прохождению тока. Оно измеряется в омах.

На сопротивление проводника влияют его материал, длина, площадь поперечного сечения и температура.

Например, длинный тонкий провод из одного и того же материала имеет большее сопротивление, чем короткий провод большего сечения. Поэтому при передаче больших токов используются проводники, рассчитанные на соответствующую нагрузку.

Сопротивление есть не только у отдельных резисторов. Оно присутствует в проводах, контактах, соединениях и других элементах электрической цепи. Иногда именно увеличившееся сопротивление плохого контакта становится причиной нагрева и нестабильной работы системы.

19.8. Закон Ома

Закон Ома связывает напряжение, силу тока и сопротивление:

The diagram illustrates Ohm's Law with the formula $I = \frac{U}{R}$. The variables are defined in colored boxes:

- I** (orange box): — сила тока в амперах (A)
- U** (blue box): — напряжение в вольтах (В)
- R** (green box): — сопротивление в омах (Ω)

Из этой зависимости следует, что при постоянном сопротивлении увеличение напряжения приводит к увеличению тока. При постоянном напряжении увеличение сопротивления, наоборот, уменьшает ток.

Для мастера это не просто формула из учебника. Она помогает понимать результаты измерений и искать неисправности. Например, неожиданно большое сопротивление в цепи может указывать на плохой контакт, повреждение проводника или другой дефект.

Короткое замыкание представляет собой принципиально другую ситуацию: ток получает путь с очень малым сопротивлением. Поэтому его значение может резко возрасти, если источник и защитные устройства способны обеспечить такой ток.

19.9. Электрическая мощность

Электрическая мощность показывает, с какой скоростью передаётся или потребляется электрическая энергия. Она измеряется в ваттах.

В простом случае мощность определяется выражением:


$$P = U \times I$$

Однако значение мощности двигателя нельзя напрямую превращать в его скорость. На поведение электротранспорта влияют масса, передаточное отношение, диаметр колеса, характеристики двигателя, ограничения контроллера, состояние аккумулятора, сопротивление движению и дорожные условия.

Поэтому обозначенная на моторе или контроллере мощность сама по себе не описывает полностью динамику транспортного средства.

19.10. Электрическая энергия

Энергия показывает, сколько работы способна выполнить система или сколько энергии было израсходовано за определённое время.

Для аккумуляторов электротранспорта удобно использовать ватт-часы:


$$Вт \cdot ч = В \times А \cdot ч$$

Энергия (ватт-час) Напряжение (вольт) Ёмкость (ампер-час)

Это значение позволяет сравнивать энергетическую ёмкость аккумуляторов, но реальный запас хода нельзя определить только по нему. Расход энергии зависит от массы, скорости, рельефа, температуры, давления в шинах, режима работы двигателя и других условий.

19.11. Постоянный и переменный ток

В электротранспорте встречаются как постоянные, так и переменные токи.

Аккумуляторная батарея хранит энергию в химической форме и выдаёт электрическую энергию в виде постоянного напряжения. Питание контроллера, дисплея, освещения и многих электронных устройств также основано на постоянном токе.

При этом внутри контроллеров и электродвигателей процессы могут быть сложнее. Например, контроллер бесщёточного двигателя формирует последовательность токов в фазных обмотках двигателя, создавая вращающееся магнитное поле.

Переменное напряжение используется в бытовой электрической сети. Зарядное устройство преобразует энергию сети в форму и параметры, необходимые для зарядки конкретного аккумулятора. Внутри зарядного устройства при этом происходит несколько этапов преобразования и регулирования.

19.12. Проводники и изоляторы

Проводниками называют материалы, способные сравнительно хорошо проводить электрический ток. В электротранспортной технике широко используются медь и алюминий.

Материалы с высоким электрическим сопротивлением применяются для изоляции. К ним относятся различные виды пластика, резины, силикона и других диэлектриков.

Изоляция необходима для разделения электрических цепей и защиты от случайного контакта с проводниками. Её повреждение может привести к утечке тока, короткому замыканию, нагреву или поражению электрическим током.

При ремонте необходимо обращать внимание не только на целостность жилы, но и на состояние всей изоляции, особенно возле мест перегиба, ввода кабеля и разъёмов.

19.13. Электрическая цепь

Простейшая электрическая цепь состоит из источника питания, проводников и нагрузки. В реальной системе к ним добавляются выключатели, разъёмы, предохранители, датчики и электронные устройства управления.

Работа каждой части зависит от состояния всей цепи. Если между источником и потребителем возникает разрыв, устройство перестаёт получать питание или управляющий сигнал.

Поэтому диагностику удобно проводить последовательно: от источника питания к потребителю, проверяя напряжение и состояние соединений на ключевых участках цепи.

Такой подход значительно эффективнее бессистемной замены компонентов.

19.14. Короткое замыкание

Короткое замыкание возникает, когда между точками с разным потенциалом появляется путь с очень низким сопротивлением, который не предусмотрен нормальной схемой работы.

Причиной может стать повреждение изоляции, попадание металлического предмета, ошибочное подключение проводов или неправильные действия во время ремонта.

В зависимости от источника питания последствия могут быть серьёзными. Большой ток способен вызвать нагрев проводов и разъёмов, оплавление изоляции, повреждение электронных компонентов и аккумуляторной батареи, а в некоторых случаях — возгорание.

Поэтому при работе с аккумулятором особенно важно избегать инструментов и металлических предметов, способных случайно замкнуть его выводы.

19.15. Электробезопасность

Электробезопасность начинается с понимания того, что опасность определяется не только номинальным напряжением. Значение имеют также ток, состояние организма, продолжительность воздействия, условия окружающей среды и возможность получения энергии от источника.

Перед ремонтом необходимо обесточить систему в соответствии с конструкцией конкретного электротранспорта. Если аккумулятор можно безопасно отключить, это следует сделать до вмешательства в силовую цепь.

При работе используют исправный инструмент и подходящие измерительные приборы. Во влажной среде риск поражения током возрастает, поэтому электрические работы необходимо выполнять в сухих условиях.

При измерениях важно правильно выбирать режим мультиметра. Особенно опасна ошибка, при которой прибор, установленный в режим измерения тока, подключают непосредственно параллельно источнику напряжения. Это может фактически создать короткое замыкание через измерительную цепь.

С аккумуляторами большой ёмкости следует обращаться особенно осторожно. Даже при сравнительно умеренном напряжении такая батарея может отдавать очень большой ток при коротком замыкании.

Перед прикосновением к неизвестной цепи сначала необходимо определить её назначение и проверить наличие напряжения подходящим измерительным прибором.

Типичные ошибки начинающих мастеров

Начинающие мастера часто смешивают понятия напряжения, тока, сопротивления и мощности. Из-за этого они неправильно выбирают режим мультиметра или неверно интерпретируют результаты измерений.

Ещё одна распространённая ошибка — проведение ремонта при подключённой батарее без необходимости. Опасность представляет и подключение проводов «наугад» без проверки полярности и назначения контактов.

Проблемы возникают и при использовании слишком тонкого провода в силовой цепи. Если его характеристики не соответствуют нагрузке, соединение может перегреваться.

Особенно опасно выполнять измерения без понимания того, куда подключены измерительные щупы и какой режим установлен на приборе. Ошибка при измерении тока может привести не только к повреждению мультиметра, но и к короткому замыканию цепи.

Совет мастера

При диагностике электрической неисправности не начинайте с дорогих компонентов.

Сначала проверьте источник питания, наличие напряжения, предохранитель, основные разъёмы и целостность проводки. Затем последовательно переходите к контроллеру, органам управления и потребителю.

Такой порядок позволяет постепенно сужать область поиска и значительно снижает вероятность заменить исправную деталь.

Итоги главы

Понимание основных электрических величин является фундаментом для ремонта электротранспорта. Мастер должен различать напряжение, силу тока, сопротивление, мощность и энергию и понимать взаимосвязь между ними.

Не менее важно знать устройство электрической цепи, представлять причины возникновения коротких замыканий и правильно пользоваться мультиметром. Эти знания позволяют переходить от предположений к измерениям и от симптома — к конкретной причине неисправности.

Освоив базовые принципы электротехники, можно переходить к изучению аккумуляторных батарей, контроллеров, электродвигателей, проводки, датчиков и других элементов электрической системы. Именно на этой основе строится грамотная диагностика современного электротранспорта.

Глава 20

ЗАКОН ОМА

ПРОСТЫЕ ПРАВИЛА — БОЛЬШИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Понимание
сегодня —
надёжный ремонт
завтра

СУТЬ ЗАКОНА ОМА

Закон Ома устанавливает связь между напряжением, силой тока и сопротивлением.

$$I = \frac{U}{R}$$

I — сила тока (А)
 U — напряжение (В)
 R — сопротивление (Ω)

Отсюда получаем: $U = I \times R$ $R = \frac{U}{I}$

ВИЗУАЛЬНАЯ АНАЛОГИЯ

Электричество похоже на движение воды в трубе:



ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Напряжение
Вольт (В)Сила тока
Ампер (А)Сопротивление
Ом (Ω)Энергия
Ватт-час (Вт·ч)Мощность
Ватт (Вт)
 $P = U \times I$
 $E = U \times A \cdot t$

КАК РАБОТАЕТ ЗАКОН ОМА

Больше напряжение
→ больше токБольше сопротивление
→ меньше токМеньше сопротивление
→ больше ток

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ

Допустим, аккумулятор 48 В,
а сопротивление нагрузки 12 Ω.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{48}{12} = 4 \text{ А}$$

Если сопротивление уменьшить
до 6 Ω:

$$I = \frac{48}{6} = 8 \text{ А}$$

При одинаковом напряжении
уменьшение сопротивления
приводит к увеличению силы тока.

