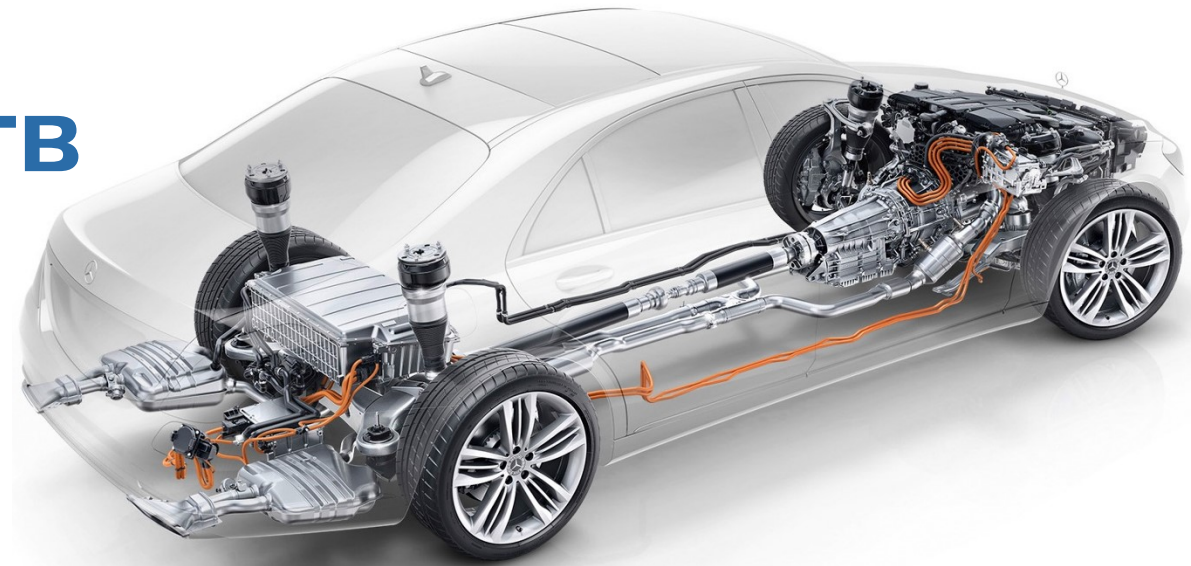


Электронные системы наземных транспортно- технологических средств

Лекция 9 Компоненты автомобилей с тяговым электроприводом

Автор:

Пузаков Андрей Владимирович, канд. техн. наук,
доцент кафедры технической эксплуатации и
ремонта автомобилей



План лекции:

1. Тяговые батареи
2. Система управления батареями
3. Система термостатирования батарей
4. Тяговые электродвигатели
5. Датчик положения ротора ТЭД
6. Охлаждение электрических машин
7. Инвертор
8. Конвертор
9. Зарядка тяговых батарей
10. Зарядные разъёмы
11. Беспроводная зарядка
12. Заключение
13. Вопросы для самоконтроля
14. Литература

Цель лекции: изучение структуры тягового электропривода; устройства и принципа действия тяговых аккумуляторных батарей; устройства и принципа действия тяговых электродвигателей; способов управления температурным режимом тяговых батарей и тяговых электродвигателей; методов организации проводной и беспроводной зарядки тяговых батарей.

В результате изучения лекции обучающийся должен:

знать:

- структуру тягового электропривода;
- устройство и принцип действия тяговых аккумуляторных батарей;
- устройство и принцип действия тяговых электродвигателей;
- способы управления температурным режимом тяговых батарей и тяговых электродвигателей;
- методы организации проводной и беспроводной зарядки тяговых батарей

уметь:

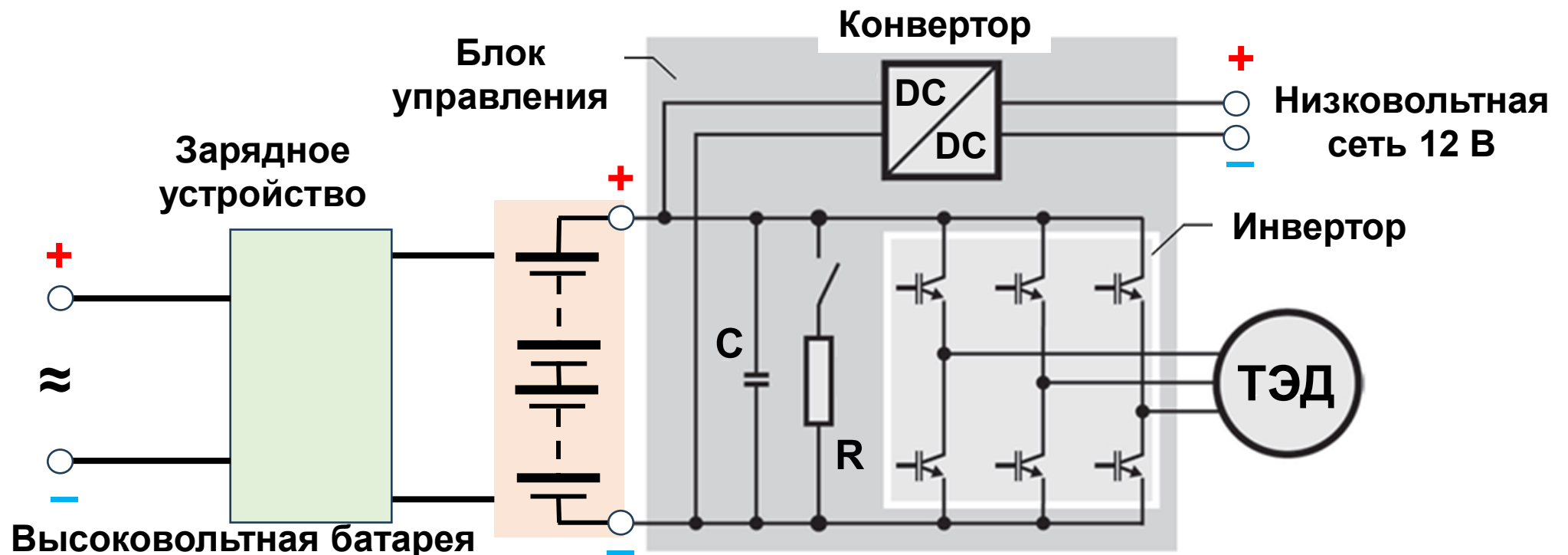
- читать схемы управления тяговым электроприводом.

Структура тягового электропривода

Тяговая батарея является источником энергии для электромобиля с аккумуляторной батареей; энергия сохраняется за счет зарядки аккумулятора. В автомобилях на топливных элементах ток генерируется постоянно. Оба источника энергии обеспечивают постоянный ток.

Для работы электрической машины постоянный ток необходимо преобразовать в трехфазный переменный ток. Эту задачу выполняет **инвертор**, который активирует электрическую машину в соответствии с потребностью путем целенаправленного переключения постоянного тока.

Электросистема автомобиля напряжением 12 В питается через **преобразователь постоянного тока** (конвертор) от электрической системы высокого напряжения.



Высоковольтные батареи

Тяговая батарея в современных электромобилях часто составляет более двух третей **веса, размера и стоимости** всех компонентов электрической трансмиссии. Поэтому основной задачей на будущее является улучшение и оптимизация батареи по этим трем критериям.

Существует три различных диапазона напряжения. В сегменте LEV (легкий электромобиль) номинальное напряжение аккумуляторной батареи составляет **до 48 В**, что обеспечивает достижимую выходную мощность около 30 кВт. Аккумуляторы на 48 В также используются в КЭУ легковых автомобилей.

Аккумуляторы для электромобилей рассчитаны на напряжение **до 400 В** и могут обеспечить выходную мощность до 450 кВт.

В секторе коммерческого транспорта автомобилям требуется еще более высокая выходная мощность.

Напряжение увеличивается **до 800 В**, что обеспечивает выходную мощность около 800 кВт. Поскольку увеличение напряжения аккумулятора позволяет сократить время зарядки, некоторые производители легковых автомобилей также выбирают технологию 800 В.

Согласно ГОСТ Р 59102 – 2020: выделяют два класса напряжения.

Класс напряжения **A**: $U < 30 \text{ VAC}$,
 $U < 60 \text{ VDC}$

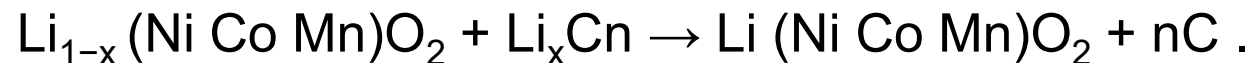
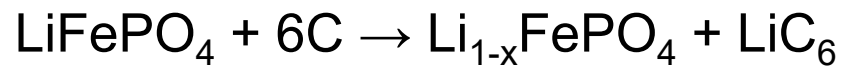
Класс напряжения **B**: $30 \text{ VAC} < U < 1000 \text{ VAC}$,
 $60 \text{ VDC} < U < 1500 \text{ VDC}$

Литий-ионные аккумуляторы

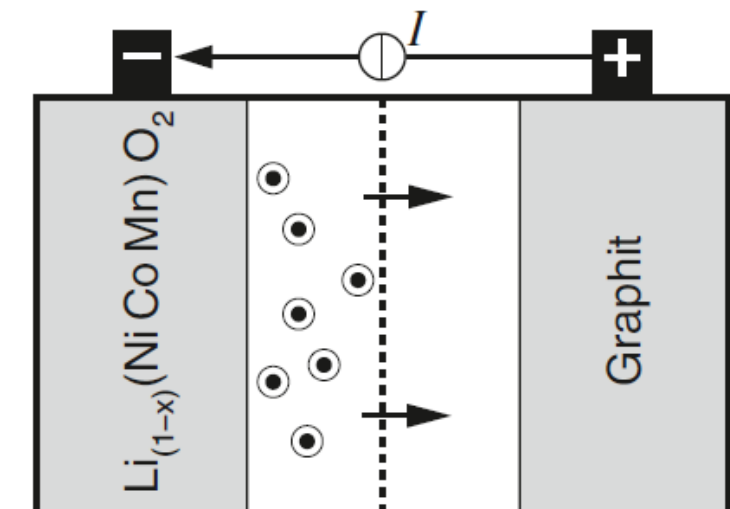
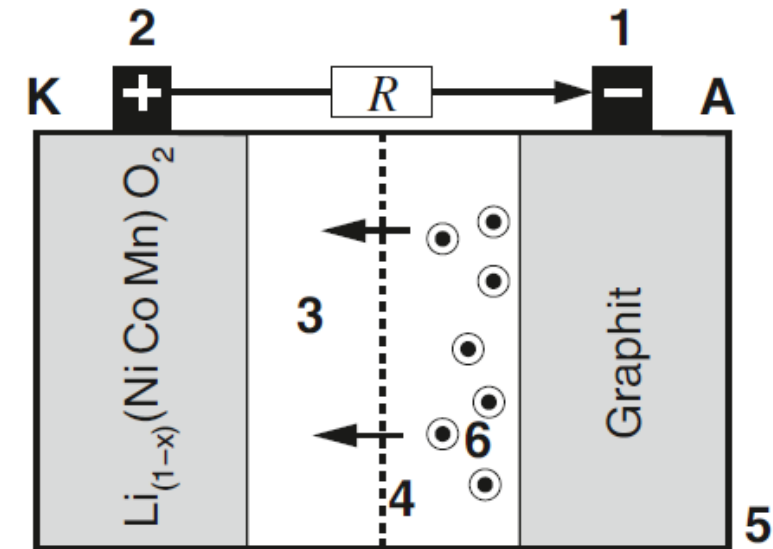
Литий-ионный аккумулятор состоит из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделённых пористым сепаратором, пропитанным электролитом. Пакет электродов помещён в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъёмникам.

Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный **ион лития**, который имеет способность внедряться (*интеркалироваться*) в кристаллическую решётку других материалов (например, в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи.

Электрохимические процессы литий-ионного аккумулятора



1 – Анод, **2** – Катод, **3** – Органический электролит, **4** – Сепаратор, **5** – Корпус элемента, **6** – Li+.



Тяговые батареи

Для электромобилей наиболее распространенными типами **литий-ионных аккумуляторов** являются: оксид лития, никеля, кобальта и алюминия (NCA), оксид лития-кобальта (LCO), оксид лития и титана (LTO), оксид лития-марганца (LMO), оксид лития-никеля (LNO), литий-фосфат железа (LFP), оксид лития, никеля, марганца, кобальта (NMC).

Различные типы литий-ионных аккумуляторов имеют разный химический состав.

Аноды большинства литий-ионных аккумуляторов изготовлены из графита. Обычно меняется минеральный состав **катода**, что определяет химический состав батареи. Материал катода обычно содержит литий и другие минералы, включая никель, марганец, кобальт или железо. Этот состав в конечном итоге определяет емкость, мощность, производительность, стоимость, безопасность и срок службы батареи.

Оксид лития, никеля, марганца, кобальта (NMC).

Катоды NMC обычно содержат большое количество никеля, что у аккумулятора и позволяет электромобилям преодолевать большие расстояния. Однако высокое содержание никеля может сделать батарею нестабильной, поэтому для повышения безопасности используются марганец и кобальт.

Tesla Model Y (Long Range and Performance only)
Tesla Model 3 (Long Range and Performance only)
Polestar 2
Volvo EX30
BMW iX3

Оксид лития, никеля, кобальта и алюминия (NCA).

Батареи NCA имеют те же преимущества, что и батареи NMC, на основе энергии и удельную мощность. Вместо марганца NCA использует алюминий. Однако катоды NCA относительно менее безопасны, чем другие литий-ионные аккумуляторы, поэтому обычно используются только в высокопроизводительных моделях электромобилей.

Audi Q8 E-Tron
Tesla Model 3 (older pre-2021 models)
Tesla Model S (discontinued in Australia)
Tesla Model X (discontinued in Australia)

Тяговые батареи

Литий-железо-фосфат (LFP)

Благодаря использованию железа и фосфатов вместо никеля, LFP производит, чем варианты на основе никеля. Однако они подходят для электромобилей стандартного или ближнего радиуса из самых безопасных химических веществ и имеет длительный срок хранения энергии.

BYD Dolphin
MG 4 (Excite 51 only)
BYD Atto 3
BYD Seal
Tesla Model 3 (RWD only)
Tesla Model Y (RWD only)

Оксид лития-кобальта (LCO).

Хотя батареи LCO обладают высокой энергоемкостью, к их недостаткам относятся относительно короткий срок службы, низкая термическая стабильность и ограниченная удельная мощность. Поэтому эти батареи являются популярным выбором для приложений с низкой нагрузкой, таких как смартфоны и ноутбуки, где они могут обеспечивать относительно небольшое количество энергии в течение длительного времени.

Оксид лития-марганца (LMO)

Аккумуляторы LMO, также известные как марганцево-шпинельные батареи, обеспечивают повышенную безопасность и возможность быстрой зарядки и разрядки. В электромобилях катодный материал LMO часто смешивается с NMC, где часть LMO обеспечивает высокий ток при ускорении, а NMC обеспечивает большой запас хода.

Титанат лития (LTO)

В отличие от других батарей, где состав катода имеет значение, в батареях LTO используется уникальная поверхность анода, изготовленная из оксидов лития и титана. Эти батареи демонстрируют превосходную безопасность и производительность при экстремальных температурах, но имеют низкую емкость и относительно дороги, что ограничивает их масштабное использование. © Пузаков А.В.

Параметры тяговых батарей

Номинальное напряжение: опорное напряжение элемента или батареи, соответствующее 50% SOC батареи.

Напряжение отключения: нижний предел напряжения полностью разряженной батареи, который варьируется в зависимости от типа батареи и ее использования.

Напряжение разомкнутой цепи (OCV) – напряжение аккумулятора, измеренное на его клеммах, когда он не обеспечивает ток.

Номинальная ёмкость (C_n , %): количество ампер-часов (А·ч), которое может обеспечить аккумулятор за один разряд. Общее количество А·ч доступно, когда батарея или элемент разряжены от 100% SOC до напряжения отключения.

Номинальная мощность (Вт·ч) приведена в уравнении:

$$\text{Номинальная мощность (Вт·ч)} = \text{Номинальная ёмкость (А·ч)} \times \text{Номинальное напряжение (В)}$$









































Скорость разряда (C-rate): описывает скорость, с которой батарея разряжается от своей общей емкости (например, скорость 1C указывает, что полностью заряженная батарея будет разряжена за 1 час).

Степень заряженности (SOC, %) выражается в процентах от текущей емкости аккумулятора по сравнению с его общей емкостью. Её эквивалентом в автомобилях, является указатель уровня топлива.

Степень работоспособности (SOH, %) – отношение доступной ёмкости батареи к номинальной. Является важнейшим показателем для оценки оставшегося срока службы аккумулятора

Срок службы – общее количество циклов зарядки/разрядки, которые аккумулятор может выдержать, прежде чем его емкость значительно уменьшится. Эта функция зависит от типа батареи и сильно зависит от глубины разрядки, метода зарядки и температуры батареи.

Сравнение тяговых литий-ионных батарей

		Battery Chemistry				
		LFP	NMC	LCO	LTO	NCA
Features & specifications	Energy density	 90-150 Wh/kg	 150-220 Wh/kg	 150-250 Wh/kg	 50-100 Wh/kg	 200-280 Wh/kg
	Power density	 300-500 W/kg	 600-1000 W/kg	 300-500 W/kg	 1000-3000 W/kg	 800-1500 W/kg
	Cycle life	 2000-4000	 1000-2000	 500-1000	 5000-10000	 1000-2000
	Charge and discharge rates	 1C-3C	 1C-3C	 1C-3C	 5C-50C	 1C-3C
	Thermal stability	 High	 Medium	 Low	 Very High	 High
	Recyclability	 Yes	 Yes	 Yes	 Yes	 Yes
	Capacity retention (per cycle)	 Low	 Medium	 Varies	 Lowest	 Medium
	Cost	 \$100-150/kWh	 \$150-200/kWh	 \$200-250/kWh	 \$300-400/kWh	 \$200-250/kWh



Excellent



Good



Average



Below Average

*Cathodes considered with a graphite anode- LFP, NMC, LCO, NCA, the anode LTO is paired with NMC or LMO battery chemistry.

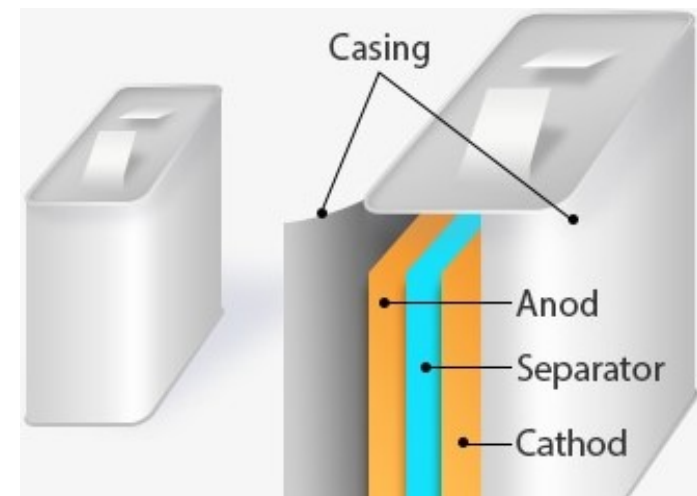
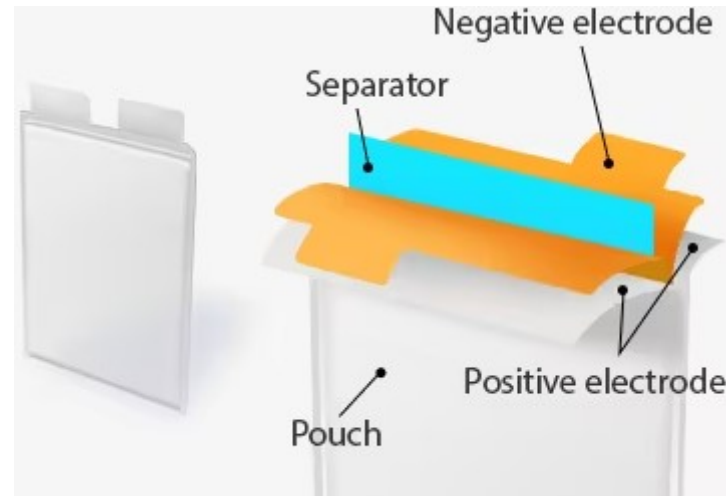
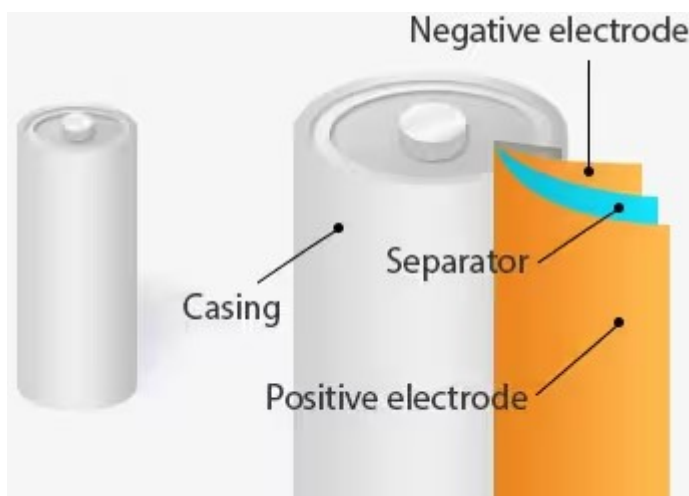
Элементы аккумуляторов

Элементы с **цилиндрическим** металлическим корпусом имеют значительные преимущества в производстве по сравнению с другими конструкциями.