ЗАКОН ОМА В ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ

- ✓ Диагностика мотор-колеса
- ✓ Проверка проводки
- ✓ Оценка состояния разъёмов
- ✓ Расчёт допустимого тока
- ✓ Выбор сечения проводов
- ✓ Поиск коротких замыканий
- ✓ Проверка контроллера и датчиков

Знания
двигают
дальше

ЧТО ПРОИСХОДИТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПЯЖЕНИЯ

Если сопротивление остаётся неизменным, увеличение напряжения вызывает увеличение силы тока.



меньший ток



больше тока



ещё больше тока

ЧТО ПРОИСХОДИТ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Если напряжение остаётся постоянным, увеличение сопротивления уменьшает силу тока.



Высокий ток



Средний ток



Низкий ток

КОРТОКЕ ЗАМЫКАНИЕ

Очень малое сопротивление
вызывает резкий рост тока.

- ! Большой ток
- ! Перегрев проводов
- ! Повреждение компонентов
- ! Срабатывание предохранителя
- ! Риск возгорания

ИЗМЕРЕНИЯ МУЛЬТИМЕТРОМ

Измерение
напряжения

V

Параллельно
участку цепиИзмерение
сопротивления

Ω

Только на
обесточенной цепиИзмерение
тока

A

Последовательно
в цепь

ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ

- ✗ Путать напряжение и силу тока
- ✗ Измерять сопротивление под напряжением
- ✗ Использовать неправильный режим мультиметра
- ✗ Игнорировать сопротивление контактов
- ✗ Делать выводы без измерений
- ✗ Недооценивать опасность короткого замыкания

СОВЕТ МАСТЕРА



- ✓ Сначала измерь, потом рассчитывай
- ✓ Проверь простое в первую очередь
- ✓ Используй исправный инструмент
- ✓ Убеждайся в отсутствии напряжения
- ✓ Сравнивай с исправным узлом
- ✓ Не замыкай силовые выводы аккумулятора

ГЛАВНЫЕ ВЫВОДЫ

- ✓ Закон Ома связывает напряжение, ток и сопротивление.
- ✓ Он помогает находить неисправности и понимать работу цепи.
- ✓ Применяй его вместе с измерениями и здравым смыслом.
- ✓ Это базовое знание для дальнейшего изучения электрических систем.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
ПОД КОНТРОЛЕМ

РЕМОНТИРУЙ • ОБСЛУЖИВАЙ • ДВИГАЙСЯ ДАЛЬШЕ

Глава 20. Закон Ома

Закон Ома является одним из основных инструментов электрической диагностики. Он связывает три важнейшие величины электрической цепи: напряжение, силу тока и сопротивление.

Для мастера по ремонту электротранспорта это не абстрактная формула из учебника. С её помощью можно понять, почему на одном участке цепи напряжение присутствует, а устройство не работает, почему возникают большие токи, как проявляется плохой контакт и почему короткое замыкание представляет серьёзную опасность.

При этом закон Ома нельзя рассматривать как универсальное описание любой электронной схемы. Он особенно удобен для анализа простых участков цепи и сопротивлений, а работа контроллеров и других электронных устройств требует учитывать их внутреннюю схему и режим работы.

20.1. Почему закон Ома необходим мастеру

При поиске электрической неисправности мастер должен понимать, что происходит между источником питания и потребителем.

Если мотор-колесо не запускается, причина может находиться в аккумуляторе, разъёме, проводке, контроллере, датчиках или самом двигателе. Если нагревается соединение, необходимо выяснить, связан ли нагрев с повышенным током, плохим контактом или повреждением самого соединения.

Закон Ома помогает связать результаты измерений и физическую работу цепи. Вместо предположений мастер получает возможность проверить отдельные участки системы и определить, где именно возникает проблема.

20.2. История закона Ома

Немецкий физик Георг Симон Ом исследовал зависимость между током, напряжением и сопротивлением и в 1827 году опубликовал работу, ставшую важной частью развития электротехники.

В его честь единица электрического сопротивления получила название ом и обозначается символом



Сегодня закон Ома применяется при расчётах электрических цепей, проектировании оборудования и диагностике электрических систем.

20.3. Что описывает закон Ома

Закон Ома устанавливает связь между напряжением, силой тока и сопротивлением на определённом участке электрической цепи.

Если известны две величины, при соответствующих условиях можно определить третью. Это позволяет мастеру сопоставлять измеренное напряжение и сопротивление с ожидаемым током и оценивать состояние цепи.

В простейшем виде зависимость выглядит так:

The diagram illustrates the formula for Ohm's Law: $I = \frac{U}{R}$. The variables are color-coded and linked to their units:

- I** (orange) — сила тока в амперах (A)
- U** (blue) — напряжение в вольтах (В)
- R** (green) — сопротивление в омах (Ω)

20.4. Формулы закона Ома

Из основной зависимости можно получить ещё два выражения:

$U = I \times R$	$I = \frac{U}{R}$	$R = \frac{U}{I}$
U — напряжение в вольтах (В)	I — сила тока в амперах (А)	R — сопротивление в омах (Ω)

Таким образом, одна и та же взаимосвязь позволяет рассчитывать любую из трёх величин, если две другие известны.

Например, если участок цепи имеет сопротивление 6 Ом и к нему приложено напряжение 48 В, расчётный ток при таком упрощённом условии составит:

$U = 48 \text{ В}$

$R = 6 \text{ Ω}$

$I (\text{А})$

$I = \frac{U}{R}$

I — сила тока в **амперах** (А)
 U — напряжение в **вольтах** (В)
 R — сопротивление в **омах** (Ω)

Пример расчёта

1 Подставляем значения: $I = \frac{48}{6}$

2 Выполняем деление: $I = 8$

3 Результат: $I = 8 \text{ А}$

На практике полученное значение необходимо сопоставлять с реальной характеристикой нагрузки. Электродвигатель, контроллер и другие электронные устройства не всегда можно представить как обычное постоянное сопротивление.

20.5. Как понять закон Ома без сложной математики

Для первого знакомства удобно использовать аналогию с водопроводом.

Напряжение можно условно представить как разность давлений, сила тока — как количество проходящего потока, а сопротивление — как препятствие, ограничивающее движение.

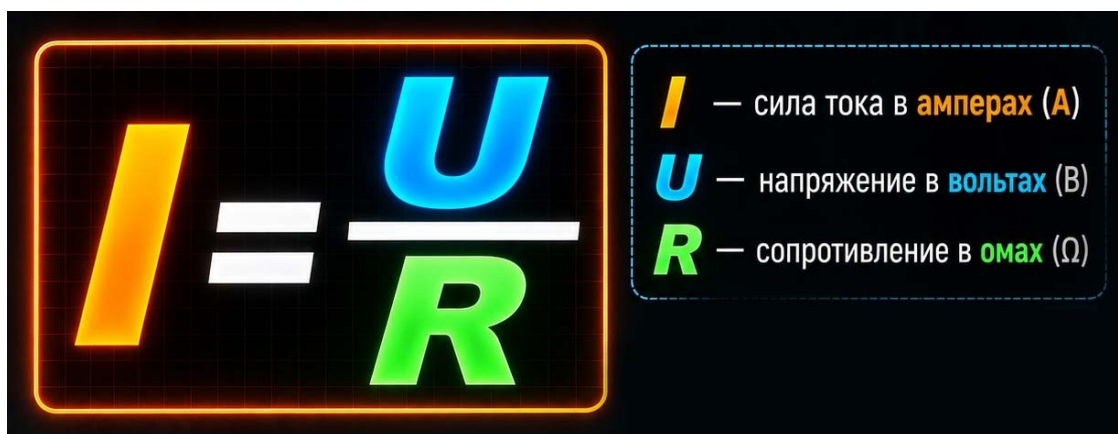
При увеличении напряжения ток в простом сопротивлении возрастает. При увеличении сопротивления при том же напряжении ток уменьшается.

Эта аналогия помогает понять общую зависимость, но не должна восприниматься как точное описание электрических процессов. Электрический ток и движение воды подчиняются разным физическим законам и механизмам.

20.6. Практический пример

Предположим, к простой нагрузке приложено напряжение 48 В, а её сопротивление составляет 12 Ом.

По закону Ома получаем:


$$I = \frac{U}{R}$$

I — сила тока в **амперах** (А)
U — напряжение в **вольтах** (В)
R — сопротивление в **омах** (Ω)

Это показывает общую зависимость: при постоянном напряжении уменьшение сопротивления приводит к увеличению тока.

Именно поэтому путь с очень малым сопротивлением, возникший при коротком замыкании, может вызвать ток, значительно превышающий штатный.

20.7. Закон Ома в электротранспорте

Во время ремонта закон Ома помогает анализировать различные участки электрической системы.

Например, мастер может оценивать состояние проводников и соединений, сравнивать сопротивление фазных обмоток двигателя, рассчитывать ток в простых нагрузках и понимать причины падения напряжения.

Особенно полезно применять эту зависимость вместе с измерениями. Само по себе найденное сопротивление ещё не говорит о конкретной неисправности. Необходимо учитывать, что именно измеряется, в каком состоянии находится цепь и какой результат должен быть у исправного узла.

При проверке мотор-колеса, например, небольшое сопротивление фазных обмоток может зависеть от конструкции двигателя и быть трудноизмеримым обычным мультимет-

ром. Поэтому обычно важнее сравнивать сопротивления соответствующих фаз между собой и дополнительно проверять отсутствие нежелательной связи обмоток с корпусом.

20.8. Что происходит при увеличении напряжения

Если сопротивление участка остаётся постоянным, увеличение напряжения приводит к увеличению тока.

Например, для одного и того же резистивного участка ток при 60 В будет выше, чем при 36 В.

Однако в электротранспорте нельзя переносить эту зависимость непосредственно на весь двигатель. При изменении напряжения меняются режимы работы контроллера, двигателя и других компонентов.

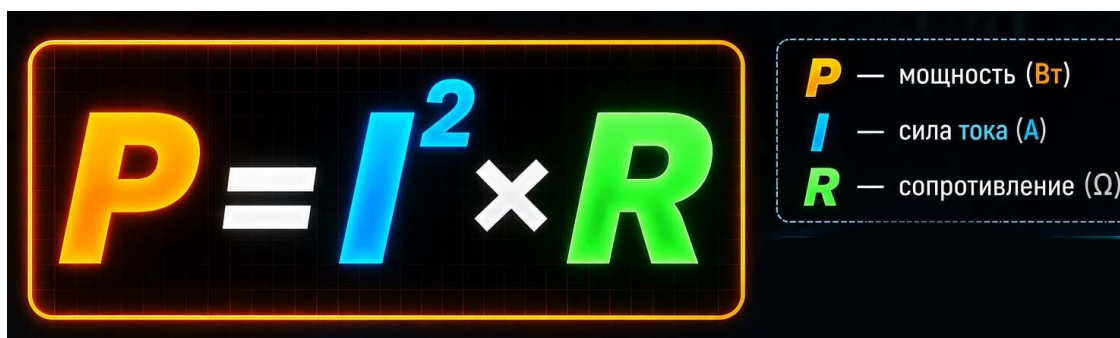
Поэтому установка аккумулятора более высокого напряжения требует проверки совместимости всей системы. Контроллер, двигатель, дисплей, зарядное устройство, проводка и защитные элементы должны быть рассчитаны на соответствующие параметры.

20.9. Что происходит при увеличении сопротивления

При постоянном напряжении увеличение сопротивления простого участка цепи уменьшает ток.

В реальной электрической системе дополнительное сопротивление часто возникает из-за окисления контактов, повреждения провода, плохого обжима или ослабленного соединения.

Здесь важно учитывать не только уменьшение тока в нагрузке, но и локальный нагрев самого дефектного соединения. Если через плохой контакт проходит значительный ток, выделение мощности на его сопротивлении может стать заметным:



The diagram features the formula $P = I^2 \times R$ in large, glowing letters (P is orange, I is blue, R is green) on a dark background with a grid. To the right, a legend box contains the following definitions:

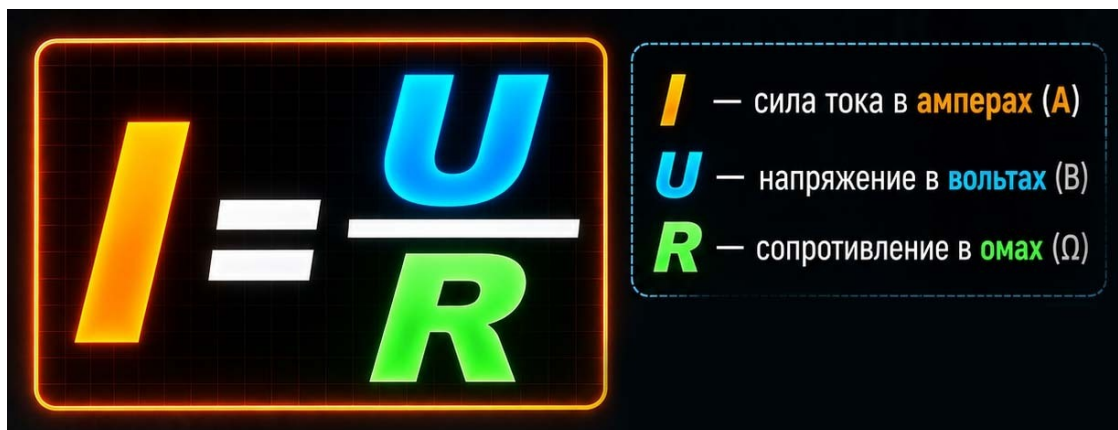
- P** — мощность (Вт)
- I** — сила тока (А)
- R** — сопротивление (Ω)

Поэтому небольшой по размерам контакт способен сильно нагреваться даже тогда, когда остальная проводка остаётся относительно холодной.

20.10. Закон Ома и короткое замыкание

При коротком замыкании между двумя точками с разным потенциалом появляется путь с очень низким сопротивлением.

В простейшей модели уменьшение сопротивления приводит к росту тока:



$I = \frac{U}{R}$

I — сила тока в **амперах (А)**
U — напряжение в **вольтах (В)**
R — сопротивление в **омах (Ω)**

Чем меньше сопротивление этого пути, тем больший ток способен протекать, если источник и его защитные устройства позволяют его обесточить.

При коротком замыкании аккумулятора возможны сильный нагрев проводников, искрение, повреждение разъёмов и электронных компонентов, разрушение элементов батареи и, в зависимости от конкретной ситуации, возгорание.

Именно поэтому при работе с аккумуляторными батареями необходимо исключать случайное соединение их силовых выводов металлическим инструментом или проводником.

20.11. Закон Ома и мультиметр

Мультиметр позволяет измерять напряжение, сопротивление, а на некоторых режимах — силу тока. Однако каждый вид измерения выполняется по своим правилам.

Напряжение измеряют между двумя точками цепи. Сопротивление измеряют на обесточенном участке, поскольку подача внешнего напряжения в режиме измерения сопротивления может привести к неправильному результату или повреждению прибора.

Измерение тока выполняется иначе: прибор включается в цепь последовательно, а не подключается непосредственно параллельно источнику питания.

Неправильно выбранный режим или положение щупов может привести к короткому замыканию через мультиметр. Поэтому перед каждым измерением необходимо проверить выбранный режим, разъём для щупа и предполагаемый способ подключения.

20.12. Типичные ошибки начинающих мастеров

Одна из распространённых ошибок — смешивать понятия напряжения, силы тока и сопротивления. На практике это приводит к неправильной интерпретации показаний мультиметра.

Опасно измерять сопротивление на цепи, которая остаётся под напряжением. Не следует и подключать мультиметр, находящийся в режиме измерения тока, непосредственно к выводам аккумулятора.

Ещё одна проблема — попытка сделать вывод о неисправности только по одному числу. Например, необычное сопротивление проводника ещё не показывает, что неисправен именно провод. Причиной может быть контакт, соединение, измерительный прибор или другая часть цепи.

При диагностике необходимо учитывать условия измерения и сравнивать полученный результат с исправным аналогичным узлом или техническими данными производителя.

Совет мастера

Закон Ома становится действительно полезным тогда, когда формула работает вместе с измерениями.

Начинайте диагностику с простых проверок: измерьте напряжение аккумулятора, проверьте основные соединения и предохранители, затем последовательно переходите к следующим участкам цепи.

При подозрении на плохой контакт ищите не только падение напряжения, но и признаки локального нагрева или повреждения соединения. А при измерении сопротивления всегда сначала убедитесь, что проверяемый участок полностью обесточен и изолирован от параллельных цепей, способных исказить результат.

Итоги главы

Закон Ома связывает напряжение, силу тока и сопротивление и даёт мастеру простой инструмент для анализа электрических цепей. Он помогает понимать причины изменения тока, оценивать падение напряжения и объяснять процессы, происходящие при плохих соединениях и коротких замыканиях.

Однако при диагностике электротранспорта одной формулы недостаточно. Контроллеры, мотор-колёса, аккумуляторные системы и другие электронные устройства имеют сложную структуру, поэтому измерения необходимо интерпретировать с учётом их принципа работы.

Главное правило хорошей диагностики — сначала измерить, затем рассчитать и только после этого делать вывод о неисправности. Такой подход позволяет отказаться от случайной замены деталей и перейти к последовательному поиску реальной причины отказа.