Призматические элементы с корпусом из ламинированной металлической фольги (пакетные элементы) имеют особенно однородное распределение температуры и позволяют создавать очень компактные аккумуляторные системы гибких размеров.

Призматические элементы в твердом корпусе также обеспечивают очень компактную конструкцию и также стабильный по сравнению с ним.

Модуль обычно представляет собой первый уровень интеграции элементов аккумуляторной батареи. Здесь последовательно соединено разное количество элементов. Параллельное соединение элементов позволяет передавать большее количество энергии без увеличения напряжения системы. Обычно напряжение модуля не превышает 60 В.



Система управления батареей

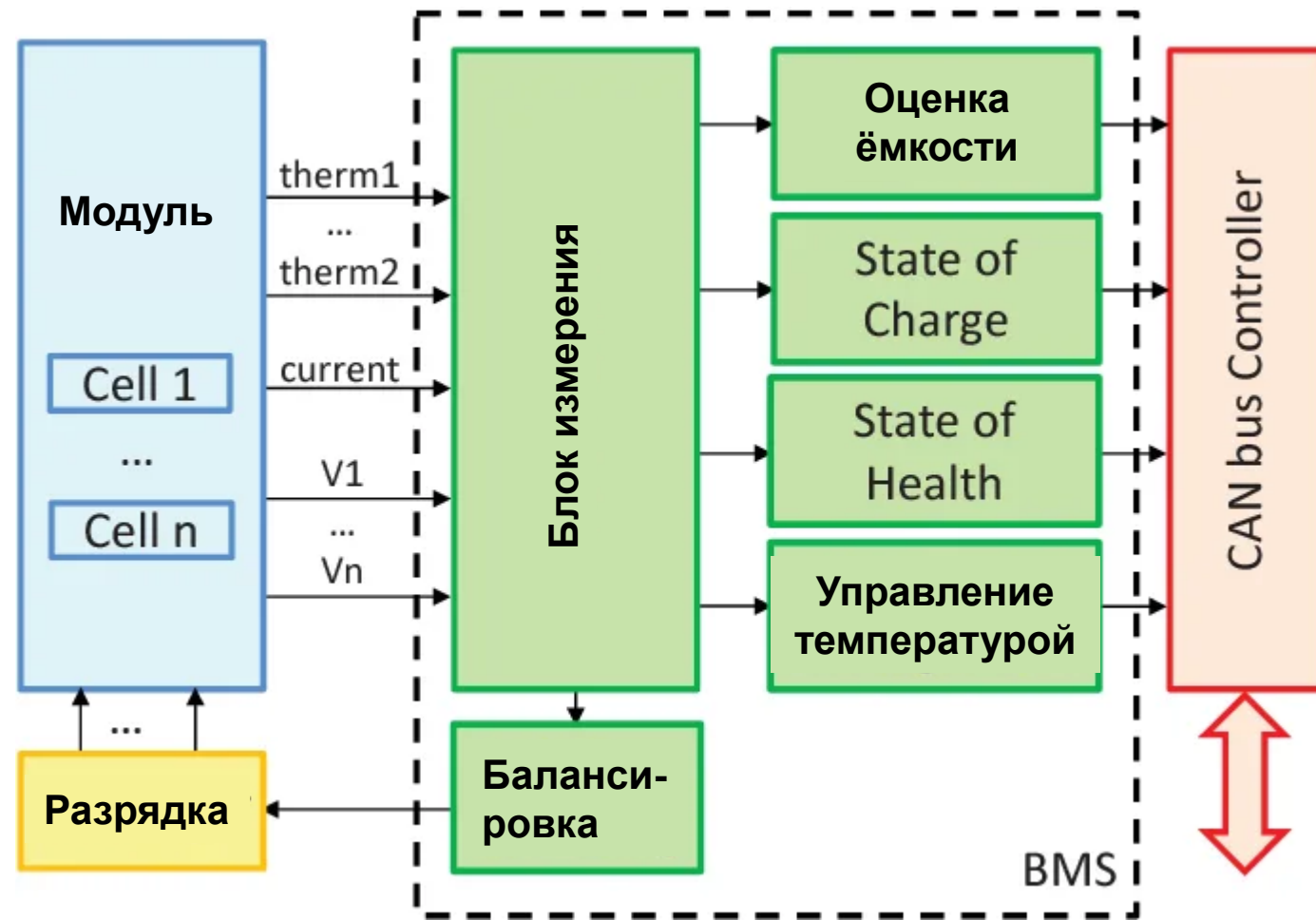
Литий-ионный аккумулятор должен находиться в строго определенных пределах по заряду, току и температуре для обеспечения срока службы и безопасности. Для обеспечения этого используется **система управления батареями (BMS)**.

BMS использует измеренные значения для определения степени заряженности (**SOC**) и степени работоспособности (**SOH**).

На основе этого можно определить доступную на данный момент мощность батареи и максимально допустимый ток батареи.

Система управления батареями также может выполнять **балансировку** в соответствии с уровнем заряда элементов.

Система управления батареями защищает элементы, предотвращая или уменьшая протекание тока в случаях, когда аккумулятор перезаряжен, вышел из безопасного рабочего окна из-за повышенного или пониженного напряжения, а также в случае превышения или снижения температуры.



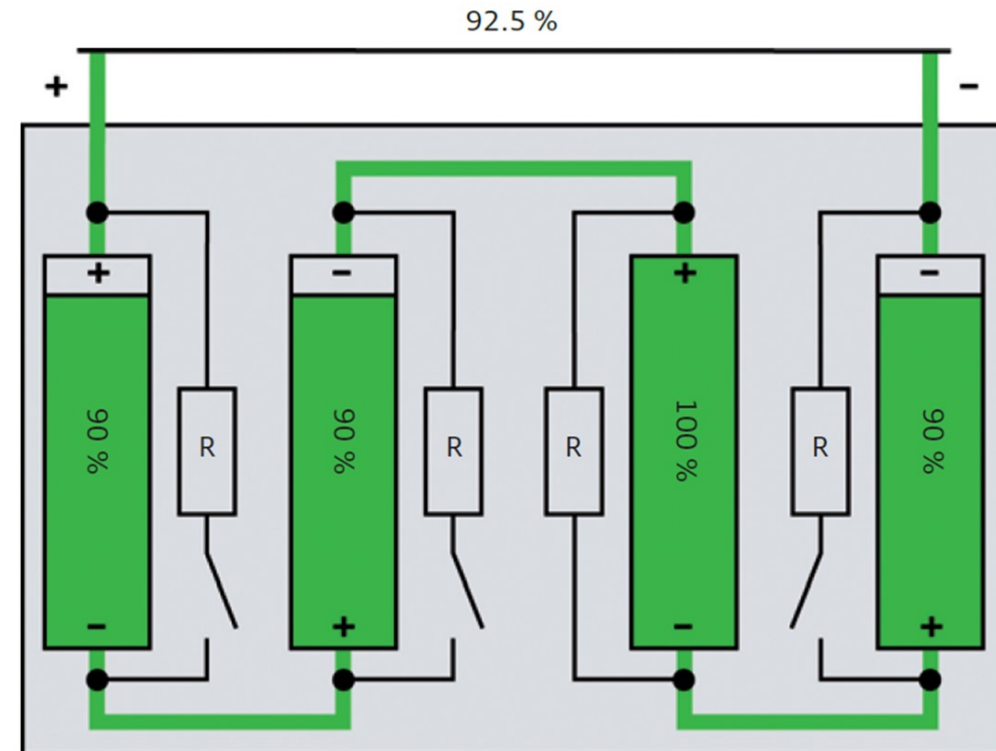
Балансировка элементов батареи

Из-за производственных допусков и побочных реакций, которые зависят от параметров элемента и температуры элемента, отдельные элементы в конечном итоге имеют разное состояние заряда. Это проблематично, поскольку элемент с самым низким уровнем заряда устанавливает предел разряда, а элемент с самым высоким уровнем заряда устанавливает предел заряда. По этой причине состояние заряда элементов батареи необходимо время от времени балансировать. Это осуществляется с помощью схемы балансировки, которая обычно встроена в схемы контроля ячейки. В автомобильной промышленности балансировка обычно является **пассивным** способом – путем разряда отдельных элементов через резистор, включенный параллельно.

Балансировка выполняется, когда разница напряжений превышает приibl. 1% при зарядке высоковольтной батареи.

Балансировка выполняется при уровне заряда батареи более 30%.

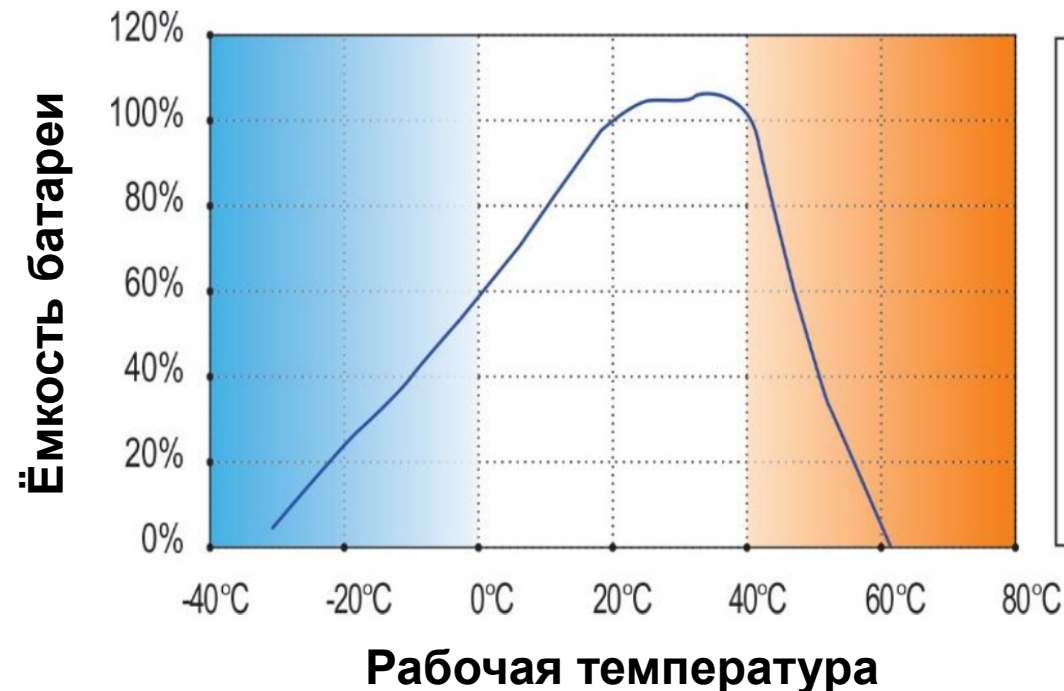
В этом примере элемент заряжен на 100%, и процедура зарядки завершена. Однако уровень заряда высоковольтной батареи составляет всего 92,5 %. Балансировка означает, что эта ячейка теперь разряжается через резистор и, таким образом, батарея может продолжать заряжаться до тех пор, пока все ячейки не достигнут одинакового уровня заряда.



Управление температурным режимом

Чтобы обеспечить безопасную и надежную работу батареи даже при колебаниях нагрузки и максимально увеличить срок службы элементов, температуру элементов следует поддерживать в диапазоне обычно от 20 °С до 40 °С.

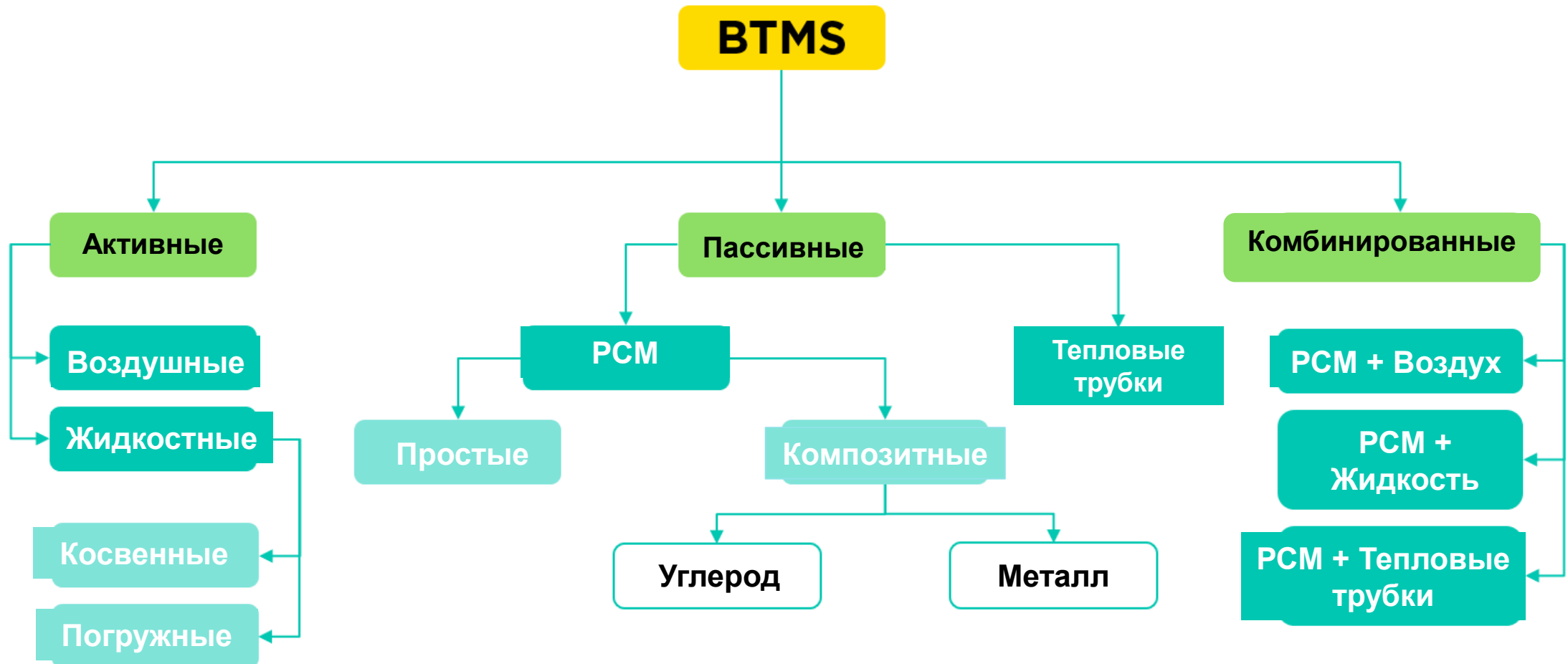
Срок службы элементов значительно сокращается при повышении температуры, поскольку многие процессы старения зависят от температуры. Это особенно актуально для использования в зонах с жарким климатом. При низких температурах емкость ячеек заметно снижается. В транспортных средствах используются различные системы контроля температуры аккумуляторов.



Рабочая температура	Мощность и доступность	Срок службы	Управление температурой
60°C			Охлаждение
40°C	100% → 0%	Старение батареи/ тепловой разгон	
20°C	100%	Оптимальная температура	Нагревание
0°C	90% Высоко Rzi	Старение ячейки во время завядки	
-20°C	<70% Очень высоко Rzi		

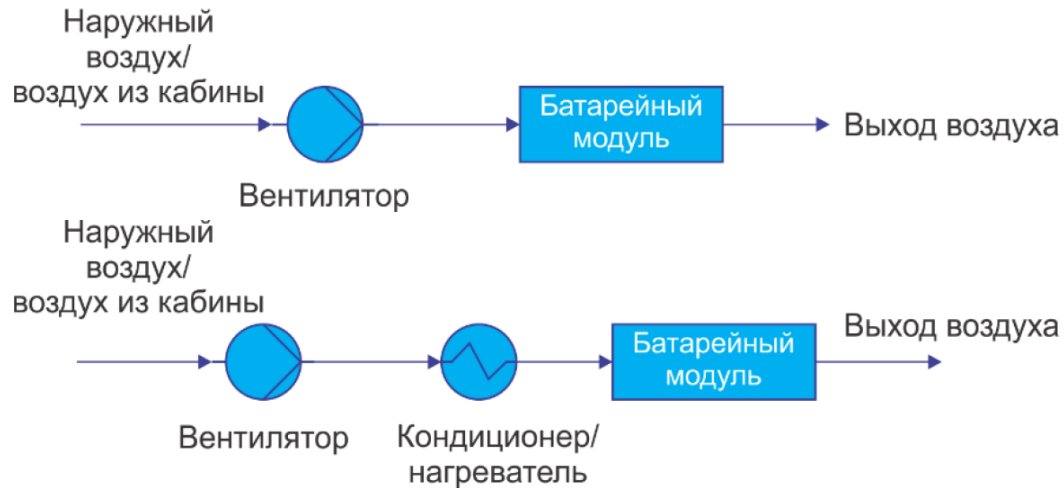
Управление температурным режимом

Система термостатирования (*temperature control system*): Система для поддержания диапазона заданных температур компонентов тягового электропривода и модулей аккумуляторных ячеек или воздуха вокруг них.