Глава 21

НАПРЯЖЕНИЕ

ЭНЕРГИЯ, КОТОРАЯ ДВИЖЕТ
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ

ИЗМЕРЯЙ
АНАЛИЗИРУЙ
ДИАГНОСТИРУЙ
РЕМОНТИРУЙ

Стабильное
напряжение —
надёжное
движение

48V
LITHIUM

24V 36V 48V 52V 60V 72V

48.3 V

U (V)

CONTROLER

Правильные
измерения —
верные решения

АККУМУЛЯТОР	КОНТРОЛЛЕР	ДВИГАТЕЛЬ	ДИСПЛЕЙ	ОСВЕЩЕНИЕ	ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО

БОЛЬШЕ ЗНАНИЙ — ДОЛЬШЕ В ПУТИ

Глава 21. Напряжение

Напряжение — одна из основных электрических величин, с которой мастер постоянно сталкивается при ремонте электротранспорта. По напряжению можно оценивать состояние аккумуляторной батареи, проверять питание контроллера, диагностировать зарядное устройство и искать неисправности в проводке.

Однако само наличие напряжения ещё не означает, что электрическая система исправна. Важно знать, где именно измеряется напряжение, при каких условиях и как оно изменяется под нагрузкой.

21.1. Что такое напряжение

Напряжение характеризует разность электрических потенциалов между двумя точками цепи. Оно создаёт условия для движения электрического заряда по замкнутой электрической цепи.

Единицей измерения напряжения является вольт (В).

Для мастера важно понимать, что напряжение всегда измеряется между двумя точками. Например, при проверке аккумулятора мультиметр подключают между его положительным и отрицательным выводами.

Если между точками нет соответствующей разности потенциалов, ток в простом замкнутом участке цепи не возникнет. Однако наличие напряжения на одном участке ещё не означает, что оно присутствует во всей системе.

21.2. Роль напряжения в электротранспорте

Напряжение участвует в работе практически всех электрических систем электротранспорта. От него зависят условия питания аккумулятора, контроллера, мотор-колеса, центрального двигателя, дисплея, освещения и различных преобразователей.

Каждый компонент рассчитан на определённый диапазон напряжения. Например, контроллер для 48-вольтовой системы нельзя автоматически считать совместимым с батареей другого номинала.

При замене аккумулятора необходимо учитывать не только его ёмкость, но и рабочее напряжение, максимальное напряжение после полной зарядки и совместимость с контроллером, BMS и зарядным устройством.

Подача недопустимого напряжения способна привести к неправильной работе или повреждению электронных компонентов.

21.3. Источник напряжения

Основным источником электрической энергии в автономном электротранспорте является аккумуляторная батарея.

Между её положительным и отрицательным выводами существует разность потенциалов. После подключения электрической нагрузки и замыкания цепи возникает ток, благодаря которому могут работать контроллер, двигатель и другие потребители.

Во время зарядки направление передачи энергии изменяется: зарядное устройство передаёт энергию аккумуляторной батарее.

При этом зарядное устройство не просто «подаёт напряжение в батарею». Оно формирует соответствующий режим зарядки, а система управления батареей контролирует её состояние в соответствии с конструкцией конкретного аккумулятора.

21.4. Номинальное, максимальное и минимальное напряжение

При работе с аккумуляторами необходимо различать несколько значений напряжения.

Номинальное напряжение — условное значение, которое используется для обозначения системы и её совместимости с оборудованием.

Максимальное напряжение — значение, которого батарея достигает при полном заряде. Оно зависит от химии аккумулятора и количества последовательно соединённых элементов.

Минимальное рабочее напряжение определяется характеристиками конкретной батареи и системы управления. Глубокий разряд литий-ионных элементов может привести к их повреждению, поэтому BMS и контроллеры предусматривают защиту от чрезмерного разряда.

Например, аккумулятор, обозначенный как 48 В, не имеет постоянного напряжения ровно 48 В. Это номинальное значение. В полностью заряженном состоянии напряжение будет выше, а по мере разряда — снижаться.

Поэтому при диагностике нельзя оценивать состояние батареи только по тому, совпадает ли измеренное значение с её номиналом.

21.5. Наиболее распространённые напряжения

В электротранспорте можно встретить системы с номинальным напряжением 24, 36, 48, 52, 60 и 72 В.

Выбор напряжения зависит от конструкции транспортного средства и требуемых характеристик силовой системы.

При этом номинальное напряжение не определяет мощность транспортного средства самостоятельно. Для оценки системы необходимо учитывать также ток, мощность контроллера и двигателя, ёмкость батареи и другие параметры.

Поэтому два электровелосипеда с одинаковым номинальным напряжением аккумулятора могут существенно отличаться по динамике и другим характеристикам.

21.6. Как напряжение влияет на работу транспорта

Для заданной электрической мощности увеличение напряжения позволяет передавать её при меньшем токе:


$$P = U \times I$$

Например, при одинаковой мощности система с более высоким напряжением может работать с меньшим током. Это позволяет уменьшить потери в проводниках и нагрев при прочих равных условиях.

Однако повышение напряжения само по себе не гарантирует увеличение скорости или запаса хода.

На работу электротранспорта влияют характеристики двигателя и контроллера, ёмкость и состояние аккумулятора, масса транспортного средства и водителя, диаметр колеса, давление в шинах, дорожные условия и выбранный режим движения.

Поэтому при модернизации нельзя просто установить батарею с более высоким напряжением и ожидать пропорционального увеличения характеристик. Необходимо проверить совместимость всей электрической системы.

21.7. Измерение напряжения

Для измерения постоянного напряжения используют мультиметр, установленный в соответствующий режим DC V.

Перед измерением необходимо убедиться, что щупы подключены к правильным гнездам прибора, выбран подходящий диапазон и известно, между какими точками необходимо выполнить измерение.

Напряжение измеряют параллельно исследуемому участку цепи. В отличие от измерения тока, разрывать цепь для обычного измерения напряжения не требуется.

Например, при проверке аккумулятора один щуп подключают к положительному выводу, другой — к отрицательному.

При измерении постоянного напряжения также необходимо учитывать полярность. Если щупы поменять местами, многие цифровые мультиметры покажут то же значение со знаком «минус».

21.8. Падение напряжения

При прохождении тока через проводник или соединение часть напряжения теряется из-за его сопротивления. Это явление называется падением напряжения.

Небольшое падение является нормальным, но чрезмерное может указывать на проблему.

Причиной могут быть окисленные контакты, повреждённый провод, плохой обжим, ослабленное соединение или недостаточное сечение проводника для конкретной нагрузки.

Особенно хорошо подобные неисправности проявляются под нагрузкой. На отключённой системе контакт может казаться исправным, а при включении мощного потребителя напряжение на нём начинает заметно падать.

При значительном падении напряжения двигатель может терять мощность, контроллер может переходить в защитный режим, а проблемное соединение — нагреваться.

21.9. Перенапряжение

Перенапряжение возникает, когда на компонент подаётся напряжение, превышающее допустимое для его конструкции.

Причиной может стать несовместимый аккумулятор, неисправность зарядного устройства, ошибка при модернизации или неисправность системы управления.

Электронные компоненты особенно чувствительны к превышению допустимого напряжения. В зависимости от конструкции могут выйти из строя контроллер, дисплей, преобразователь, освещение или другие устройства.

Поэтому перед подключением нового компонента необходимо проверить его рабочий диапазон, а не ориентироваться только на внешний вид разъёма.

21.10. Недостаточное напряжение

Слишком низкое напряжение также способно нарушить работу электрической системы.

При разряженной батарее или большом падении напряжения под нагрузкой двигатель может потерять мощность, контроллер — перейти в защитный режим, а дисплей или другое оборудование — отключиться.

Однако такие симптомы не всегда означают неисправность аккумулятора. Причиной может быть плохой контакт, повреждённый провод, неисправность силового разъёма или другая проблема в цепи.

Поэтому напряжение необходимо измерять в нескольких точках и, при необходимости, сравнивать его без нагрузки и под нагрузкой.

21.11. Диагностика напряжения

При диагностике электрической системы полезно двигаться от источника питания к потребителю.

Сначала проверяют напряжение аккумуляторной батареи. Затем, если конструкция это позволяет, проверяют наличие питания после выключателя или замка зажигания и на входе контроллера.

Если система оснащена отдельным зарядным устройством, проверяют его выходные параметры в соответствии с инструкцией производителя.

Особенно информативно сравнение напряжения в разных точках цепи при включённой нагрузке. Если на аккумуляторе напряжение сохраняется, а на входе контроллера значительно меньше, необходимо искать проблему между этими точками.

Такой подход позволяет постепенно локализовать неисправность, не заменяя исправные компоненты.

21.12. Типичные ошибки начинающих мастеров

Одна из опасных ошибок — измерение напряжения мультиметром, установленным не в тот режим. Перед подключением щупов необходимо проверить положение переключателя и гнезда прибора.

Не следует делать вывод о состоянии аккумулятора только по одному измерению без нагрузки. Батарея может показывать нормальное напряжение в состоянии покоя, но сильно проседать при включении мощного потребителя.

Также нельзя путать номинальное напряжение с фактическим напряжением полностью заряженной батареи.

Ещё одна ошибка — игнорирование падения напряжения на проводах и соединениях. Если мастер измеряет только аккумулятор и непосредственно мотор, он может не заметить проблему в промежуточном участке цепи.