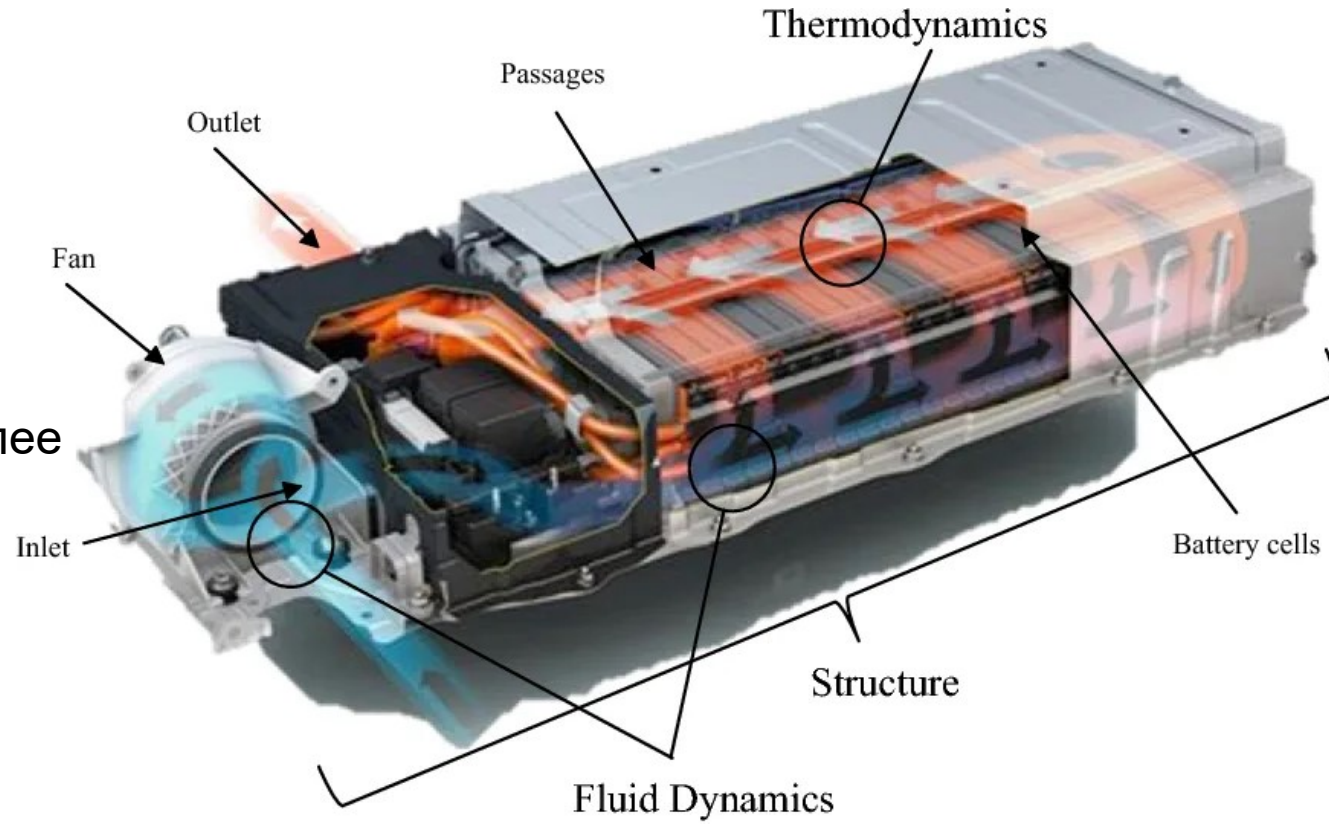


Воздушные системы термостатирования

В **воздушных системах термостатирования** тяговых батарей в качестве теплоносителя используется воздух. Всасываемый воздух может поступать напрямую либо из атмосферы, либо из кабины, а также может быть кондиционированным воздухом. Первая называется **пассивной воздушной системой**, а вторая - **активной воздушной системой**. Активные системы могут предложить дополнительную мощность для охлаждения или обогрева

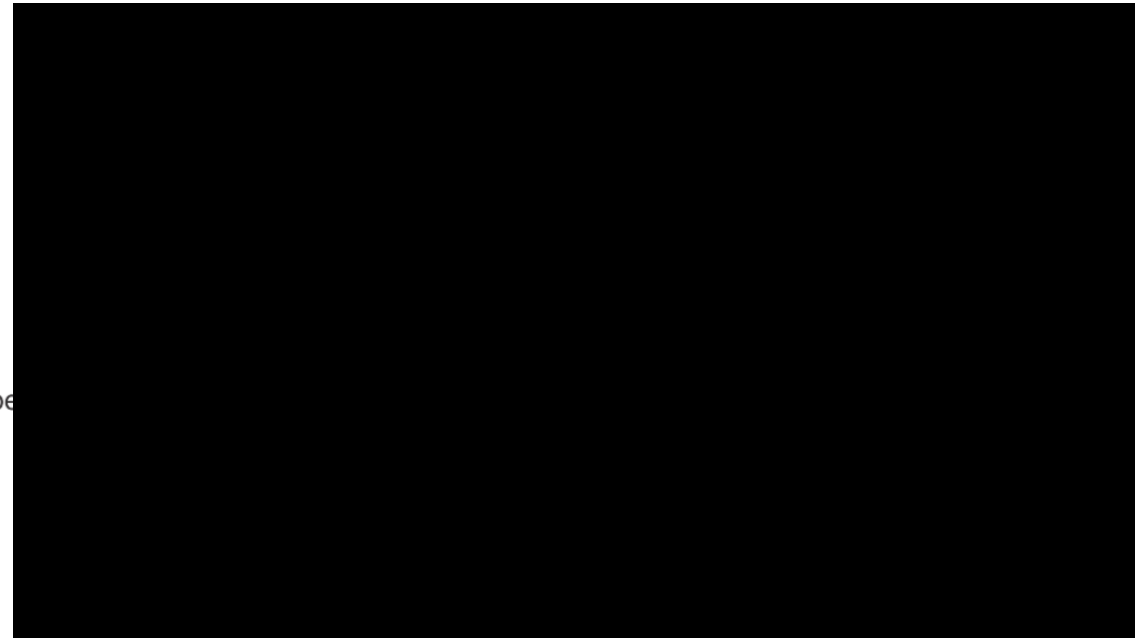
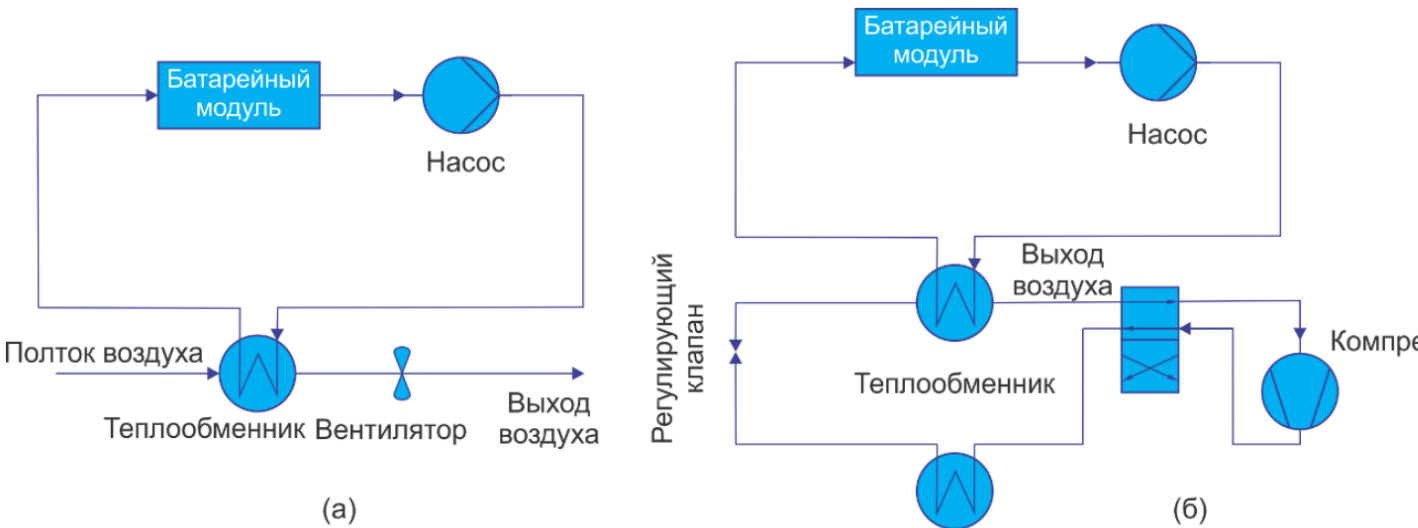


Системы воздушного охлаждения являются наиболее экономичными конструкциями. Однако им требуется больше места из-за необходимости пространства между ячейками. Некоторые системы с низким энергопотреблением не имеют вентиляторов; в этом случае батарея охлаждается за счет естественной конвекции.



Жидкостные системы термостатирования

Ещё одним теплоносителем является жидкость. Обычно для системы терморегулирования применяются две группы жидкостей. Одна из них – **диэлектрическая жидкость** (*жидкость прямого контакта*), которая может напрямую контактировать с элементами батареи, например минеральное масло. Другая – **проводящая жидкость** (*жидкость непрямого контакта*), которая может контактировать с элементами батареи только косвенно, например, смесь этиленгликоля и воды.



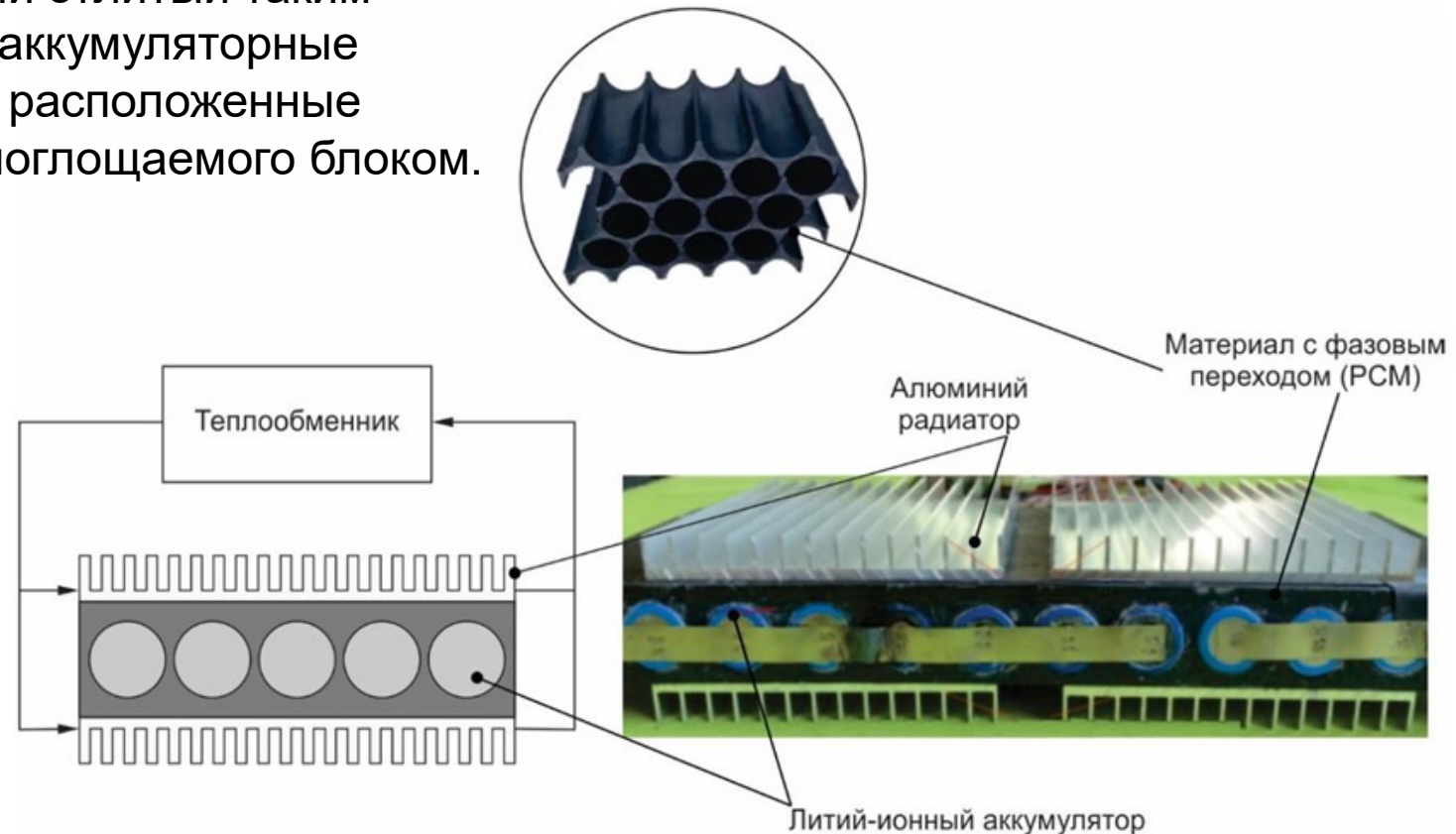
Температура охлаждающей жидкости контролируется теплообменником, который подключен к системе кондиционирования автомобиля. Часто также встроен нагревательный элемент, позволяющий нагревать батарею при низких температурах. Он соединен с элементов через охлаждающие пластины. Датчики температуры контролируют температуру элементов. Аккумуляторы с системой жидкостного охлаждения могут быть построены очень компактно, но требуют дополнительных затрат из-за охлаждающих пластин, трубопроводов и подключения к системе кондиционирования автомобиля.

Система термостатирования на основе материалов с фазовым переходом (PCM)

PCM (*Phase-change material*) – материал, который аккумулирует или излучает тепло, используя процесс перехода из одного состояния в другое при определенной температуре. Обычно PCM применяется специально для цилиндрических аккумуляторных батарей, так как позволяет заполнить неиспользуемые пространства между аккумуляторными батареями.

Аккумуляторные элементы прикрепляются непосредственно к PCM, который обычно представляет собой блок из твердого материала, обработанный или отлитый таким образом, чтобы можно было вставлять в него аккумуляторные батареи. Также есть две пластины радиатора, расположенные сверху и снизу блока PCM для отвода тепла, поглощаемого блоком.

PCM обладает высокой скрытой теплоемкостью и способен поддерживать температуру аккумуляторов в небольшом диапазоне, близком к температуре плавления PCM.



Термический разгон тяговой батареи

Термический разгон (*thermal runaway*) означает процесс, который ускоряется при более высоких температурах и высвобождает энергию, которая еще больше повышает температуру.

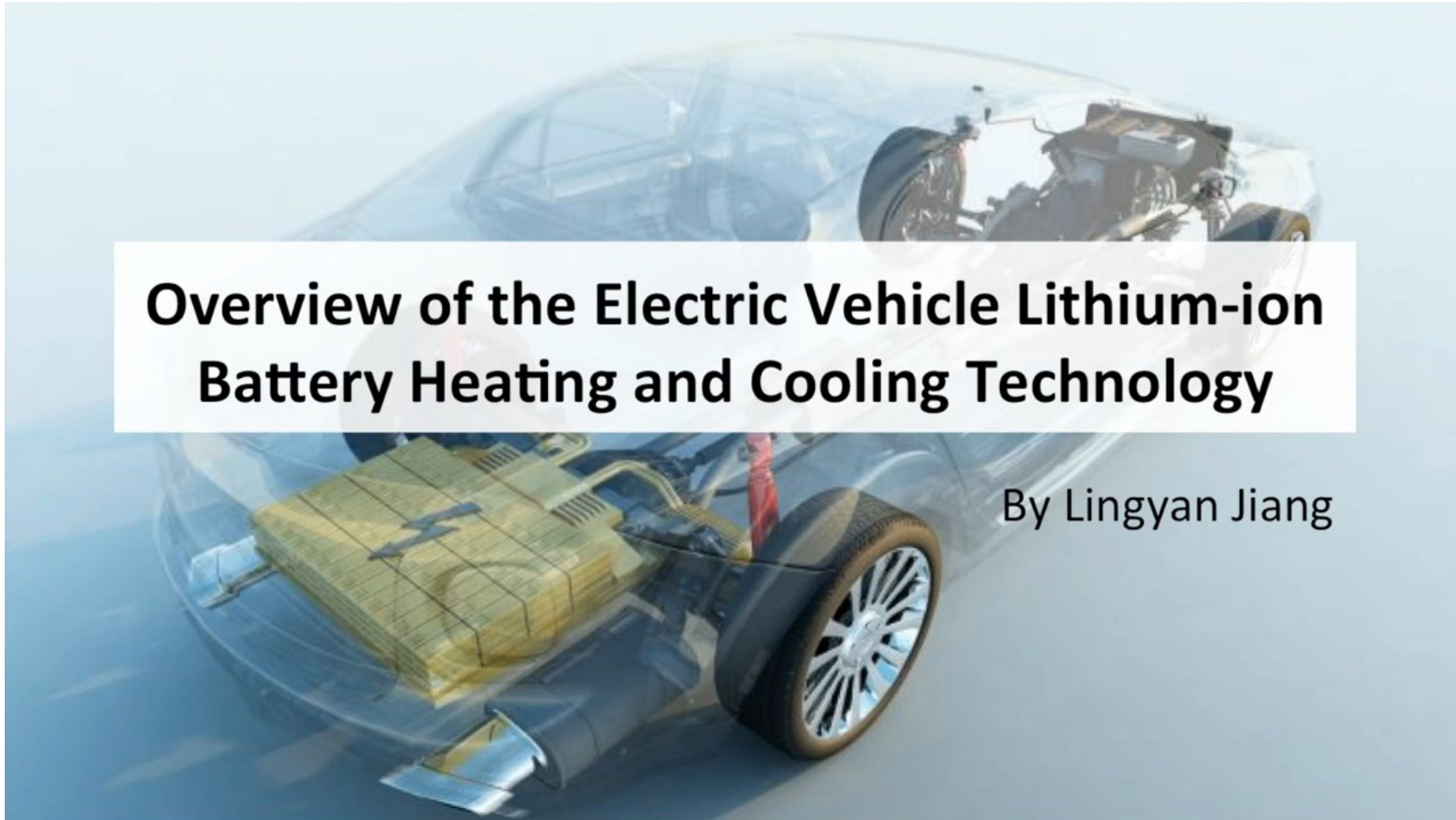
Термический разгон происходит, когда повышение температуры меняет условия таким образом, что это вызывает новое повышение температуры, часто с катастрофическими результатами. Когда температура внутри одного из элементов батареи быстро возрастает, возникает опасная ситуация.

В электромобилях тепловой разгон – это состояние, при котором аккумулятор загорается из-за быстрого распространения тепла от одного поврежденного элемента к другому.

Термический разгон может произойти менее чем за 10 секунд, а выделяемое тепло может составлять порядка 10^7 Вт/м³.



Системы термостатирования



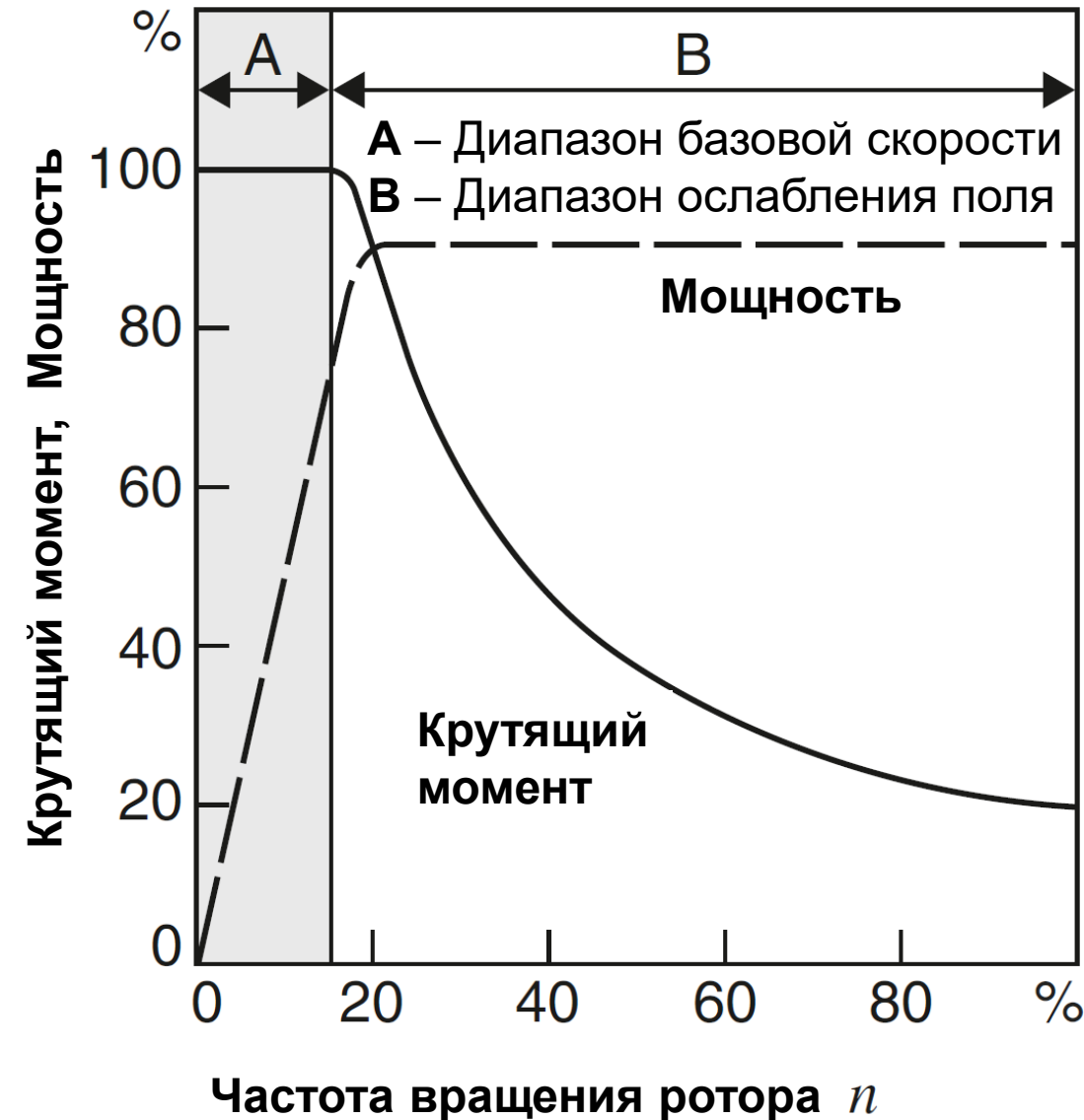
Тяговые электродвигатели

В отличие от двигателя внутреннего сгорания электрическая машина выдает максимальный крутящий момент уже при нулевой скорости вращения. Скорость вращения при движении настолько высока, что ее приходится согласовывать с необходимой скоростью вращения колес с помощью редуктора. В такой же пропорции увеличивается крутящий момент, передаваемый на колеса.

На рисунке показаны упрощенные кривые крутящего момента и мощности. В **диапазоне базовой скорости** обычно достигается постоянный крутящий момент.

Диапазон от удельной скорости до максимальной скорости называется **диапазоном ослабления поля**.

В этом диапазоне механическая мощность привода примерно постоянна, что соответствует уменьшению крутящего момента, пропорциональному обратной скорости.



Тяговые характеристики ТЭД

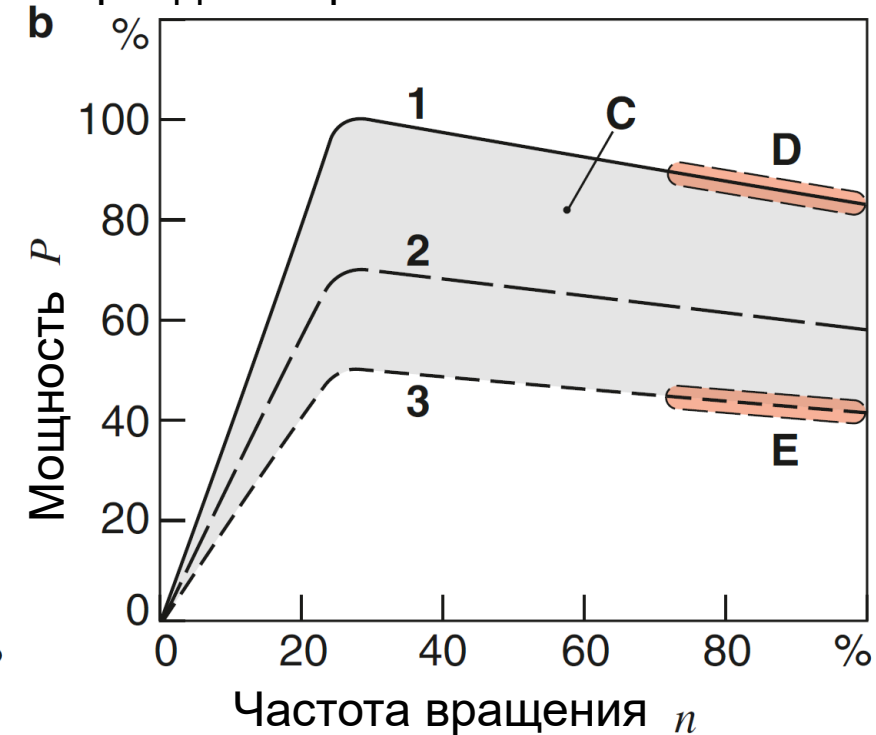
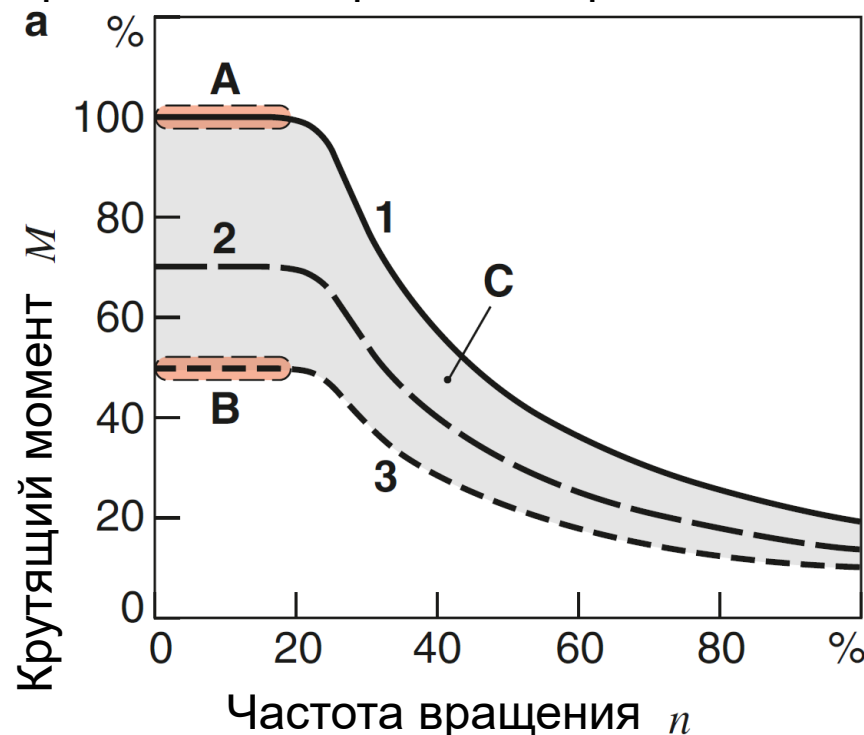
На рисунке показаны типичные кривые крутящего момента и мощности привода электромобиля.

Режим перегрузки характеризует управляемость при ускорении и обгоне (обгоне). Электрическую машину нельзя непрерывно эксплуатировать в режиме перегрузки, так как это может привести к превышению предельной температуры (например, температуры обмотки или магнита).

Непрерывная работа характеризует управляемость во время длительных поездок при примерно постоянной скорости движения и является мерой тепловых свойств машины.

Между максимальной предельной характеристикой и непрерывной предельной характеристикой можно определить дополнительные характеристические кривые с ограниченными периодами времени.

- 1 – Предельная характеристика,
- 2 – Кривая 60 с,
- 3 – Непрерывный режим,
- A – Максимальный крутящий момент,
- B – Непрерывный крутящий момент на низких скоростях,
- C – Режим перегрузки,
- D – Максимальная мощность на высоких скоростях,
- E – Непрерывная мощность на высоких скоростях.



Типы тяговых электродвигателей

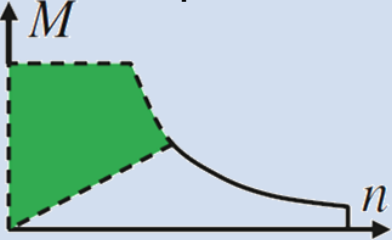
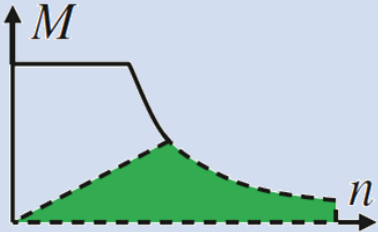
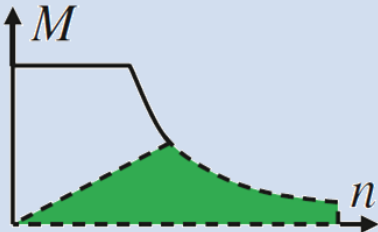
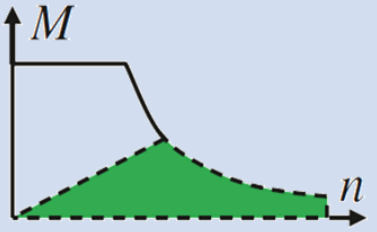
В гибридных автомобилях решающее значение имеет небольшое пространство для установки. Это требование лучше всего может быть выполнено с помощью синхронной машины с постоянным возбуждением (***Permanent-field Synchronous Machine, PSM***). Самым большим недостатком машин этого типа являются относительно дорогие редкоземельные магниты в роторе и опасность размагничивания этих магнитов.

Электромобили также оснащаются асинхронными машинами (***Induction Machine, IM***) и синхронными машинами с электрическим возбуждением (***Electrically Excited Synchronous Machines, ESM***). Асинхронные машины с короткозамкнутым ротором характеризуются простой и прочной конструкцией, но часто требуют охлаждения ротора из-за дополнительно возникающих тепловых потерь. Очень интересной альтернативой является синхронная машина с электрическим возбуждением, которая за счет управляемого намагничивания ротора достигает высокого КПД и может работать при малом токе питания. Эти преимущества могут привести к снижению системных затрат и снижению энергопотребления.

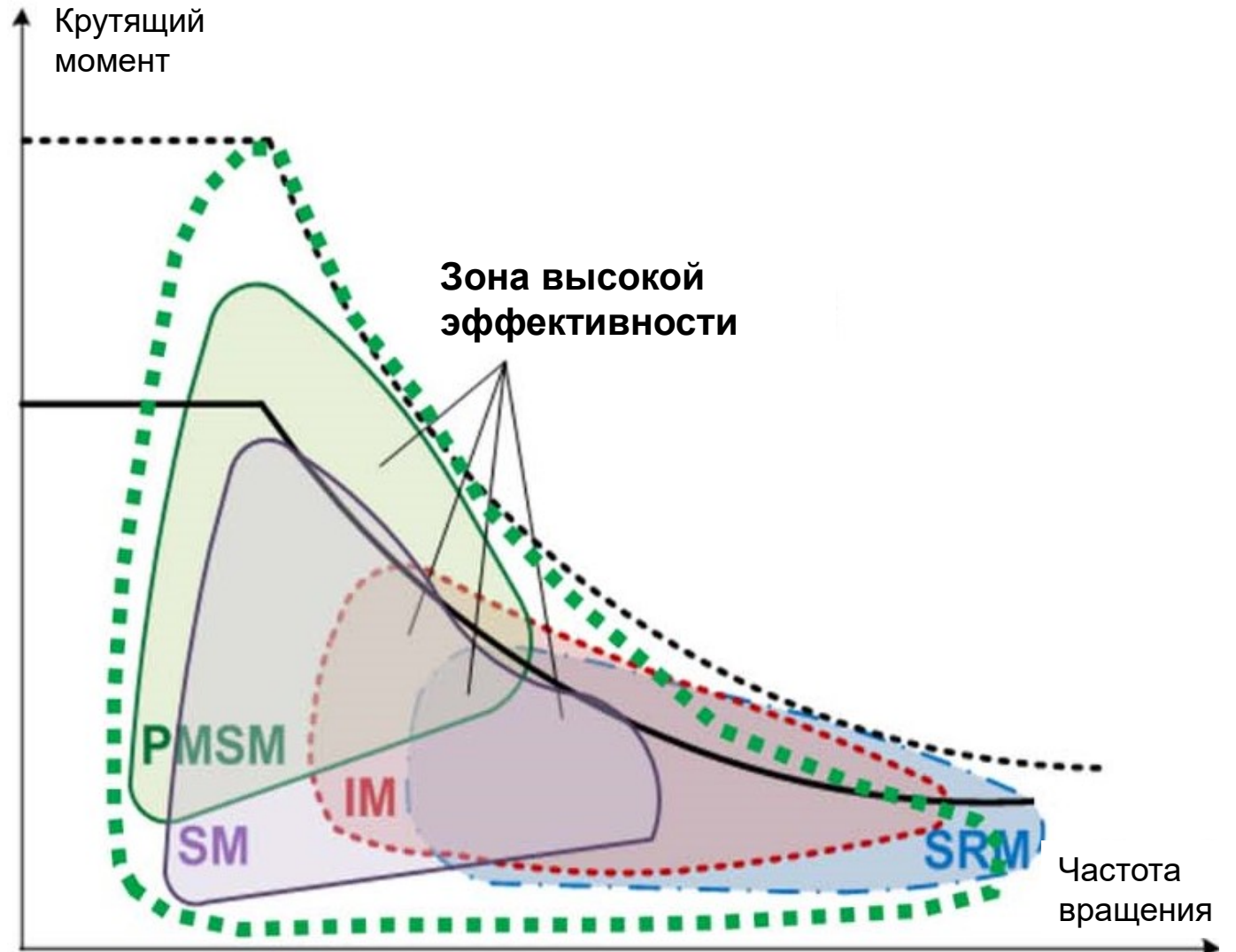
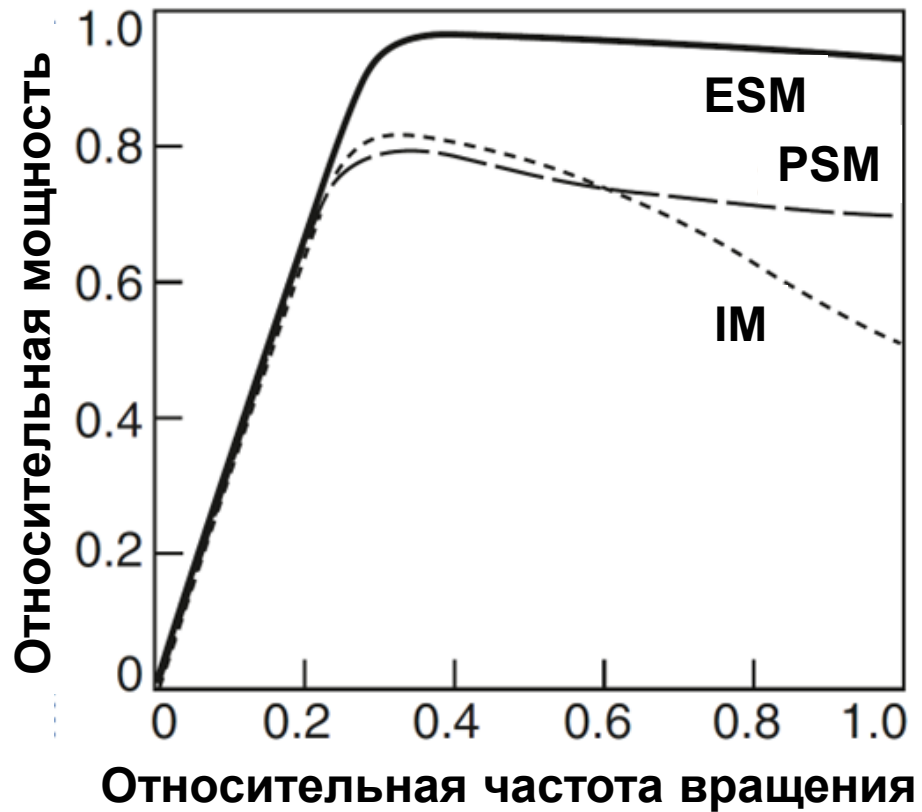
Вентильная реактивная машина (***Switched Reluctance Machine, SRM***) часто рассматривается как альтернатива с простой конструкцией ротора, но на сегодняшний день не смогла закрепиться ни в одном серийном автомобиле из-за возросшей сложности силовой электроники.

В конечном итоге предпочтение отдается классическим типам машин: асинхронной машине (***IM***), синхронной машине с постоянным полем (***PSM***) и синхронной машине с электрическим возбуждением (***ESM***), поскольку они лучше всего соответствуют функциональным и экономическим требованиям в области электрификации. Какой из этих трех типов машин является правильным решением в каждом конкретном случае, можно определить только посредством детального сравнения.

Особенности тяговых электродвигателей

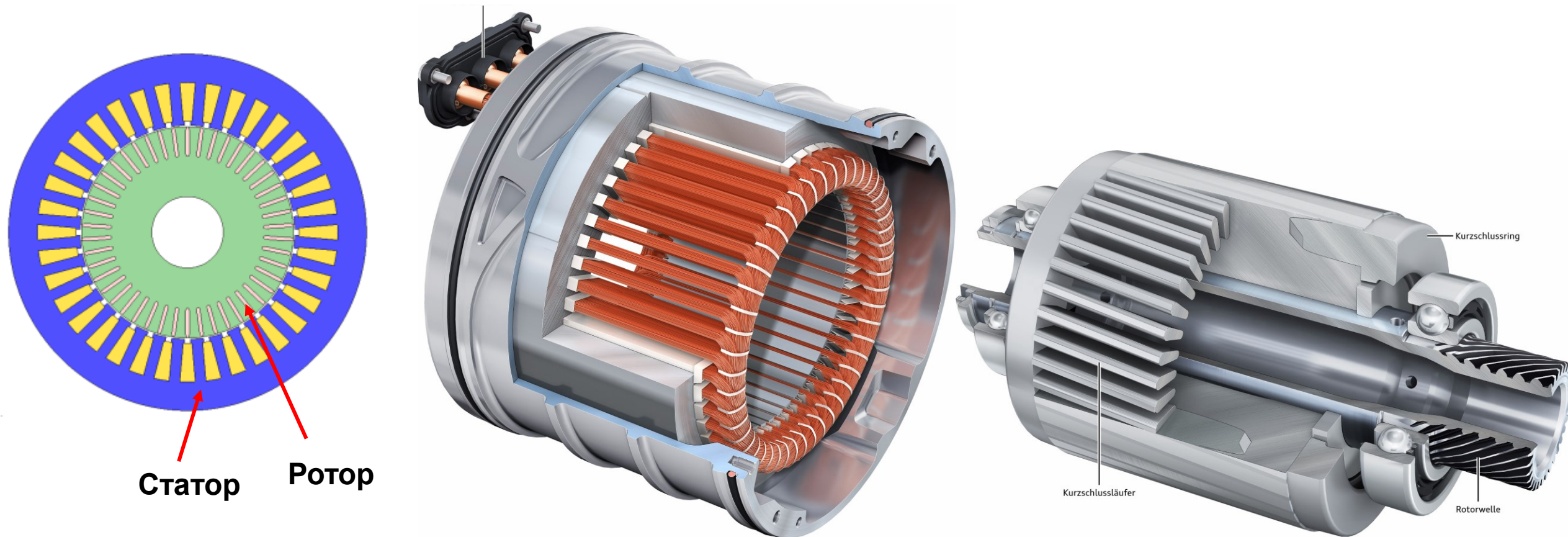
Технология	PSM	ESM	SRM	IM
Условия эффективности	<p>Большой момент Низкая скорость</p> 	<p>Высокая скорость Низкий момент</p> 	<p>Высокая скорость Низкий момент</p> 	<p>Высокая скорость Низкий момент</p> 
Достоинства	<p>Небольшие габариты Ротор не требует охлаждения</p>	<p>Высокая эффективность Небольшой ток возбуждения</p>	<p>Очень простая конструкция ротора</p>	<p>Простая конструкция ротора</p>
Охлаждение ротора	<p>Ротор не требует охлаждения</p>	<p>Требуется охлаждение ротора</p>	<p>Ротор не требует охлаждения</p>	<p>Требуется охлаждение ротора</p>
Недостатки	<p>Высокая стоимость Возможность размагничивание</p>	<p>Наличие контактов, Возможность разрушения ротора</p>	<p>Шум, затраты на изготовление, сложность электроники</p>	<p>Невысокий КПД Большой нагрев ротора</p>

Сравнение тяговых электродвигателей

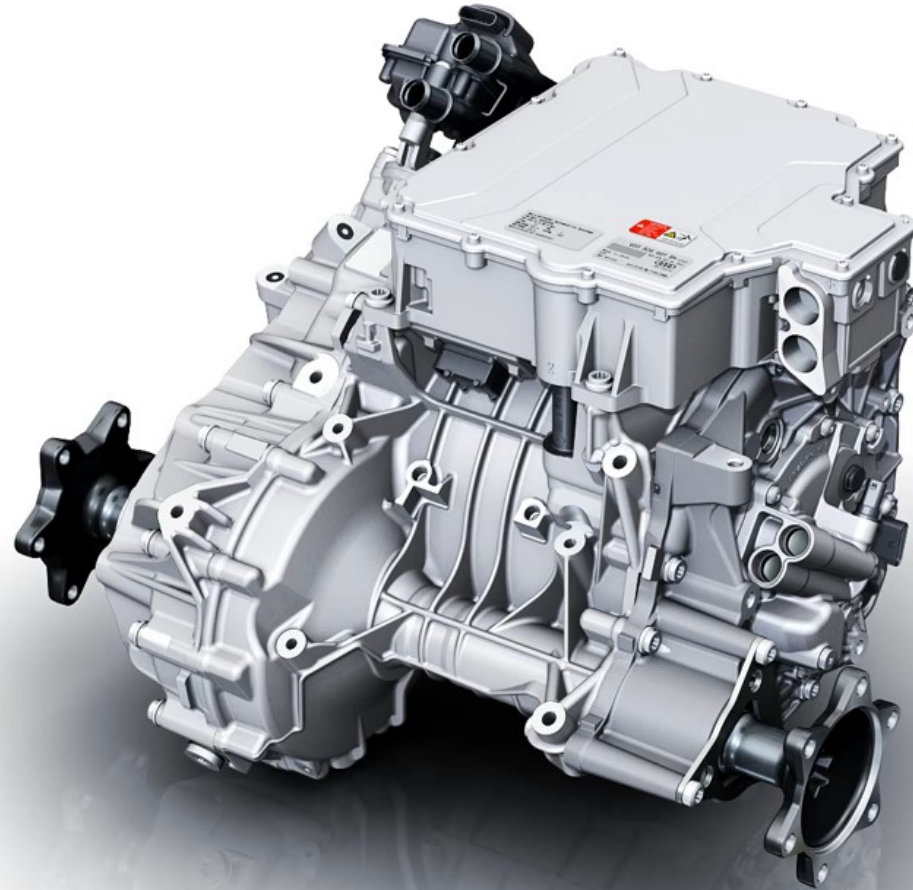


Асинхронные электродвигатели

Ротор **асинхронного электродвигателя** содержит короткозамкнутую обмотку. На статоре расположена трехфазная четырёхполюсная обмотка. Мощность асинхронного электродвигателя заметно падает в зоне максимальной скорости. Причиной этого является индуктивность рассеяния в статоре и роторе, которая существенно влияет на эксплуатационные характеристики в этом диапазоне. Из-за таких характеристик АД менее подходят для приводов, которые требуют высокой мощности на максимальной скорости.