Наконец, нельзя подключать аккумулятор к оборудованию только потому, что разъём физически подходит. Необходимо проверить напряжение и электрическую совместимость.

Совет мастера

При подозрении на проблему с аккумулятором измерьте его напряжение сначала в состоянии покоя, а затем наблюдайте за ним во время работы системы.

Если напряжение заметно проседает при включении двигателя, это ещё не является доказательством неисправности батареи. Необходимо исключить плохие контакты, проводку и другие причины.

Если же напряжение батареи действительно сильно падает под нагрузкой, дальнейшую диагностику уже следует проводить с учётом состояния элементов аккумулятора, BMS и силовых соединений.

Итоги главы

Напряжение является одной из основных характеристик электрической системы электротранспорта. Оно определяет условия работы аккумулятора, контроллера, двигателя, освещения и других компонентов.

Для мастера особенно важно понимать разницу между номинальным и фактическим напряжением, правильно измерять постоянное напряжение мультиметром и учитывать его изменение под нагрузкой.

Грамотная диагностика заключается не в поиске одного «правильного числа», а в сравнении напряжений в разных точках цепи и при разных режимах работы. Такой подход позволяет обнаруживать падение напряжения, проблемы с контактами и неисправности источника питания ещё до замены дорогостоящих компонентов.

Глава 22

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

ПОТОК ЭНЕРГИИ,
КОТОРЫЙ
ДВИЖЕТ
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ

БОЛЬШЕ
ПОНИМАНИЯ
БОЛЬШЕ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ

ТОК
создаёт
движение

ИЗМЕРЯЙ
АНАЛИЗИРУЙ
РЕМОНТИРУЙ

48V
LITHIUM

32.6 A

CONTROLLER

АККУМУЛЯТОР

КОНТРОЛЛЕР

ДВИГАТЕЛЬ

ОСВЕЩЕНИЕ

ДИСПЛЕЙ

ЗАЩИТА

НАДЁЖНЫЙ ТРАНСПОРТ — В ТВОИХ РУКАХ

Глава 22. Электрический ток

Электрический ток — один из основных процессов, благодаря которым электрическая энергия передаётся от источника питания к потребителям. В электротранспорте ток проходит через силовые цепи аккумулятора, контроллера, двигателя, системы освещения и других устройств.

Для мастера важно понимать не только величину тока, но и причины её изменения. Повышенный ток может быть нормальным явлением при разгоне или движении в гору, но в некоторых случаях он указывает на короткое замыкание, механическое сопротивление, неисправность двигателя или перегрузку аккумулятора.

Поэтому при диагностике необходимо рассматривать ток вместе с напряжением, нагрузкой и состоянием механической части.

22.1. Что такое электрический ток

Электрический ток — это упорядоченное движение электрических зарядов под действием электрического поля.

Сила тока показывает, какое количество электрического заряда проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени. Единицей измерения является ампер (А).

В электротранспорте ток обеспечивает передачу энергии от аккумуляторной батареи к контроллеру, двигателю и другим потребителям.

Важно различать ток и энергию. Большой ток при одинаковом напряжении означает большую электрическую мощность:


$$P = U \times I$$

Поэтому увеличение тока обычно сопровождается увеличением мощности, передаваемой нагрузке, но одновременно возрастает и тепловая нагрузка на проводники и соединения.

22.2. Как возникает ток

Для возникновения тока в простой электрической цепи необходим источник энергии, замкнутый путь для движения заряда и подключённая нагрузка.

В электротранспорте аккумулятор создаёт электрическое напряжение, проводники и соединения образуют путь для тока, а контроллер, двигатель, освещение и другие устройства являются элементами электрической нагрузки.

Если цепь разорвана, нормальный ток в этом участке прекращается. При этом наличие напряжения на разомкнутых контактах всё ещё возможно.

Именно поэтому при диагностике необходимо различать наличие напряжения и протекание тока. Это разные параметры, измеряемые разными способами.

22.3. Постоянный ток

Аккумуляторная батарея электротранспорта является источником постоянного напряжения. Поэтому силовая система обычно получает от неё электрическую энергию в форме постоянного тока.

Постоянное напряжение используется в цепях питания контроллера, освещения, дисплея и различных электронных устройств.

В бесщёточных двигателях ситуация несколько сложнее. Контроллер получает постоянное напряжение от аккумулятора, а затем электронным способом коммутирует ток в фазных обмотках двигателя в соответствии с алгоритмом управления. Поэтому неправильно представлять работу мотор-колеса как простую подачу постоянного тока непосредственно на двигатель.

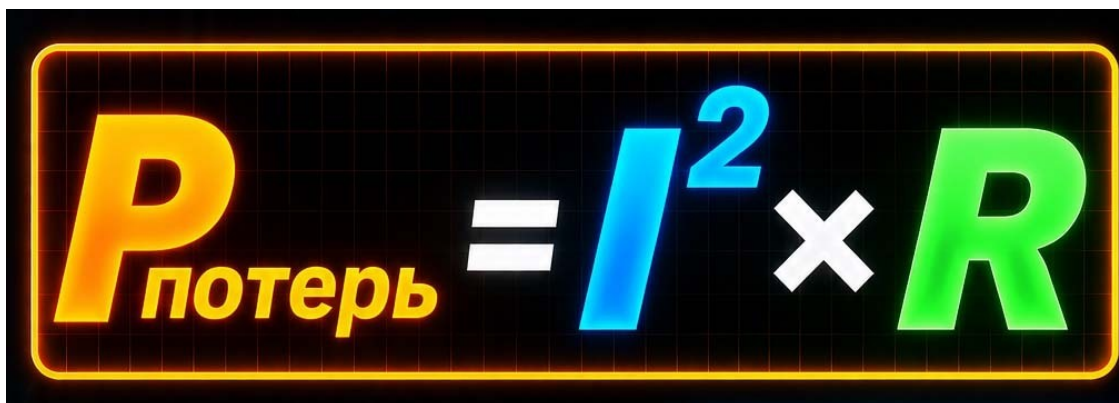
Для мастера это различие имеет практическое значение при диагностике фазных проводов и управляющих сигналов.

22.4. Сила тока

Сила тока характеризует количество электрического заряда, проходящего через проводник за единицу времени.

При увеличении тока возрастает электрическая мощность при неизменном напряжении. Одновременно увеличиваются потери энергии на сопротивлении проводников и соединений.

Для участка цепи тепловые потери можно описать зависимостью:


$$P_{\text{потерь}} = I^2 \times R$$

Именно квадрат тока показывает, почему сильный рост нагрузки может резко увеличить нагрев проводов, разъемов и других элементов.

22.5. Почему большой ток опасен

Проводник рассчитан на определённую нагрузку. Если через него длительное время проходит ток, превышающий допустимый, выделяется избыточное тепло.

В результате может произойти перегрев провода, размягчение или разрушение изоляции, оплавление разъёма и повреждение электронных компонентов.

При серьёзном коротком замыкании ток может достигать очень больших значений. В аккумуляторной системе это особенно опасно, поскольку батарея способна отдать значительную энергию за короткое время.

Поэтому при проектировании и ремонте необходимо учитывать допустимый ток проводов, разъемов, предохранителей, контроллера и аккумуляторной батареи.

22.6. Рабочий и пиковый ток

В характеристиках электрического оборудования можно встретить значения рабочего и пикового тока.

Рабочий ток — ток, на который рассчитана система в определённом продолжительном режиме при соблюдении условий эксплуатации.

Пиковый ток — кратковременное значение, которое система способна выдержать или обеспечить в течение ограниченного времени.

Например, при разгоне или резком увеличении нагрузки двигатель может потреблять значительно больший ток, чем при равномерном движении по ровной дороге.

Нельзя сравнивать пиковый ток разных компонентов без понимания условий измерения. Производители могут указывать максимальный ток контроллера, батареи или двигателя по разным методикам.

22.7. Ток и аккумулятор

Аккумуляторная батарея имеет ограничения по току отдачи. Они определяются характеристиками её элементов, конфигурацией батареи, системой BMS, проводкой и другими компонентами.

Если контроллер требует ток, превышающий возможности аккумулятора, могут возникнуть просадка напряжения, нагрев элементов и срабатывание защиты BMS.

При длительной эксплуатации в чрезмерно тяжёлом режиме возрастает нагрузка на аккумулятор и может сокращаться его ресурс.

Поэтому установка контроллера с большим током требует проверки всей силовой системы. Недостаточно убедиться только в том, что новый контроллер физически подходит к двигателю.

22.8. Ток и двигатель

Потребляемый двигателем ток зависит от режима работы и нагрузки.

При разгоне, движении в гору или перевозке большого груза потребление обычно увеличивается. На него также влияют масса системы, скорость, сопротивление качению, давление в шинах, дорожное покрытие, ветер и техническое состояние механической части.

Например, двигатель может потреблять повышенный ток не из-за неисправности электроники, а потому, что тормозной механизм подклинивает или подшипник создаёт повышенное сопротивление.

Поэтому при диагностике высокого тока необходимо проверять как электрическую, так и механическую часть.

22.9. Ток и проводка

При выборе проводника необходимо учитывать предполагаемый ток, длину кабеля, условия прокладки, допустимое падение напряжения и способ охлаждения.

Слишком тонкий или слишком длинный провод при большой нагрузке имеет повышенное сопротивление. Это приводит к падению напряжения и увеличению тепловых потерь.

Особенно внимательно следует проверять силовые соединения аккумулятора, контроллера и двигателя. Даже провод достаточного сечения не решает проблему, если его контакт с разъёмом выполнен плохо.

При ремонте необходимо использовать провод и соединители, рассчитанные на фактическую нагрузку конкретной системы.

22.10. Измерение силы тока

Силу тока можно измерять мультиметром или токовыми клещами.

При измерении обычным мультиметром прибор включается последовательно с нагрузкой. Это принципиально отличается от измерения напряжения, которое выполняется параллельно.

Перед подключением необходимо проверить максимальный допустимый ток прибора и выбранный режим. Неправильное подключение мультиметра в режиме измерения тока непосредственно к аккумулятору может создать практически короткое замыкание через измерительную цепь.

Токовые клещи позволяют измерять ток без разрыва цепи. Это особенно удобно при диагностике силовых проводов, поскольку не требуется отключать провод и включать мультиметр последовательно.

22.11. Предохранители

Предохранитель предназначен для защиты электрической цепи от чрезмерного тока. При превышении установленного значения его защитный элемент разрушается и разрывает цепь.

Номинал предохранителя выбирается с учётом защищаемого участка. Установка предохранителя большего номинала без соответствующего расчёта может лишить цепь необходимой защиты.

Если предохранитель регулярно перегорает, его нельзя просто заменять всё более мощным. Необходимо найти причину повышенного тока — короткое замыкание, повреждение проводки или неисправность потребителя.

22.12. Диагностика

Измерение тока помогает определить характер неисправности, но само по себе не всегда позволяет установить её причину.

Если двигатель потребляет необычно большой ток, необходимо сопоставить этот показатель с условиями работы. Следует учитывать нагрузку, скорость, напряжение батареи и состояние механической части.

При диагностике можно проверить ток двигателя в разных режимах, оценить ток зарядного устройства, осмотреть силовые соединения и обратить внимание на нагрев проводов и разъёмов.

Полезно одновременно контролировать напряжение. Если при увеличении нагрузки ток возрастает, а напряжение батареи резко проседает, необходимо исследовать аккумулятор, BMS и силовые соединения.

22.13. Типичные неисправности, связанные с током

Повышенный или нестабильный ток может сопровождать короткое замыкание, неисправность двигателя или контроллера, механическое подклинивание, повреждение проводки и плохой контакт.

В некоторых случаях проблема проявляется нагревом разъёмов или проводов. Если контакт имеет повышенное сопротивление, при прохождении большого тока на нём выделяется значительное количество тепла.

Срабатывание защиты BMS также не всегда означает неисправность самой BMS. Она может отключать батарею из-за чрезмерного тока, короткого замыкания или другого режима, который система считает опасным.

Поэтому при срабатывании защиты необходимо сначала определить причину, а не просто пытаться отключить защиту.

22.14. Типичные ошибки начинающих мастеров

Одна из самых опасных ошибок — измерять ток так же, как напряжение. Подключение мультиметра в режиме измерения тока параллельно аккумулятору может привести к короткому замыканию через прибор.

Нельзя превышать допустимый ток измерительного прибора или использовать неподходящий диапазон.

Не следует устанавливать предохранитель большего номинала только потому, что штатный постоянно перегорает. Повторное перегорание — повод искать неисправность.

Также опасно использовать провод недостаточного сечения или делать вывод о неисправности контроллера только по повышенному потреблению двигателя.

Совет мастера

Если двигатель начал потреблять значительно больше тока, чем обычно, сначала исключите механическое сопротивление.

Проверьте свободное вращение колеса, состояние тормозов, давление в шине, подшипники, редуктор при его наличии и отсутствие постороннего трения.

Если механическая часть исправна, переходите к электрической диагностике: измерьте напряжение батареи под нагрузкой, проверьте силовые соединения и только после этого оценивайте работу контроллера и двигателя.

Повышенный ток — это симптом, а не готовый диагноз.

Итоги главы

Электрический ток является важнейшим параметром силовой системы электротранспорта. Его величина зависит от напряжения, сопротивления и характера нагрузки, а в реальной системе — также от работы контроллера, двигателя и аккумуляторной батареи.

Понимание рабочего и пикового тока помогает правильно оценивать возможности компонентов, выбирать проводку и защитные устройства. Не менее важно уметь безопасно измерять ток и отличать электрическую перегрузку от повышенного потребления, вызванного механическим сопротивлением.

Грамотная диагностика должна учитывать ток, напряжение и нагрузку одновременно. Такой подход позволяет определить причину перегрева, срабатывания защиты, падения мощности и других неисправностей, не прибегая к случайной замене исправных компонентов.

Глава 23

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ

ЭНЕРГИЯ В ДВИЖЕНИИ

$$P = U \times I$$

P — мощность (Вт)
 U — напряжение (В)
 I — сила тока (А)

48V LITHIUM

48.2 V
20.5 A
988 W

1000W

E-POWER

CONTROLLER

BATTERY — CONTROLLER — MOTOR

М

АККУМУЛЯТОР

КОНТРОЛЛЕР

ДВИГАТЕЛЬ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ

БОЛЬШЕ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Глава 23. Электрическая мощность

23.1. Что такое мощность

Электрическая мощность характеризует скорость, с которой электрическая энергия передаётся или преобразуется в цепи. Проще говоря, она показывает, сколько энергии система способна преобразовать за единицу времени. Мощность измеряется в ваттах (Вт).

В электротранспорте мощность имеет большое значение при оценке работы двигателя, контроллера, зарядного устройства и других компонентов. Однако одна только мощность не позволяет полностью определить возможности электровелосипеда или электросамоката. На динамику разгона, максимальную скорость и способность преодолевать подъёмы влияют также напряжение, сила тока, характеристики двигателя, диаметр колеса, передаточное отношение, масса транспортного средства и водителя, состояние аккумулятора и дорожные условия.

Поэтому при диагностике или модернизации электротранспорта мощность необходимо рассматривать не отдельно, а во взаимосвязи с остальными параметрами системы.

23.2. Что означает мощность двигателя

Если производитель указывает для двигателя значение 250, 500 или 1000 Вт, необходимо понимать, в каком режиме получено это значение. Чаще всего речь идёт о номинальной мощности, то есть о параметре, который характеризует работу двигателя в установленном производителем длительном режиме при определённых условиях охлаждения и нагрузки.

Номинальная мощность не означает, что двигатель постоянно потребляет именно это количество энергии. Фактическая электрическая мощность изменяется в процессе движения. При разгоне, подъёме или увеличении нагрузки потребление может существенно возрастать, а при движении с небольшой нагрузкой — снижаться.

Отдельно может указываться пиковая мощность. Она характеризует кратковременный режим, в котором двигатель способен развивать более высокую мощность при наличии достаточного тока со стороны контроллера и аккумулятора. Конкретная продолжительность такого режима зависит от конструкции двигателя, температуры, настроек контроллера и других условий.

Поэтому сравнивать двигатели только по указанным на корпусе или в рекламе значениям мощности неправильно. Необходимо учитывать весь силовой комплект.

23.3. Формула электрической мощности

Для постоянного тока электрическая мощность определяется формулой:


$$P = U \times I$$

Это значение характеризует электрическую мощность, поступающую в систему при указанных условиях. Оно не означает, что двигатель механически выдаёт на колесе те же 960 Вт: часть энергии расходуется на потери в контроллере, проводах и самом электродвигателе.

23.4. Номинальная и пиковая мощность

Разница между номинальной и пиковой мощностью особенно важна при диагностике электротранспорта.

Номинальная мощность относится к установленному рабочему режиму двигателя. Пиковая характеризует более высокую нагрузку, которую система может развить в течение ограниченного времени. Например, двигатель с номинальной мощностью 500 Вт при определённых условиях способен кратковременно потреблять от источника значительно больше энергии.

Фактическая пиковая мощность зависит не только от двигателя. Её ограничивают возможности контроллера, аккумуляторной батареи, BMS, проводки и разъёмов. Если один из элементов системы не способен безопасно передать необходимый ток, увеличение мощности двигателя само по себе не даст ожидаемого результата.

При длительной работе с высокой нагрузкой возрастает тепловая нагрузка на обмотки двигателя, силовые элементы контроллера, аккумулятор и соединения. Поэтому кратковременная возможность развить высокую мощность не означает, что система рассчитана на постоянную работу в таком режиме.

23.5. Мощность аккумуляторной батареи

Аккумуляторная батарея является источником электрической энергии, а отдаваемая ею мощность зависит прежде всего от напряжения и тока нагрузки:

Например, батарея с номинальным напряжением 48 В при токе нагрузки 20 А отдаёт в данный момент около 960 Вт электрической мощности на вход силовой системы. При этом фактическое напряжение батареи изменяется в зависимости от степени заряда и нагрузки.