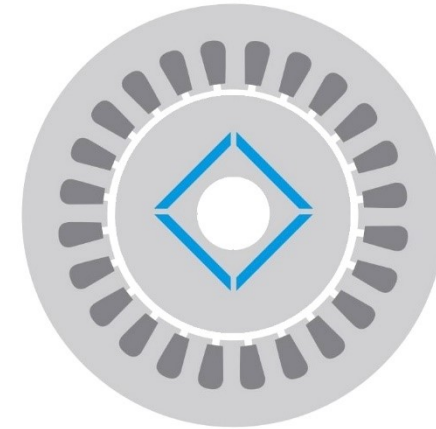


Асинхронные электродвигатели

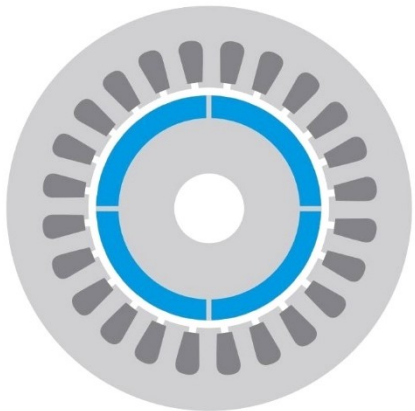


Синхронная машина с постоянными магнитами

Синхронная машина с постоянными магнитами (Permanent-field Synchronous Machine) отличается конструкцией ротора. Постоянные магниты, изготовленные из железа, легированного небольшим количеством редкоземельных материалов, таких как неодим или самарий-кобальт, смешанный с бором, могут размещаться снаружи или внутри ротора в специальных выемках.



IPMSM



SM-PMSM

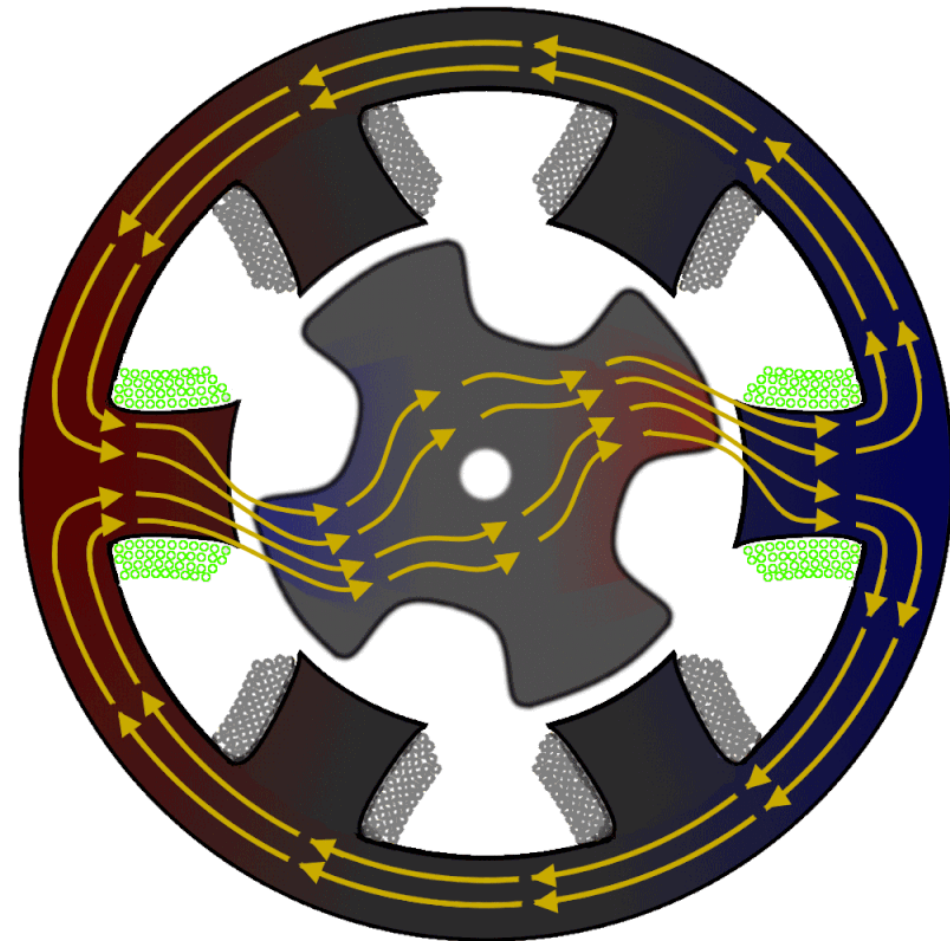
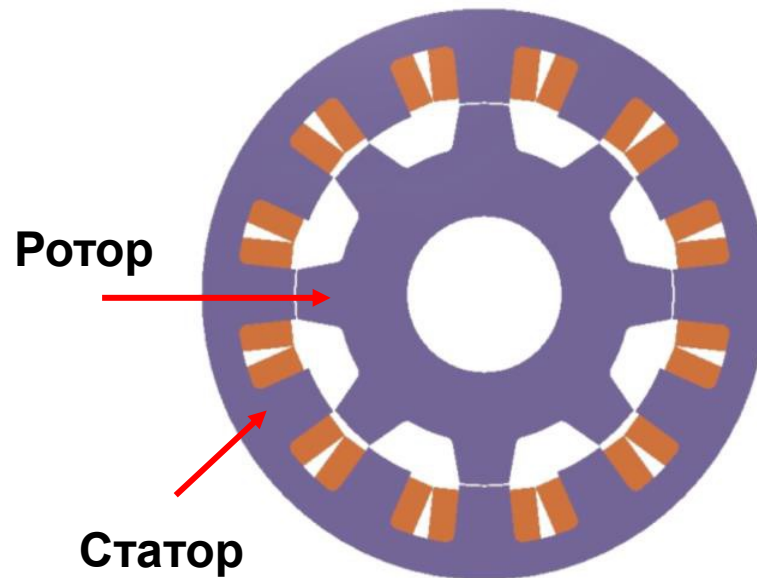


Синхронные реактивные двигатели

Вентильный реактивный двигатель (Switched Reluctance Machine, SRM) представляет собой электродвигатель, который работает за счет реактивного крутящего момента. SRM имеет катушки возбуждения, на статоре. Однако ротор не имеет магнитов или катушек. Это сплошной явнополюсный ротор (с выступающими магнитными полюсами), изготовленный из магнитомягкого материала.

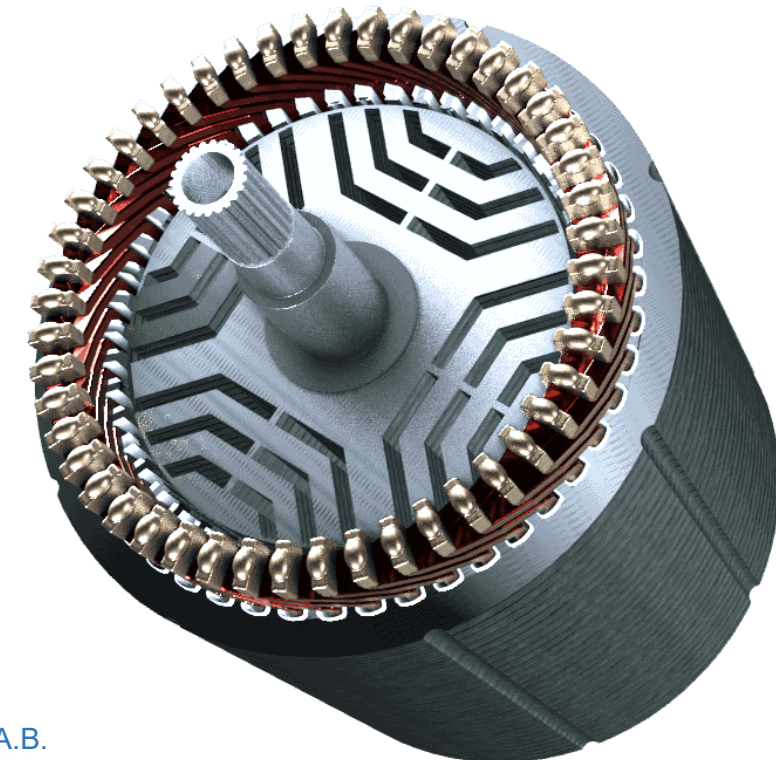
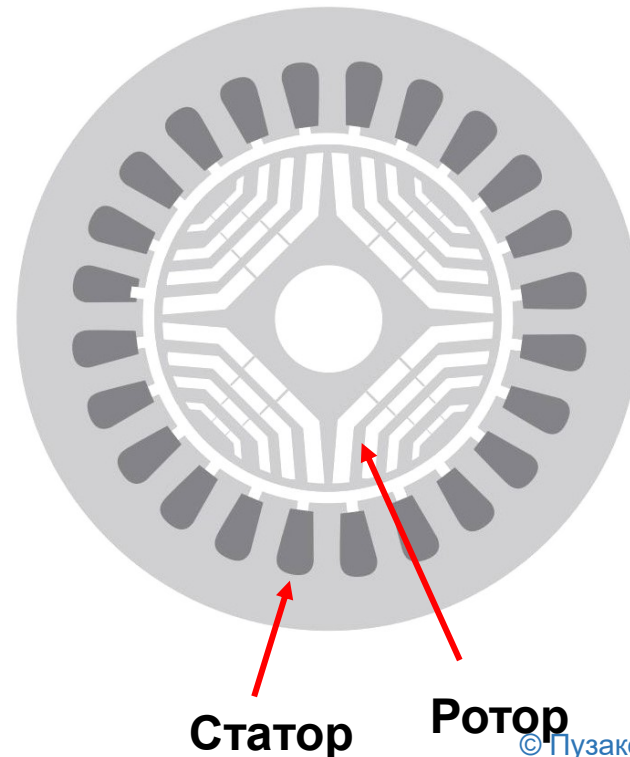
Когда питание подается на обмотки статора, магнитное сопротивление ротора создает силу, которая пытается выровнять полюс ротора с ближайшим полюсом статора.

Для поддержания вращения электронная система управления последовательно включает обмотки полюсов статора так, чтобы магнитное поле статора «вело» полюс ротора, тянув его вперед.



Синхронные реактивные двигатели

Существует два типа реактивных двигателей: вентильные реактивные двигатели (SRM) и **синхронные реактивные двигатели** (*Synchronous Reluctance Motor*, **SynRM**). Вентильные реактивные двигатели имеют сосредоточенные обмотки, а синхронные реактивные двигатели – распределенные обмотки. По сравнению с вентильным реактивным двигателем синхронный реактивный двигатель имеет меньшие пульсации крутящего момента и, следовательно, работает тише. Кроме того, синхронные реактивные двигатели имеют более высокий КПД, чем вентильные реактивные двигатели. Это связано с тем, что вентильный реактивный двигатель требует более высоких фазных токов, а плотность магнитного потока ниже в синхронных реактивных двигателях.



Синхронные реактивные двигатели



Видеофрагмент (<https://youtu.be/1UJaITWU9rE>)

Синхронные двигатели с электрическим возбуждением

Синхронный двигатель с фазным ротором имеет статор, аналогичный синхронному двигателю, который состоит из стального магнитопровода со статорными обмотками. Однако ротор синхронного двигателя с фазным ротором отличается от обычного синхронного двигателя.

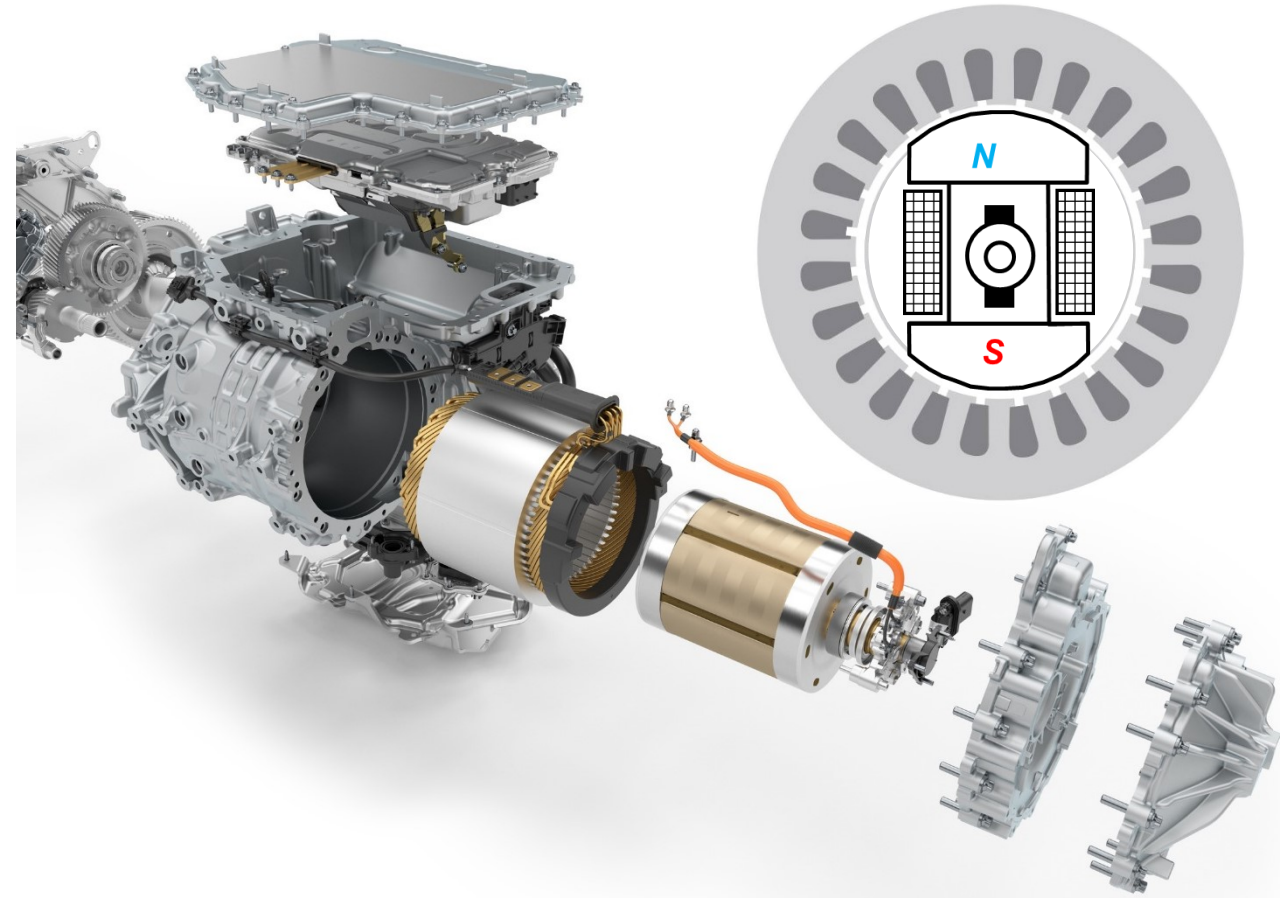
Обмотка ротора синхронного двигателя с фазным ротором обычно состоит из нескольких витков провода, 4 щетки.

Синхронные двигатели с фазным ротором также имеют некоторые ограничения, в том числе:

Сложность: Синхронные двигатели с фазным ротором более сложны по сравнению с другими типами двигателей, такими как асинхронные двигатели или двигатели с постоянными магнитами, из-за наличия контактных колец, щеток и обмоток ротора. Это может усложнить требования к управлению двигателем и техническому обслуживанию.

Более высокая стоимость: дополнительные компоненты, такие как контактные кольца и щетки, могут увеличить стоимость синхронных двигателей с фазным ротором по сравнению с другими технологиями двигателей.

Требования к техническому обслуживанию. Наличие контактных колец и щеток в контуре ротора может потребовать регулярного технического обслуживания, такого как очистка, проверка и замена, что может увеличить эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание.

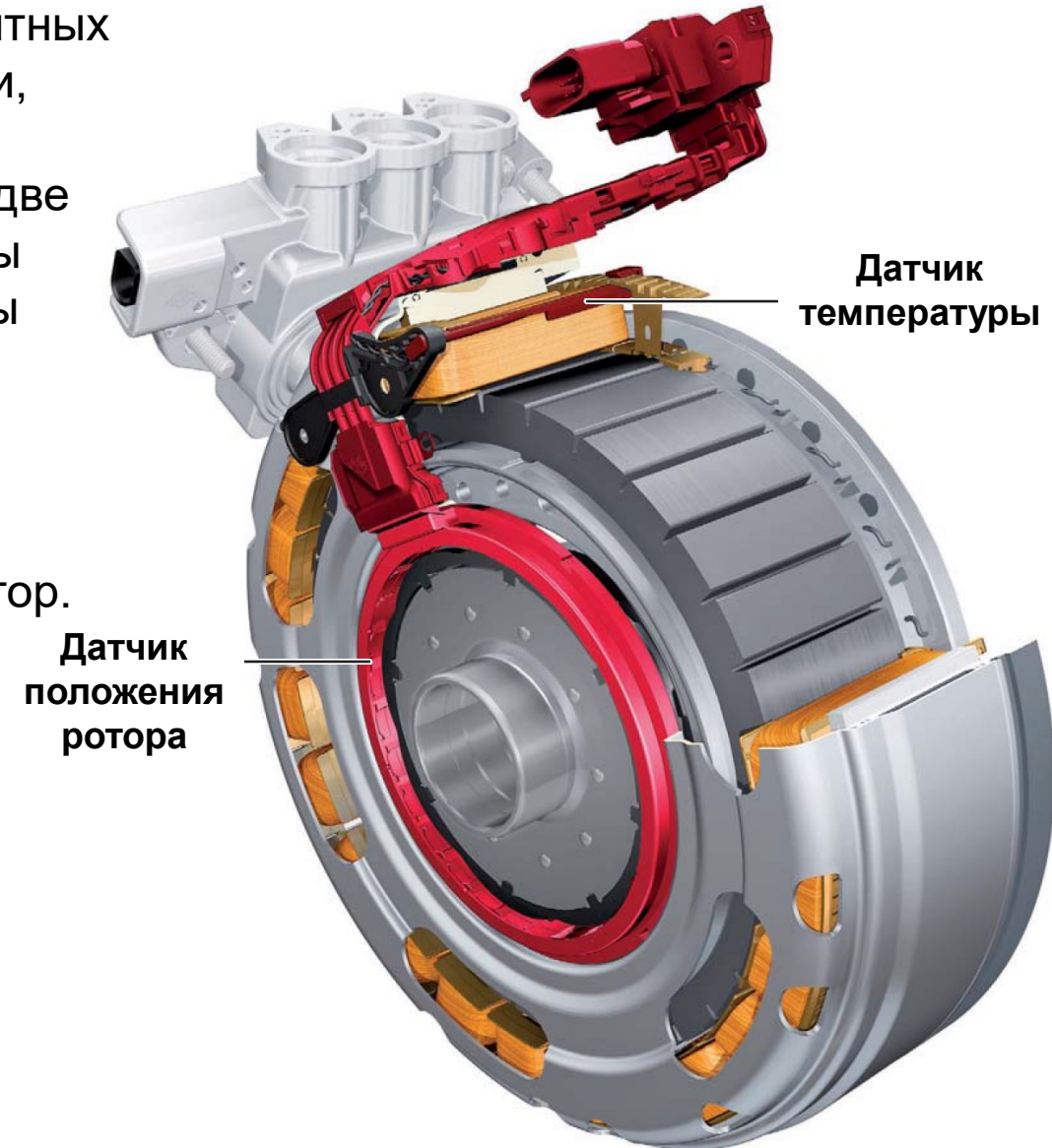


Датчик положения ротора ТЭД

Датчик положения ротора ТЭД, состоит из 24 электромагнитных катушек и металлической волновой шайбы с восемью выступами, жёстко связанной с ротором.

В каждой катушке находятся одна **обмотка возбуждения** и две **вторичных обмотки**. Обмотки каждой из катушек изолированы друг от друга, соответствующие обмотки всех катушек соединены последовательно.

Вторичные обмотки 1 и 2 отличаются друг от друга различным числом витков обмотки в каждой из катушек. Действие датчика положения ротора ТЭД основано на принципе **резольвера**: выражаясь упрощённо, датчик представляет собой трансформатор.