Возможность аккумулятора отдавать высокий ток определяется не только его ёмкостью в ампер-часах. Имеют значение химия и конструкция элементов, их состояние, конфигурация батареи, BMS, допустимый ток разряда и условия охлаждения.

Если контроллер требует больше тока, чем батарея или BMS способны безопасно предоставить, система может ограничить мощность или отключить питание. Поэтому аккумулятор, контроллер и двигатель должны рассматриваться как единая система.

23.6. Мощность контроллера

Контроллер регулирует подачу электрической энергии к двигателю и определяет многие параметры его работы. Возможности контроллера зависят от рабочего напряжения, допустимого тока, алгоритма управления и настроек.

При выборе контроллера необходимо убедиться, что он совместим с напряжением аккумулятора и характеристиками двигателя. Не менее важно проверить, способен ли аккумулятор и вся силовая проводка выдержать ток, который контроллер способен потреблять.

Установка контроллера с более высоким токовым пределом не всегда означает пропорциональное увеличение мощности. Ограничение может находиться в аккумуляторе, BMS, проводах, разъёмах или самом двигателе. Если эти элементы не рассчитаны на повышенную нагрузку, возрастает риск перегрева и повреждения оборудования.

23.7. Мощность зарядного устройства

Зарядное устройство также характеризуется электрической мощностью. Для зарядного устройства постоянного тока она приблизительно определяется произведением выходного напряжения на максимальный зарядный ток.

Например, зарядное устройство с выходом 54,6 В и током 2 А имеет максимальную выходную мощность около 109 Вт.

Более мощное зарядное устройство действительно может сократить время зарядки, но только в том случае, если аккумуляторная батарея и её система управления рассчитаны на соответствующий зарядный ток. Использовать зарядное устройство только потому, что оно имеет подходящий разъём, нельзя. Необходимо проверить напряжение, тип батареи и допустимый ток зарядки.

Особенно важно не превышать предусмотренное производителем напряжение заряда: для литиевых аккумуляторов это принципиальный параметр безопасности.

23.8. Куда расходуется мощность

Электрическая энергия, поступающая от аккумулятора, не превращается целиком в полезную механическую работу на колесе. Часть энергии рассеивается в виде тепла в проводах, разъёмах, контроллере и обмотках двигателя.

Кроме электрических потерь существуют механические потери. Энергия расходуется на преодоление сопротивления подшипников, трансмиссии и качения шин, а при движении на высокой скорости значительная часть мощности уходит на сопротивление воздуха.

Поэтому мощность, которую потребляет система от аккумулятора, и механическая мощность на колесе — не одно и то же. Чем выше электрические и механические потери, тем меньшая часть энергии источника превращается в полезное движение.

23.9. Почему высокая мощность не всегда означает высокую скорость

Распространённая ошибка — считать, что двигатель большей мощности обязательно обеспечит более высокую максимальную скорость.

На практике скорость зависит от совокупности характеристик. Важны напряжение системы, оборотные характеристики двигателя, настройки контроллера, диаметр колеса, нагрузка, аэродинамическое сопротивление и передаточное отношение, если оно используется.

Дополнительная мощность особенно заметна при разгоне и движении под нагрузкой. Она позволяет системе дольше сохранять скорость на подъёме и эффективнее преодолевать сопротивление движению. Однако увеличение мощности не гарантирует пропорционального увеличения максимальной скорости.

23.10. Перегрузка двигателя

Двигатель способен работать только в определённом диапазоне температур и нагрузок. Если длительное время требовать от него больше мощности, чем предусмотрено конструкцией и условиями охлаждения, температура обмоток может значительно повыситься.

Сильный нагрев способен ускорить старение изоляции обмоток, ухудшить состояние подшипников и в некоторых конструкциях привести к повреждению магнитов. Одновременно возрастает тепловая нагрузка на контроллер и аккумуляторную батарею.

Некоторые контроллеры оборудованы температурной защитой и при достижении заданного порога ограничивают ток или отключают силовую часть. Однако наличие такой защиты не означает, что перегрев можно считать нормальным режимом эксплуатации. Защита должна предотвращать повреждение, а не заменять правильный подбор компонентов и соблюдение допустимой нагрузки.

23.11. Диагностика мощности

При диагностике недостаточной мощности необходимо сначала определить, на каком участке системы возникает ограничение.

Например, если электровелосипед стал заметно хуже разгоняться, нельзя сразу делать вывод о неисправности двигателя. Причиной может быть снижение напряжения аккумулятора под нагрузкой, ограничение BMS, неисправность контроллера, плохой контакт в силовом разъёме, повреждение проводки или механическое сопротивление со стороны колеса и трансмиссии.

Поэтому проверку следует проводить последовательно: оценить состояние аккумулятора и его напряжение под нагрузкой, проверить соединения и проводку, определить фактический ток, проверить работу контроллера и только после этого делать вывод о состоянии двигателя.

Особенно полезно сравнивать измеренные значения с характеристиками исправной системы или данными производителя. Одно измерение само по себе редко позволяет точно определить причину неисправности.

23.12. Типичные ошибки начинающих мастеров

Начинающий мастер может принять напряжение за мощность, считать указанную на двигателе мощность его постоянным потреблением или выбирать контроллер только по желаемому увеличению мощности.

Не менее опасна установка контроллера с большим токовым пределом без проверки аккумулятора, BMS, проводов и разъёмов. Даже если система некоторое время работает, чрезмерная нагрузка может привести к сильному нагреву и последующему повреждению компонентов.

Ещё одна распространённая ошибка — оценивать двигатель только по числу ватт. Для практической диагностики необходимо учитывать напряжение системы, ток, характеристики двигателя, температуру, механическую нагрузку и состояние аккумулятора.

Совет мастера

При модернизации электротранспорта необходимо рассматривать силовую систему целиком. Увеличение мощности двигателя или установка более мощного контроллера имеет смысл только тогда, когда аккумулятор, BMS, проводка, разъёмы и система охлаждения способны работать с новой нагрузкой.

Если хотя бы один из элементов оказывается слабее остальных, именно он становится ограничивающим звеном системы. Поэтому грамотная модернизация начинается не с покупки более мощного двигателя, а с проверки совместимости всех компонентов.

Итоги главы

Электрическая мощность показывает скорость передачи или преобразования энергии и связана с напряжением и силой тока. Для постоянного тока основная расчётная зависимость выражается формулой


$$P = U \times I$$

Для мастера важно понимать разницу между электрической мощностью, потребляемой от аккумулятора, и механической мощностью, передаваемой двигателем на колесо. Между ними существуют электрические и механические потери.

Правильная оценка мощности позволяет грамотнее подбирать двигатель, контроллер, аккумулятор и зарядное устройство, а также находить причины перегрева, падения динамики и других неисправностей. При этом мощность нельзя рассматривать изолированно: надёжность электротранспорта определяется согласованной работой всей системы.

Глава 24

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

БОЛЬШЕЕ НАПЯЖЕНИЕ —
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

РЕМОНТ
СЕГОДНЯ —
БОЛЬШЕ
КИЛОМЕТРОВ
ЗАВТРА

Одна цепь —
большая
энергия

- ⚡ ПРИНЦИП РАБОТЫ
- 🔋 СБОРКА АККУМУЛЯТОРОВ
- ⚙️ ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ
- 🛡️ БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ

Последовательно —
значит сильнее

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

3.7V 3.7V 3.7V 3.7V 3.7V 3.7V 3.7V 3.7V 3.7V

Напряжение складывается
Ёмкость остаётся той же

ЗНАНИЯ
РЕМОНТ
ДВИЖЕНИЕ
ДАЛЬШЕ

НАДЕЖНЫЙ ТРАНСПОРТ — В ТВОИХ РУКАХ

Глава 24. Последовательное соединение

24.1. Что такое последовательное соединение

Последовательное соединение — это способ подключения электрических элементов, при котором они образуют одну общую цепь. Ток проходит через элементы последовательно, поэтому разрыв цепи в одном из её участков влияет на работу всей системы.

Для электротранспорта этот принцип особенно важен при устройстве аккумуляторных батарей. Последовательно соединённые элементы позволяют получить напряжение значительно выше напряжения одного элемента. Именно поэтому из отдельных литий-ионных ячеек собирают батареи, рассчитанные на 36, 48, 52, 60 В и другие значения.