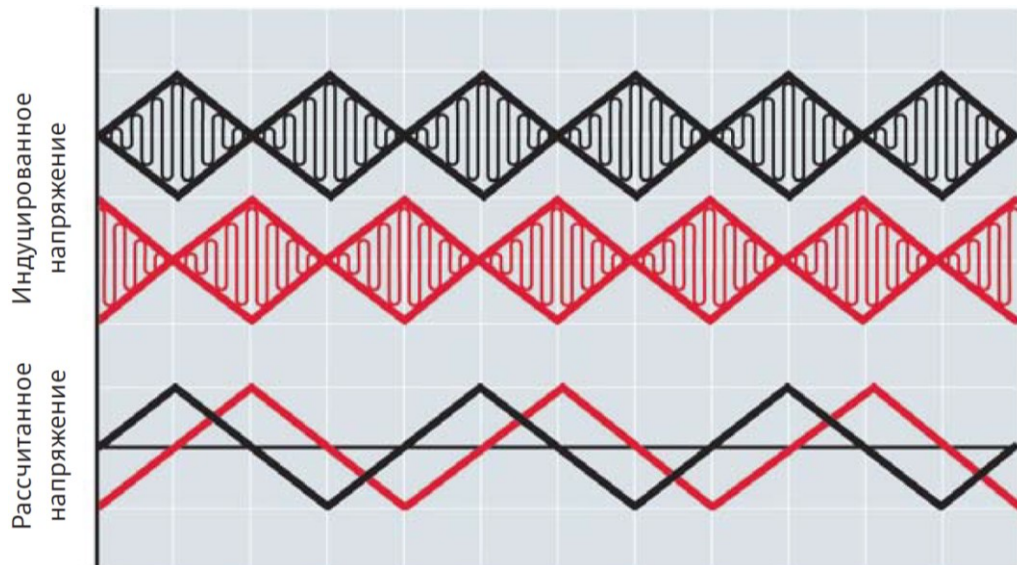
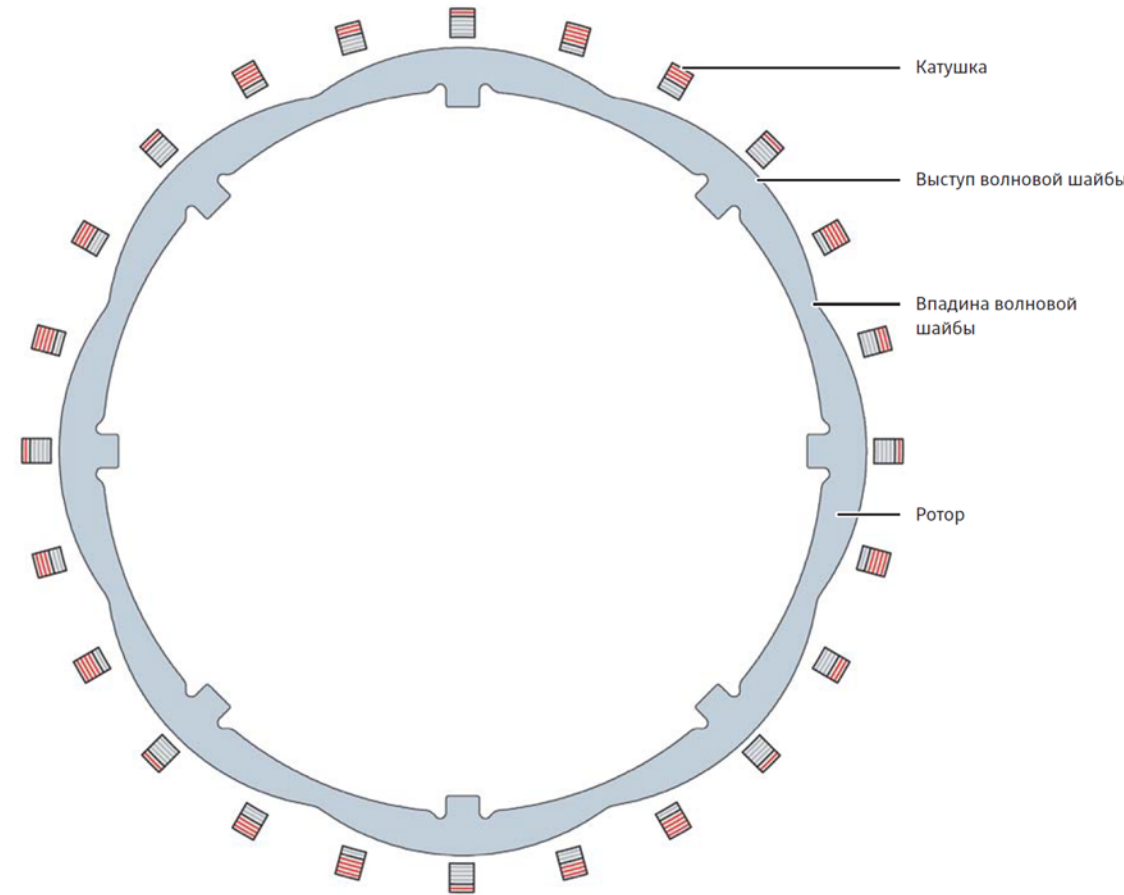
Датчик положения ротора ТЭД

Когда ротор начинает вращаться, вместе с ним вращается волновая шайба. Выступы шайбы переходят от катушки к катушке и усиливают индукцию во вторичных обмотках.

Из-за различного числа витков во вторичных обмотках 1 и 2 в каждой из катушек происходит сдвиг амплитуд на 90° .

На основании амплитуд блок управления электропривода рассчитывает положение ротора в тяговом двигателе.

По изменению положения ротора рассчитывается число оборотов тягового двигателя электропривода.



Время

Охлаждение электрических машин

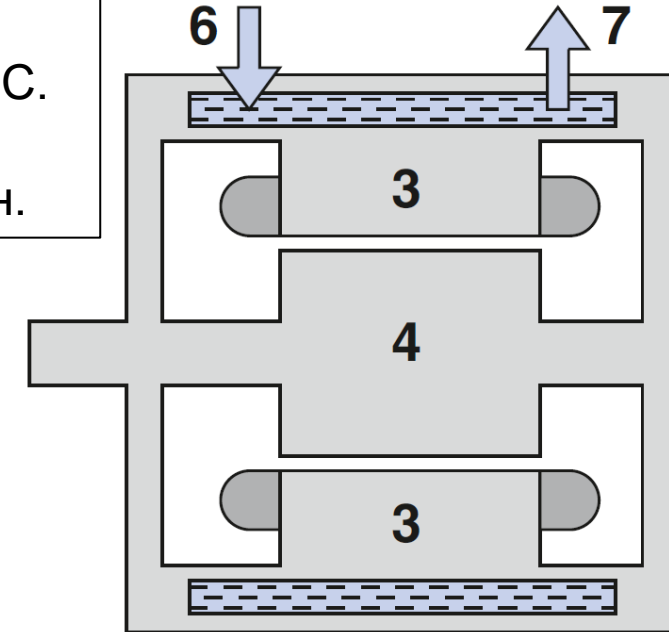
Потери в электрических машинах рассеиваются в охлаждающую среду. Мощная система охлаждения защищает отдельные компоненты от перегрева. Недостаточное рассеивание отдельных тепловых потерь электрической машины ограничивает допустимую длительную мощность.

В режиме перегрузки тепловая масса (теплоемкость) ограничивает время до достижения предельной температуры.

Для охлаждения электрической машины со стороны автомобиля предусмотрены различные охлаждающие средства. Наиболее часто встречающимся типом является **водяное охлаждение**, т. е. интеграция в водно-гликолевую схему, которую также можно использовать для охлаждения силовой электроники.

Здесь сердечник статора заключен в рубашку водяного охлаждения.

Смесь гликоля и воды:
Температура от 60 до 85°C.
Расход охлаждающей
жидкости от 1 до 10 л/мин.



3 – Статор, **4** – Ротор, **6** – Подача охлаждающей жидкости из контура охлаждения, **7** – Отвод охлаждающей жидкости в контур охлаждения

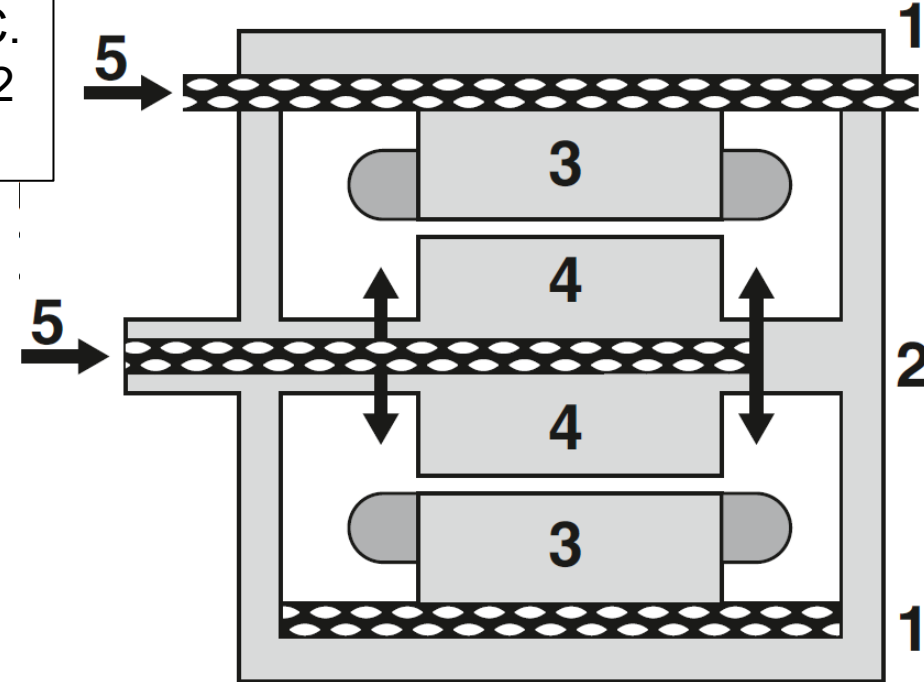
Охлаждение электрических машин

Масло: Температура от 70 до 100°C.
Расход охлаждающей жидкости от 2 до 8 л/мин.

Охлаждение маслом рекомендуется для интеграции в механическую коробку передач или дифференциал главной передачи. Охлаждение также осуществляется в корпусе электрической машины. Но ротор и обмотка статора также могут охлаждаться напрямую.

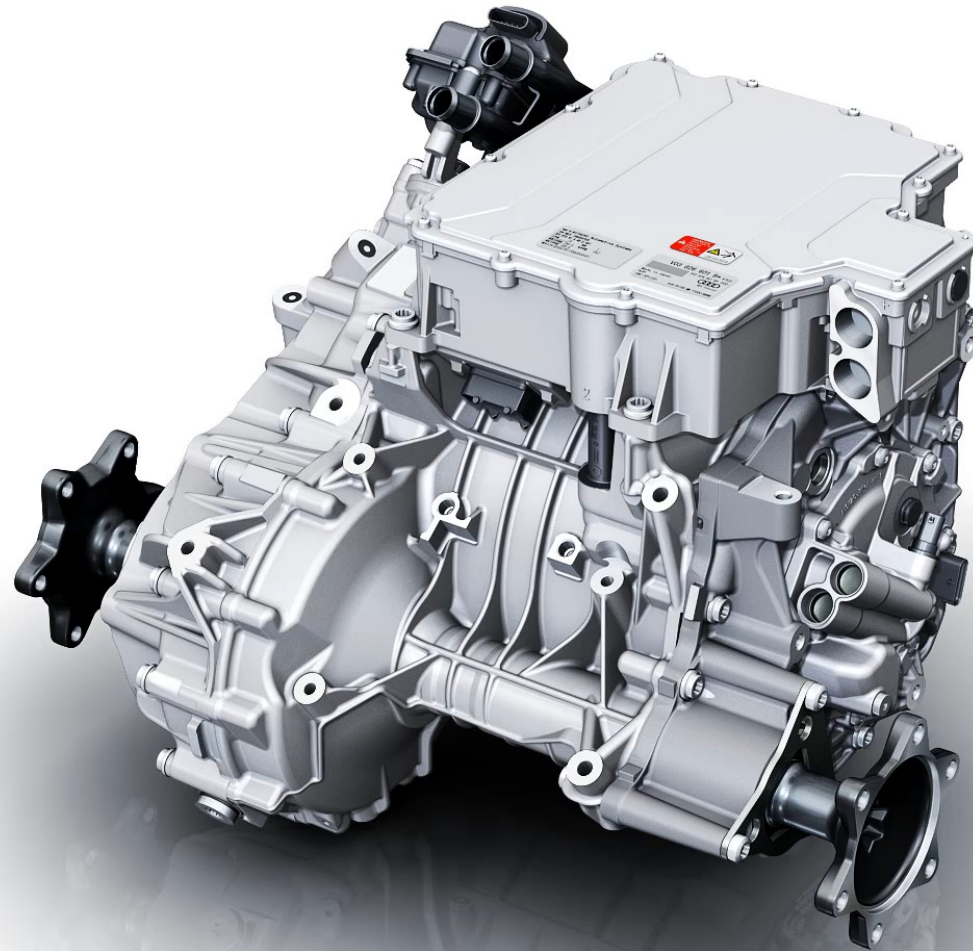
Также используется **воздушное охлаждение**. Здесь воздух проходит через вентилятор через охлаждающие ребра большой площади вдоль поверхности статора или даже в осевом направлении вдоль ротора.

Эффект охлаждения определяется не только типом охлаждения, но также температурой охлаждающей жидкости и потоком охлаждающей жидкости



1 – Поверхность статора, 2 – Внутреннее охлаждение масла, 3 – Статор, 4 – Ротор, 5 – Подача масла

Охлаждение электрических машин

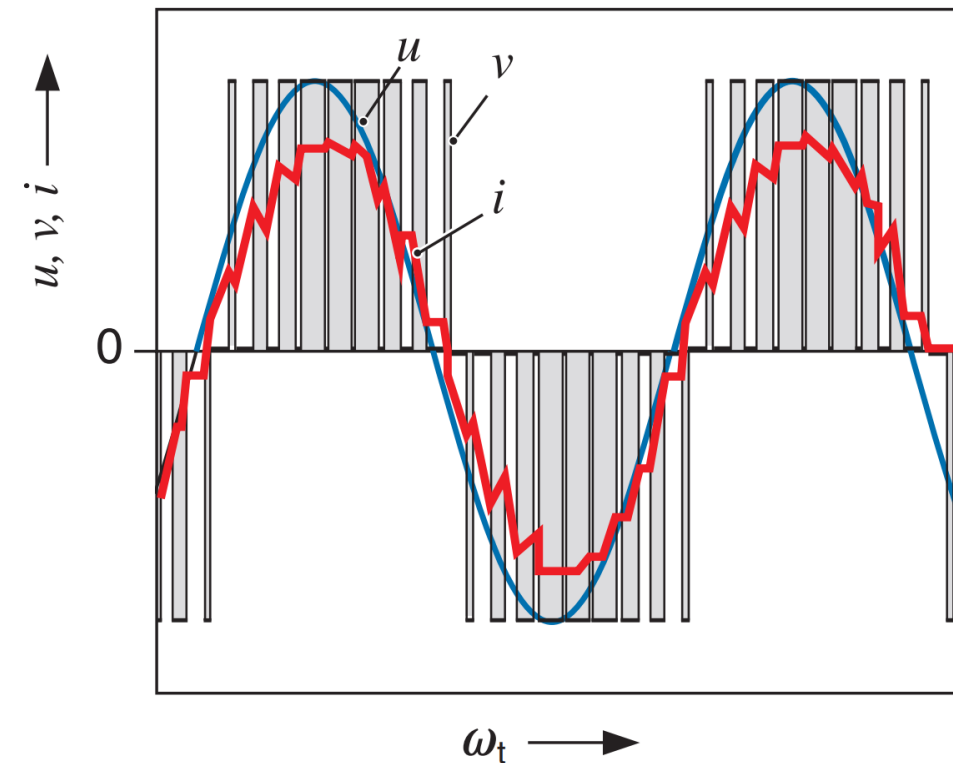
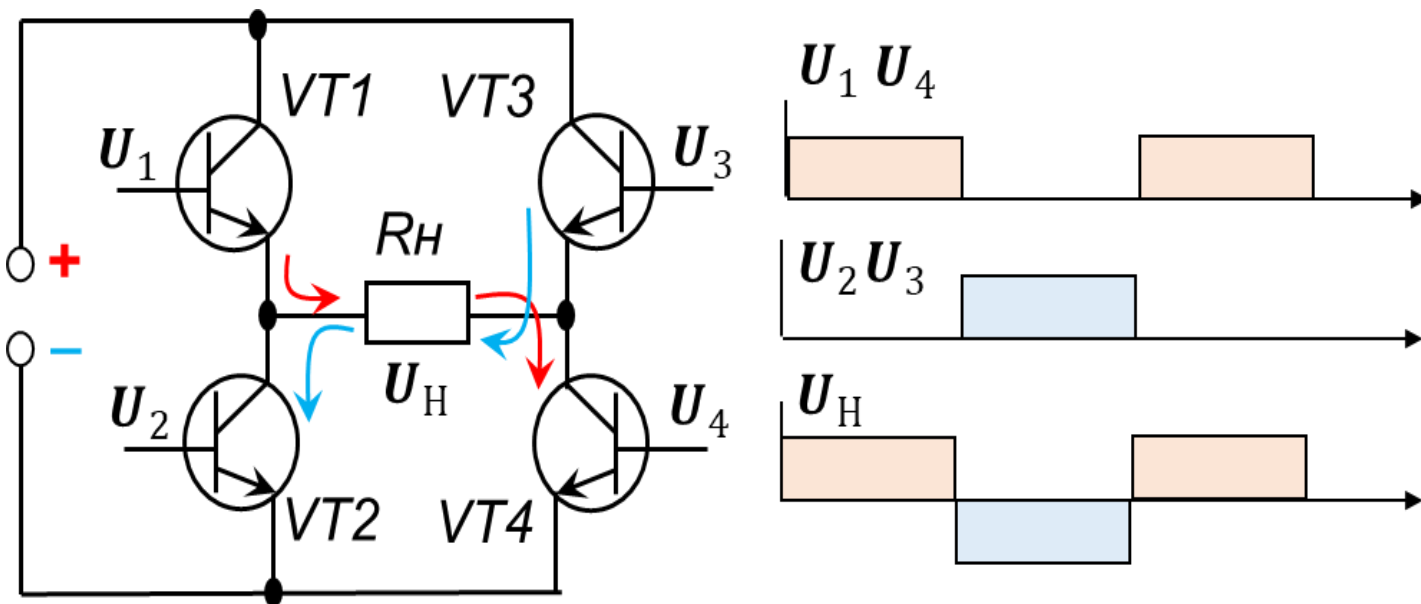


Инвертор

Для получения переменного напряжения в *инверторах* используют ключи-коммутаторы, с помощью которых разные полюса нагрузки периодически подключаются к источнику постоянного напряжения.

Инверторы и выпрямители выполняют взаимно обратные функции. Поэтому схема инвертора может быть получена из схемы выпрямителя, подключив к его входу нагрузку, а к выходу источник постоянного напряжения и заменив диоды на транзисторы.

Если в мостовой схеме подавать в первой половине периода напряжение на транзисторы $VT1$ и $VT4$, а во второй половине периода – на транзисторы $VT2$ и $VT3$, то на нагрузке появятся разнополярные импульсы прямоугольной формы



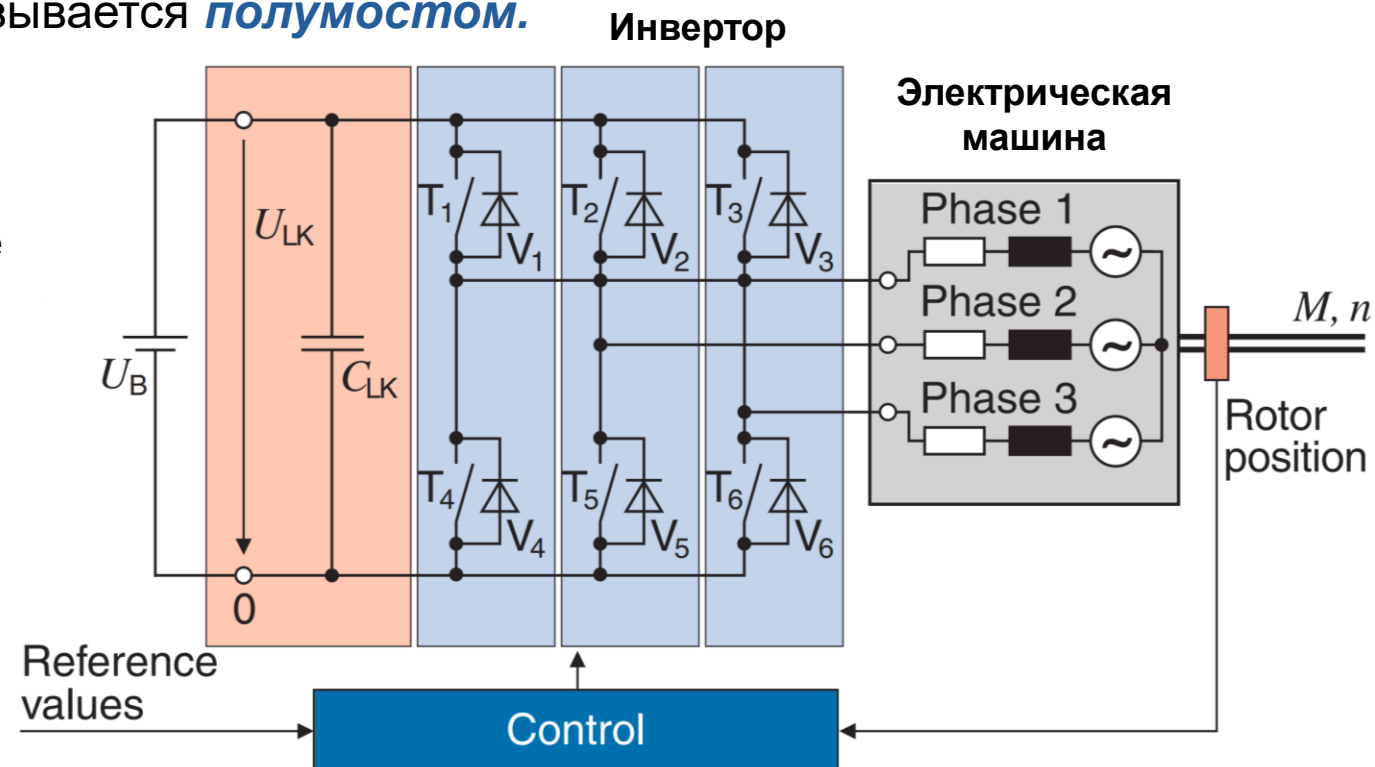
В базовой схеме инвертора требуется шесть силовых выключателей. На каждой из трех фаз обмотки один из силовых ключей подключен к положительной полярности, а другой – к отрицательной полярности питающего постоянного напряжения.

Силовые переключатели, подключенные к положительной полярности, называются «переключателями верхнего плеча», а переключатели, подключенные к отрицательной полярности, называются «переключателями нижнего плеча».

Все эти шесть переключателей образуют трехфазное мостовое соединение. Комбинация переключателя верхнего плеча и переключателя нижнего плеча называется **полумостом**.

Таким образом, трехфазное мостовое соединение состоит из трех полумостов.

Транзисторы **IGBT** (биполярный транзистор с изолированным затвором) используются в качестве силовых транзисторов в диапазоне тягового напряжения транспортных средств от 150 до 800 В.



Конвертор

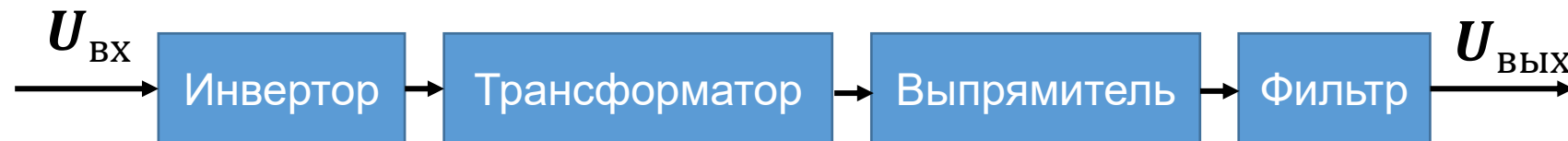
Преобразователи постоянного тока в постоянный другой величины называют **конверторами**. Основными элементами инверторов и конверторов являются коммутирующие приборы (тиристоры и транзисторы), которые периодически прерывают ток или изменяют его направление.

В конверторе осуществляется:

- сначала преобразование постоянного напряжения в переменное;
- изменение уровня переменного напряжения с помощью трансформатора;
- затем обратное преобразование переменного напряжения в постоянное.

Конвертор включает в себя:

- преобразователь постоянного напряжения в переменное напряжение обычно прямоугольной формы, называемый **инвертором**;
- повышающий или понижающий **трансформатор**, обеспечивающий требуемый номинал выходного постоянного напряжения;
- выпрямитель и **фильтр**, преобразующие переменный ток в постоянный.

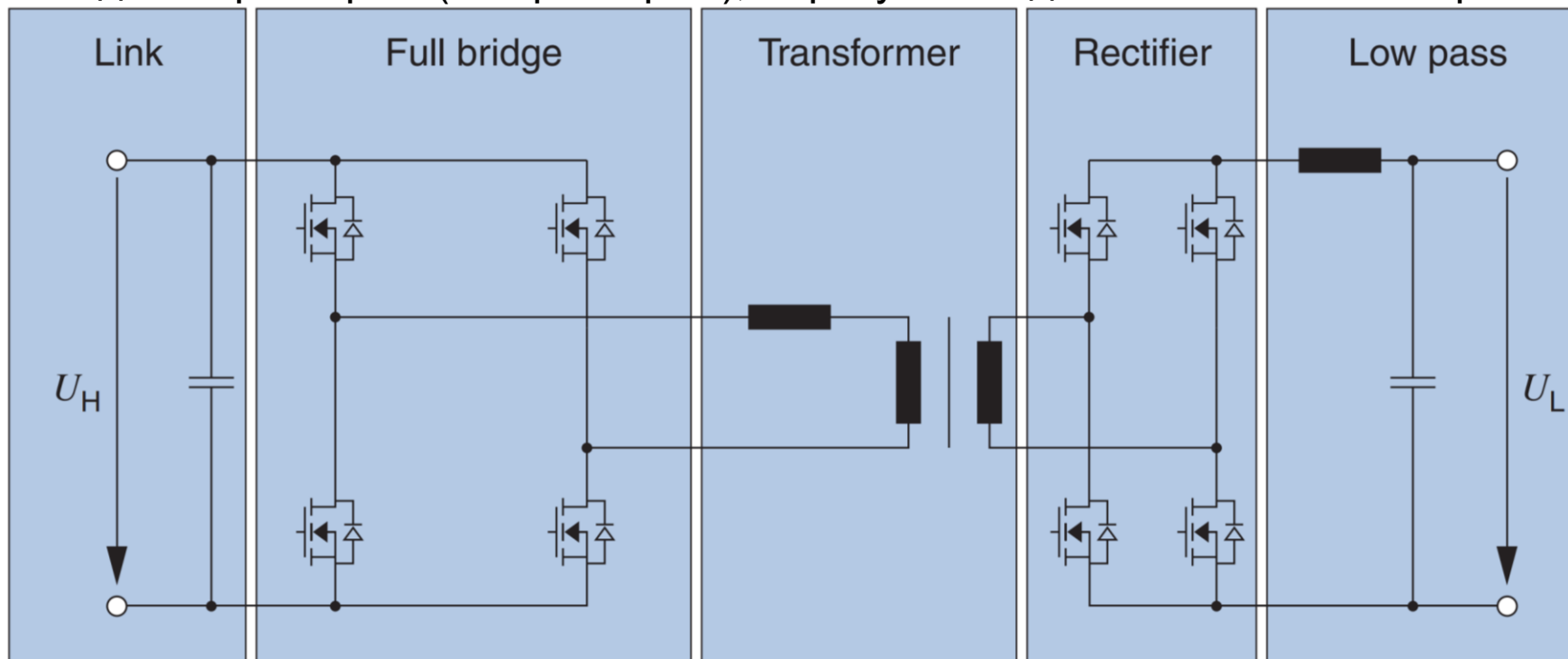


Конвертор

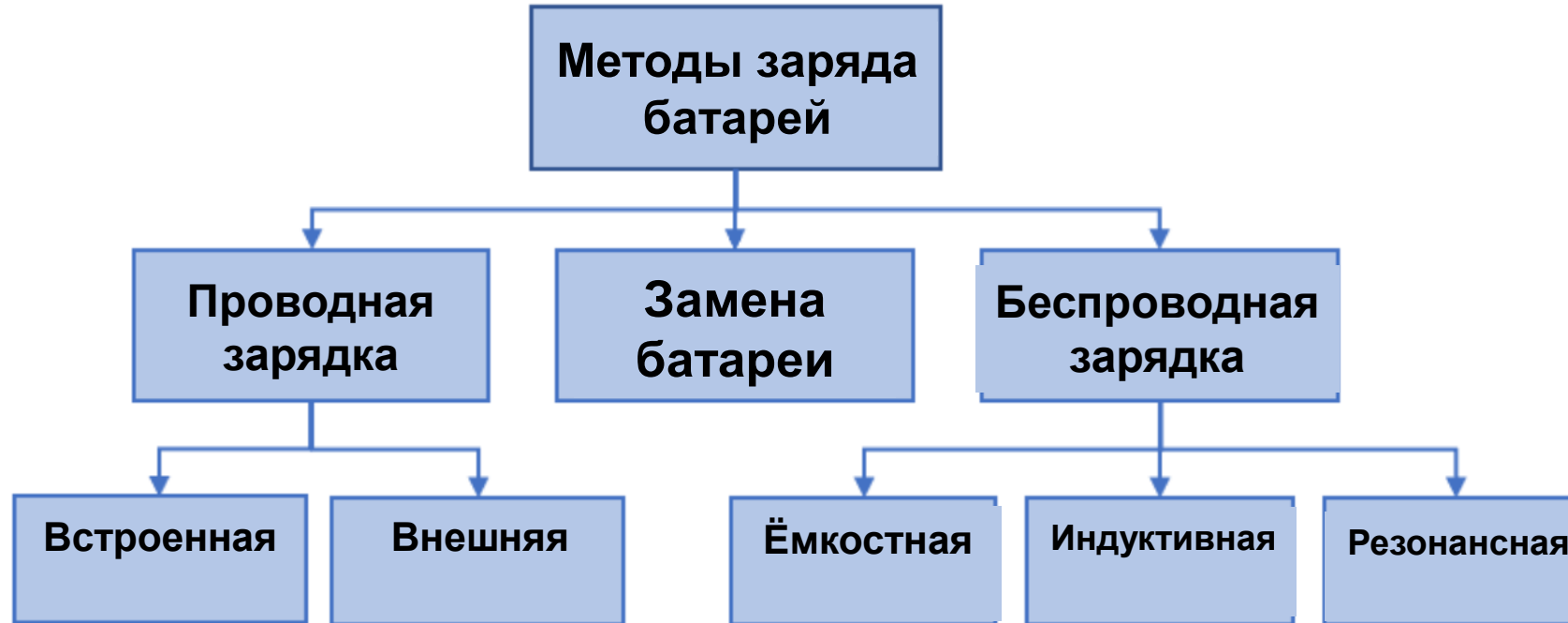
На рисунке показана базовая конструкция электрически изолированного конвертора. Сначала входное постоянное напряжение (высокое напряжение) «пресекается», т. е. преобразуется в переменное напряжение **ПОЛНЫМ МОСТОМ**.

Трансформатор передает переменное напряжение с первичной обмотки на вторичную. Здесь принято понижающее соотношение от 1:10 до 1:13. Теперь адаптированное электрически изолированное выходное напряжение подается в качестве переменного напряжения на вторичную обмотку трансформатора.

Это переменное напряжение преобразуется **выпрямителем** в пульсирующее постоянное напряжение и сглаживается выходным фильтром (LC-фильтром), образуя выходное постоянное напряжение.



Зарядка тяговых батарей



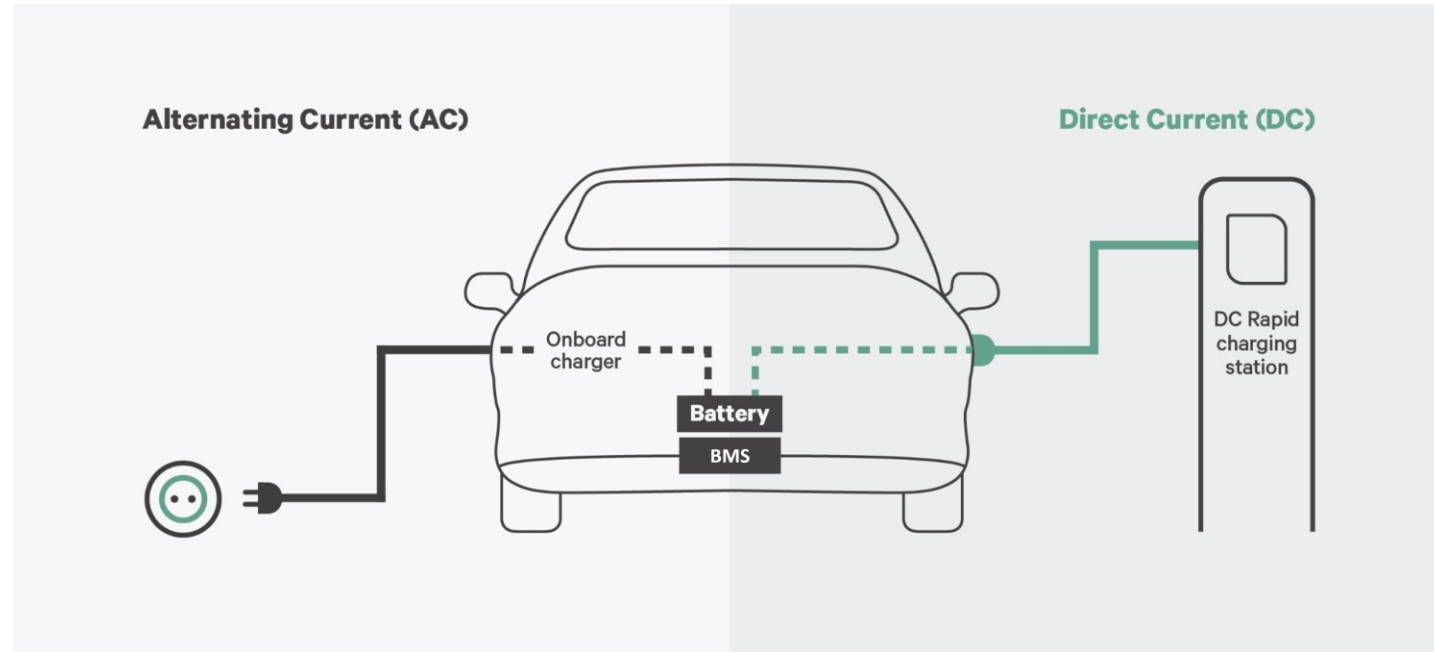
В настоящее время технология **проводной зарядки** является основной используемой технологией. Для зарядки электромобиля можно использовать два типа энергии: переменный ток (AC) и постоянный ток (DC).

Аккумулятор внутри электромобиля может хранить только постоянный ток, поэтому, прежде чем устройство можно будет зарядить, источник переменного тока из сети должен быть преобразован в постоянный ток.

Зарядка тяговых батарей

Зарядка переменным током

При зарядке переменным током преобразователь встроен внутри автомобиля и известен как «бортовое зарядное устройство». Бортовое зарядное устройство преобразует мощность переменного тока в постоянный, а затем подает ее в аккумулятор автомобиля. Сегодня это самый распространенный способ зарядки электромобилей.



Зарядка постоянным током

В случае зарядки постоянным током зарядное устройство постоянного тока имеет преобразователь внутри самого зарядного устройства, и преобразование энергии происходит вне автомобиля. Это означает, что зарядное устройство может подавать питание непосредственно на аккумулятор автомобиля и не требует бортового зарядного устройства.

Режимы зарядки тяговых батарей

Существует **четыре режима зарядки** электромобилей, а режим 3 включает несколько вариантов.

Режим 1: подключение к бытовой розетке. Максимальный ток составляет 16 А. Связь между автомобилем и зарядным устройством отсутствует. Защита предохранителем с помощью устройства защитного отключения (УЗО) является обязательной в новых установках, но не всегда имеется в старых установках. Этот режим используется редко.

Режим 2: также подключение к бытовой розетке переменного тока, но включает функции безопасности в кабельном блоке управления (ICCB). Максимальный ток составляет 32 А, а зарядный кабель оснащен встроенным устройством контроля и защиты кабеля (IC-CPD). Это устройство включает в себя устройство защиты от остаточного тока (УЗО) и обменивается данными с автомобилем для управления процессом зарядки.

Режим 3: подключение к зарядной станции для зарядки от сети переменного тока и не включает ICCB. Максимальный ток – 63 А. Зарядная станция связывается с автомобилем и управляет зарядкой. Режим 3 разделен на три случая:

В **случае А** используется зарядный кабель, постоянно подключенный к автомобилю. Этот случай разворачивается редко.

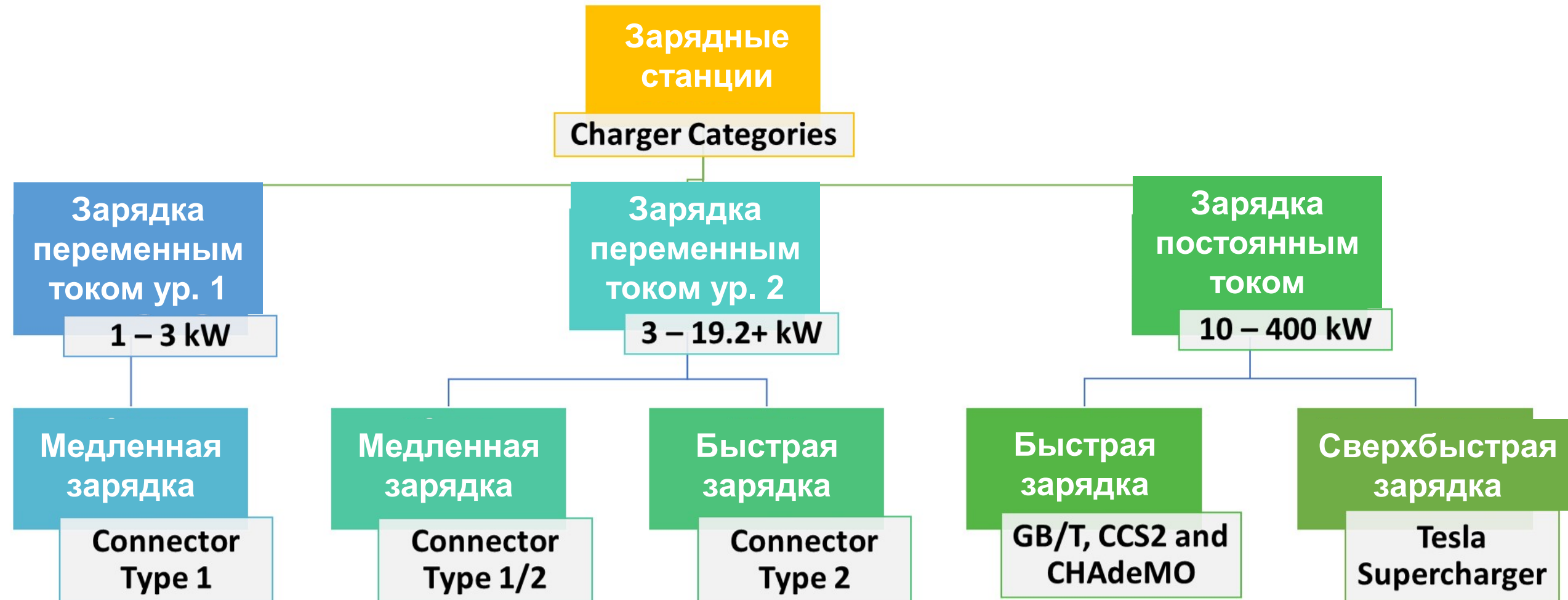
В **случае В** используется мобильный зарядный кабель переменного тока, поставляемый с электромобилем, с вилками на обоих концах: один для электромобиля, а другой для зарядного устройства.

В **случае С** используется зарядный кабель, постоянно подключенный к зарядному устройству. Разъем для зарядки автомобиля используется для подключения к разъему для зарядки электромобиля.

Режим 4: описывает быструю зарядку постоянным током и включает в себя возможности связи и несколько функций безопасности. Кабели постоянно подключены к зарядному устройству и вставляются в розетку автомобиля.

Классификация зарядных станций

Зарядные устройства для электромобилей подразделяются на три уровня: *зарядка переменным током уровня 1*; *зарядка переменного тока уровня 2* и *зарядка постоянным током*.