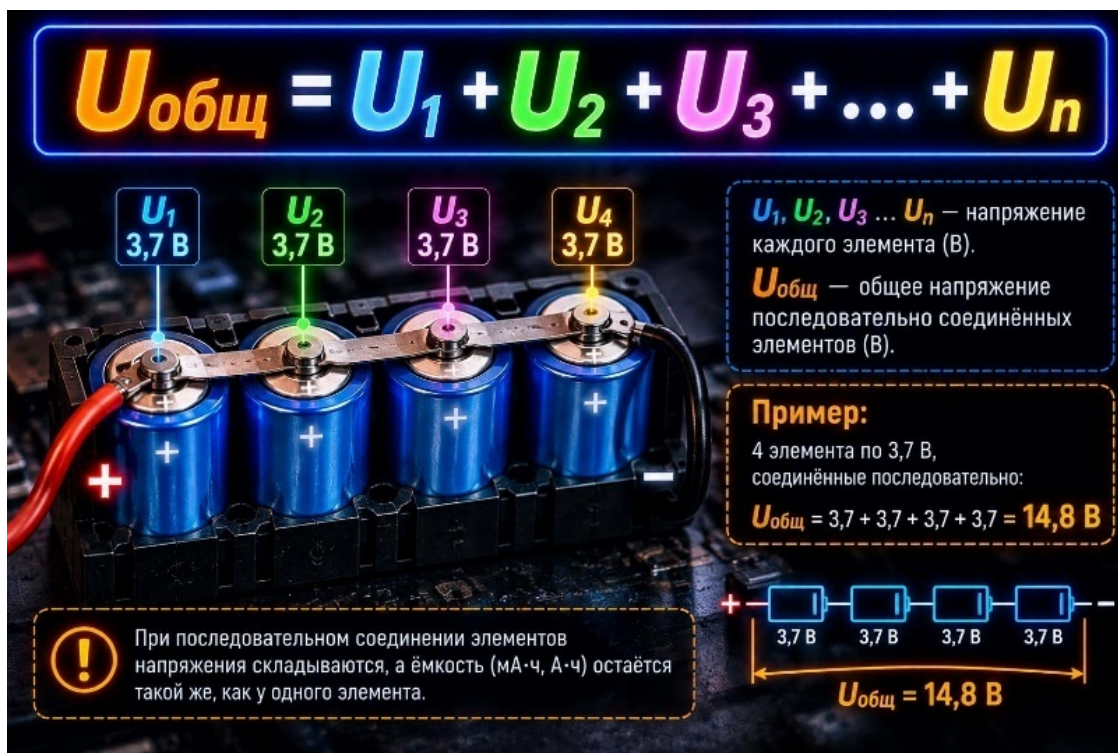
Понимание последовательного соединения необходимо мастеру при диагностике аккумуляторных батарей, электрических цепей и электронных узлов.

24.2. Основной принцип работы

У последовательной цепи есть несколько характерных особенностей. Через все элементы проходит один и тот же ток, а напряжение распределяется между ними. При последовательном соединении источников их напряжения складываются, а при последовательном соединении резисторов складываются сопротивления.

Например, если несколько аккумуляторных элементов имеют номинальное напряжение около 3,6–3,7 В, их последовательное соединение позволяет получить значительно более высокое напряжение всей батареи.

Общее напряжение такой цепочки можно приблизительно определить как:



Для резисторов действует аналогичная зависимость:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Пример:
4 резистора по 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом и 40 Ом, соединённые последовательно:

$R_{\text{общ}} = 10 + 20 + 30 + 40 = 100 \text{ Ом.}$

$R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ — сопротивление каждого резистора (Ом).

$R_{\text{общ}}$ — общее сопротивление последовательно соединённых резисторов (Ом).

При последовательном соединении резисторов их сопротивления складываются, а ток во всех элементах одинаковый.

24.3. Последовательное соединение аккумуляторных элементов

Один из наиболее наглядных примеров последовательного соединения — тяговая батарея электрического велосипеда или самоката.

Номинальное напряжение одного литий-ионного элемента обычно составляет около 3,6–3,7 В, хотя конкретное значение зависит от типа используемого элемента. Соединяя несколько элементов последовательно, получают требуемое номинальное напряжение батареи.

Например, конфигурации с 10, 13, 14, 16 или 20 последовательными группами могут соответствовать системам примерно 36, 48, 52, 60 и 72 В соответственно. Точное напряжение полностью заряженной батареи будет выше номинального и зависит от типа химии и конкретных элементов.

При последовательном соединении напряжение увеличивается, а ёмкость в ампер-часах одной последовательной цепочки сама по себе не складывается. Если последовательно соединены одинаковые элементы одинаковой ёмкости, ёмкость всей цепочки в А·ч остаётся примерно равной ёмкости одного элемента.

24.4. Последовательное соединение резисторов

Последовательно можно соединять не только аккумуляторы, но и резисторы.

В такой цепи через каждый резистор проходит один и тот же ток, а общее сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных компонентов. Напряжение источника распределяется между резисторами в зависимости от их сопротивления.

Например, при последовательном соединении резисторов 10 и 20 Ом общее сопротивление составит:

$$R_{\text{общ}} = 10 + 20 = 30 \text{ Ом.}$$

Этот принцип используется в различных электронных схемах, в том числе в измерительных цепях, блоках управления и других устройствах электротранспорта.

24.5. Закон Ома для последовательной цепи

Для последовательной цепи продолжает действовать закон Ома. Если напряжение источника остаётся постоянным, увеличение суммарного сопротивления приводит к уменьшению тока:

The diagram shows the formula $I = \frac{U}{R}$ in a central box. To the left, a box defines I as current in amperes (A). To the right, two boxes define U as voltage in volts (V) and R as resistance in ohms (Ω). Arrows point from these boxes to the corresponding variables in the formula.

Поэтому добавление дополнительного сопротивления в последовательную цепь изменяет её рабочий ток.

При диагностике это позволяет оценивать поведение цепи по измеренным значениям напряжения, сопротивления и тока. Однако сопротивление электронных компонентов, двигателей и аккумуляторных ячеек нельзя всегда рассматривать как постоянную величину: оно может изменяться в зависимости от температуры, режима работы и состояния компонента.

24.6. Последовательное соединение в аккумуляторных батареях

Главное практическое преимущество последовательного соединения элементов в электротранспорте заключается в возможности получить требуемое рабочее напряжение без использования одной огромной ячейки.

При этом последовательная сборка предъявляет повышенные требования к состоянию отдельных групп. Если одна группа значительно слабее остальных, именно она может ограничить возможности всей батареи.

Поэтому при изготовлении аккумуляторных сборок используют элементы с совместимыми характеристиками, одинаковой химией и соответствующими параметрами. Для готовой батареи также важны качество соединений, система управления и правильный подбор зарядного устройства.

24.7. Проблемы неравномерности последовательных групп

Последовательная цепочка особенно чувствительна к различиям между её элементами. Если одна группа имеет меньшую фактическую ёмкость, повышенное внутреннее сопротивление или отличается степенью износа, её напряжение под нагрузкой может изменяться сильнее, чем у остальных.

Это может проявляться уменьшением запаса хода, заметным падением напряжения под нагрузкой или преждевременным отключением батареи системой защиты.

При зарядке слабая группа также может достигать верхнего предела раньше остальных. Поэтому состояние последовательных групп необходимо оценивать не только по общему напряжению батареи, но и по отдельным группам.

24.8. Последовательное соединение и BMS

В современных аккумуляторных батареях электротранспорта за состоянием последовательных групп обычно следит BMS — Battery Management System.

В зависимости от конструкции конкретной BMS она может контролировать напряжение отдельных групп, обеспечивать защиту от чрезмерного заряда и глубокого разряда, контролировать ток и температуру, а также выполнять балансировку.

Балансировка предназначена для уменьшения различий между последовательными группами при зарядке. Однако возможности BMS ограничены её конструкцией. Она не способна исправить физически повреждённый или сильно изношенный аккумуляторный элемент.

Поэтому срабатывание защиты BMS не следует автоматически считать неисправностью самой платы. Причиной может быть проблема с одной из групп, перегрузка, повышенная температура или другая неисправность батареи.

24.9. Диагностика последовательной цепи

При диагностике аккумуляторной батареи сначала необходимо определить её общее напряжение, а затем, если конструкция батареи и условия работы позволяют безопасно проводить такую проверку, оценить напряжение последовательных групп.

Если одна группа заметно отличается от остальных, это может указывать на различие в степени заряда, повышенное внутреннее сопротивление, потерю ёмкости, неисправность соединения или другую проблему. Одного измерения недостаточно для окончательного вывода — результаты необходимо сопоставлять с режимом работы батареи и её техническими характеристиками.

Также проверяют состояние соединений и проводников, температурные признаки, работу BMS и поведение батареи под нагрузкой.

При работе с литий-ионными батареями необходимо учитывать риск короткого замыкания, высокого тока и теплового повреждения. Диагностику следует выполнять только подходящими инструментами и с соблюдением требований безопасности.

24.10. Типичные неисправности последовательных батарей

Проблемы в последовательной цепи могут возникать из-за повреждения соединительного проводника или сварного соединения, неисправности отдельного элемента, повышенного внутреннего сопротивления группы либо нарушения работы BMS.

На практике неисправность одной группы способна проявляться как общая неисправность всей батареи. Электротранспорт может иметь нормальное напряжение без нагрузки, но резко терять его при разгоне. В другом случае BMS может отключать батарею раньше ожидаемого из-за достижения одной из групп критического значения.

Поэтому при диагностике важно не ограничиваться измерением общего напряжения. Необходимо определить, как ведёт себя каждая последовательная группа и вся батарея в целом.

24.11. Типичные ошибки начинающих мастеров

Одна из наиболее серьёзных ошибок — использование в одной аккумуляторной сборке элементов, которые существенно отличаются по типу, ёмкости, состоянию или внутреннему сопротивлению.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.