Классификация зарядных устройств

Уровни

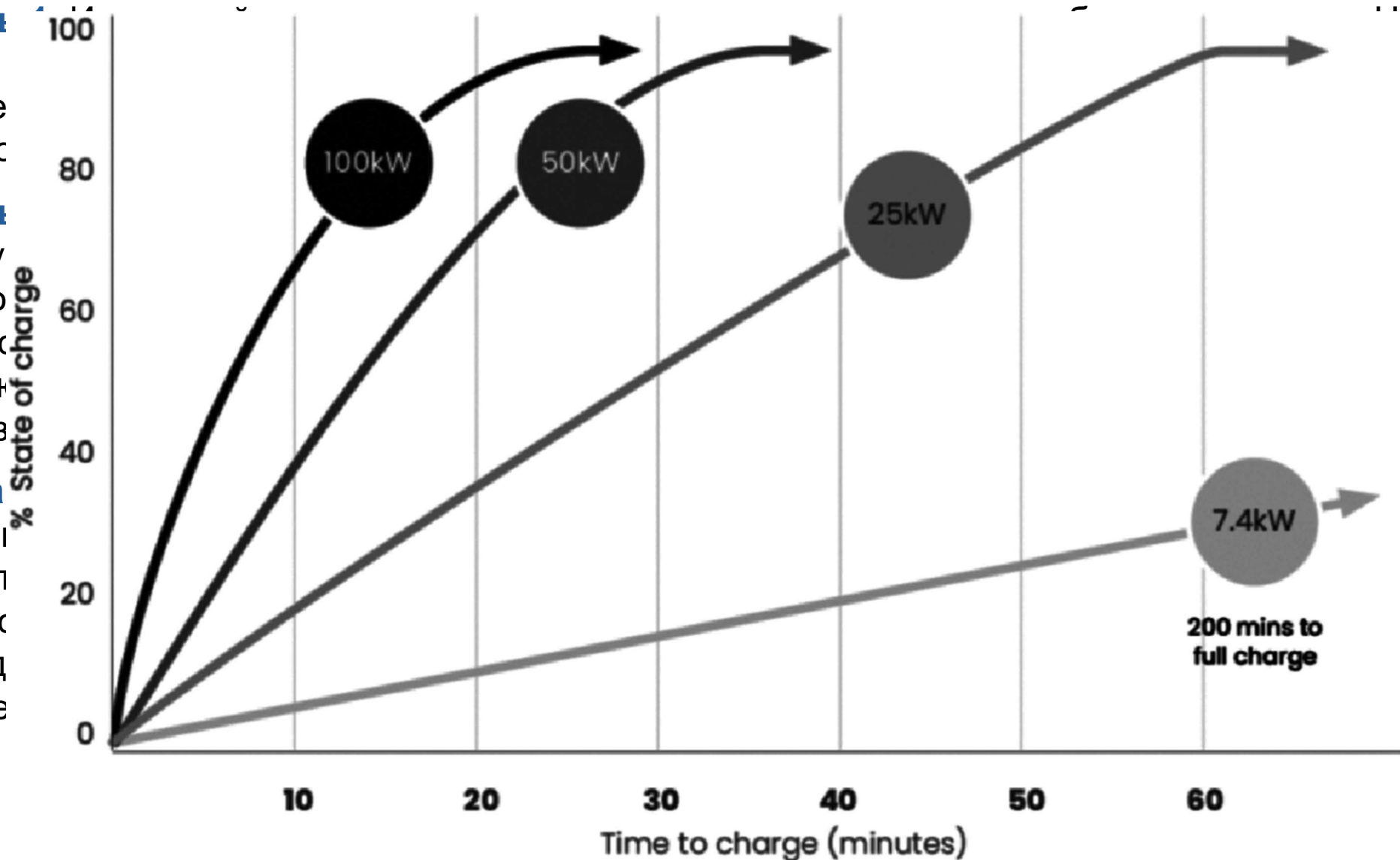
МОЩНОСТЬ
определяе
однофазнс

Уровни

трехфазну
В Северно
варьируетс
МОЩНОСТЬ
Эти типы з

Зарядка

постоянно
автомобил
варьируетс
80% заряд
настоящее

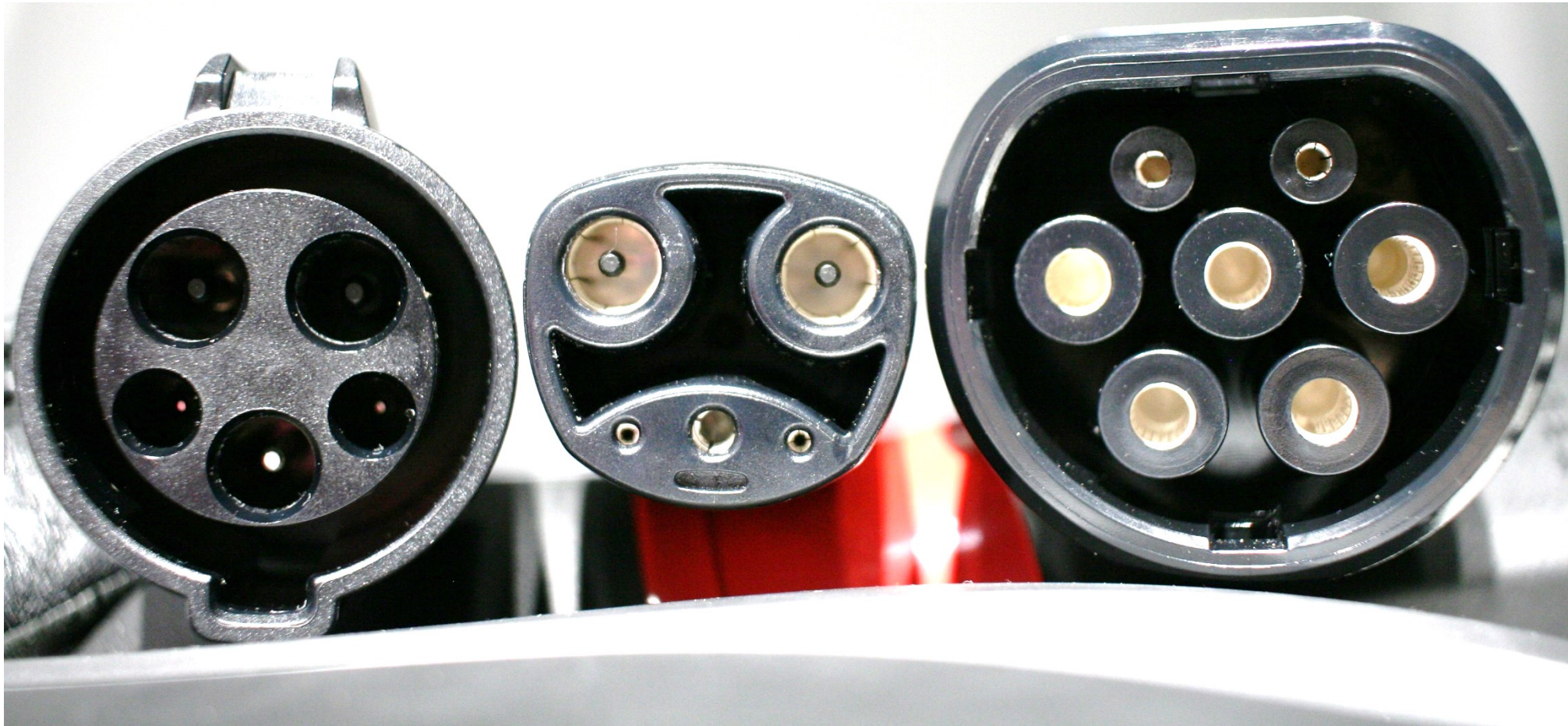


минальная
уровня 1
пользуются
до 2,5 кВт.
фазную, так и
х по всему миру.
ощность
гупны с выходной
эменного тока.
отелей и т. д.
ные устройства
ойств внутри
ного устройства
, могут достичь
тупные в
НЫХ мест.

Зарядные разъёмы


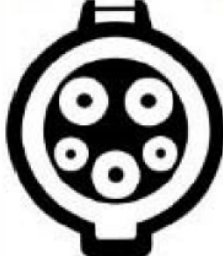

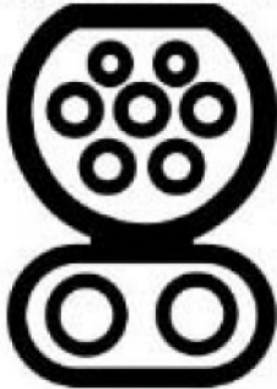





Электромобили производят по всему миру. Сегодня рынок насчитывает **8** основных видов разъёмов для зарядки электромобилей.

Разъём – это гнездо в электромобиле, **коннектор** – штекер кабеля, который подключается к разъёму. Некоторые зарядные станции не оборудованы зарядным кабелем, и на них тоже располагается разъём.



Типы зарядных разъёмов

Table 5. EV charging Inlet classifications by region.

Countries	EU	North America	Japan	China	Tesla
AC	<p>Type 2</p>  <p>IEC 62196-2</p>	<p>Type 1</p>  <p>SAE J1772 / IEC 62196-2</p>		<p>GB/T AC</p>  <p>GB/T 202034.2</p>	
DC	<p>CCS Combo 2</p>  <p>SAE J1772 IEC 62196-3</p>	<p>CCS Combo 1</p>  <p>SAE J1772 IEC 62196-3</p>	<p>CHAdeMO</p>  <p>IEC 62196-4</p>	<p>GB/T DC</p>  <p>GB/T 202034.3</p>	<p>Tesla AC/DC</p>  <p>Used only in North America</p>
			<p>High Power ChaoJi</p> 		

Type 1

Type 1 (SAE J1772, J-PLUG, J-штекер) Стандарт медленной зарядки.

Разъём Type 1 является стандартом в Японии и США и используется для зарядки большинства электромобилей, произведённых для продажи в этих странах. Некоторое время также использовался в Европе, но был в итоге заменён европейским разъёмом Type 2.

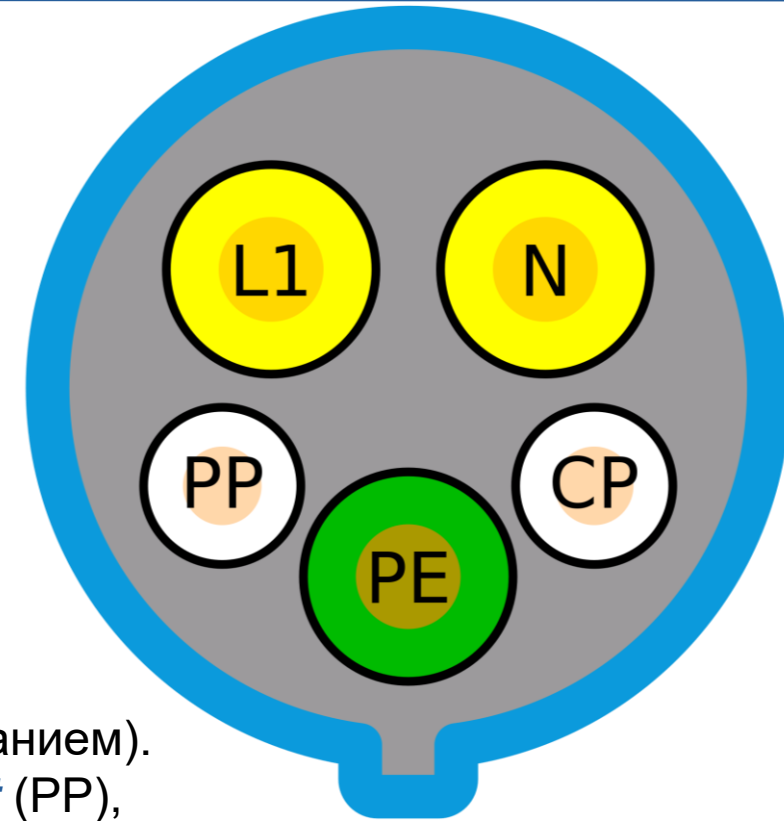
Параметры Type 1: максимальная мощность – 7,4 кВт/ч, максимальное напряжение – 220 В, ток – 32 А.

Электромобили с разъёмом Type 1: все электромобили, произведенные в США и для импорта в США. Примеры – Nissan Leaf, BMW i3, Audi E-Tron, Chevrolet Bolt и другие марки.

Разъём имеет **5 контактов** (3 основных контакта для передачи тока и 2 меньших контакта для связи между электромобилем и зарядным оборудованием).

Из двух меньших контактов связи один контакт известен как **Proximity Pilot** (PP), который сообщает зарядному оборудованию о типе кабеля, подключенного к розетке, поскольку кабели разной толщины могут выдерживать разное количество электрического тока.

Другой контакт известен как **Control Pilot** (CP), который обеспечивает двустороннюю связь между электромобилем и зарядным оборудованием и контролирует максимальную величину тока, которую электромобиль может потреблять в любой момент времени.



Type 2

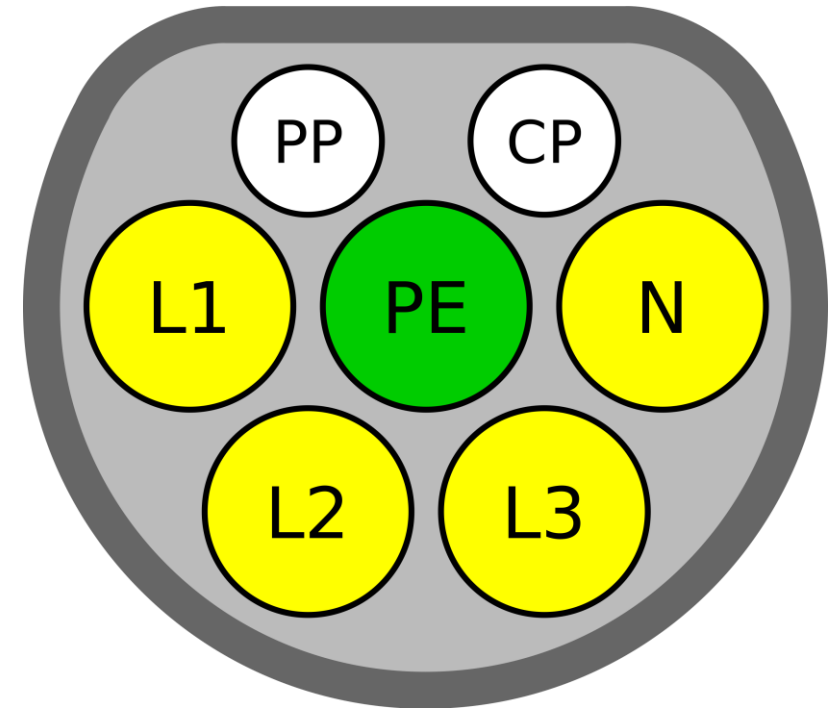
Type 2 (Mennekes) Стандарт медленной зарядки.

Разъём Type 2 типичен для электромобилей европейского производства или электромобилей, выпущенных для рынка ЕС.

Параметры Type 2: максимальная мощность – 22 кВт/ч, максимальное напряжение – 380 В, ток 60 А.

Электромобили с разъемом Type 2: Tesla, Nissan Leaf, Hyundai Ioniq, Kia Soul, VW e-golf, а также модели MG, Polestar, Renault, Ford и другие марки, нацеленные на европейский рынок.

Этот разъем имеет 7 контактов (5 основных контактов для передачи тока и 2 меньших контакта для связи между электромобилем и зарядным оборудованием).



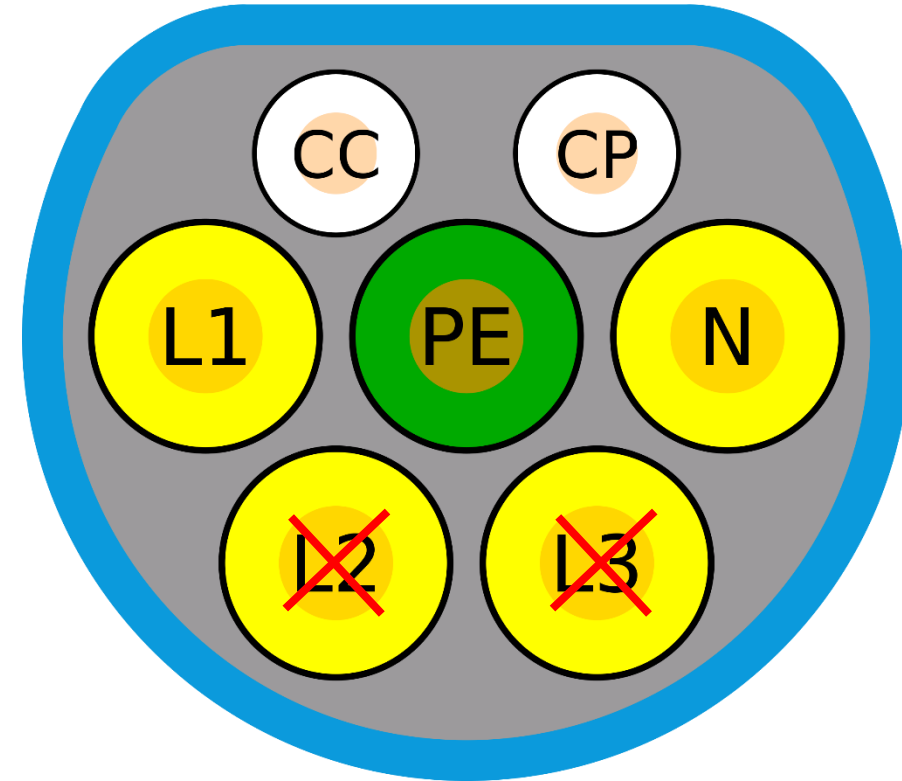
GB/T (GBT) AC

GB/T (GBT) AC Стандарт медленной зарядки.

GB/T используется в электромобилях китайского производства, где является национальным стандартом. GB/T выглядит как европейский Type 2, однако отличается – разъем и коннектор в Китае поменяли местами.

Параметры GB/T (AC): максимальная мощность – 7,4 кВт/ч, максимальное напряжение – 220 В, ток – 32 А.

Этот разъем поддерживает только однофазную зарядку переменным током и основан на стандарте GB/T 20234.2. Этот разъем также имеет 7 контактов, как и разъем типа 2, но он использует только 3 контакта для передачи тока и 2 контакта для связи. Остальные два контакта просто не используются.

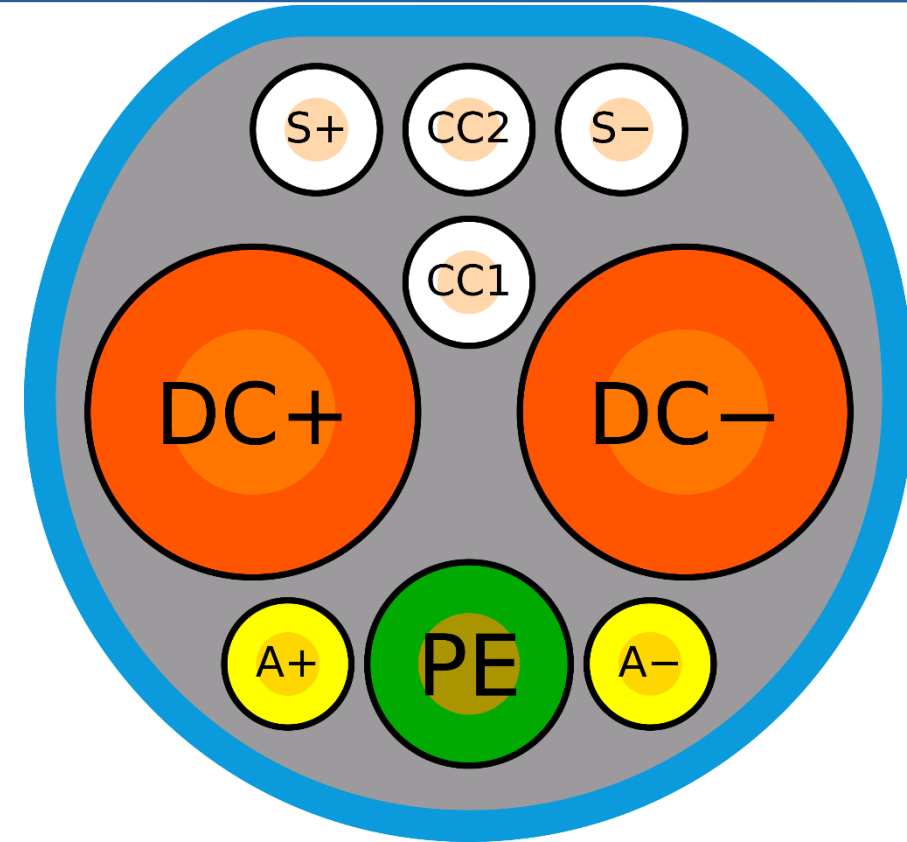


GB/T (GBT) DC

GB/T (GBT) DC Стандарт быстрой зарядки.

Параметры GB/T (DC): максимальная мощность – 237,5 кВт/ч, максимальное напряжение – 950 В, ток – 250 А.

Электромобили с разъёмом GB/T: все электромобили, произведенные в Китае и для импорта в Китай. Примеры – Tesla Model 3, S и X, Chevrolet Volt, Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona, Volkswagen e-Golf, JAC, Hongguan Mini и другие.



CCS Combo

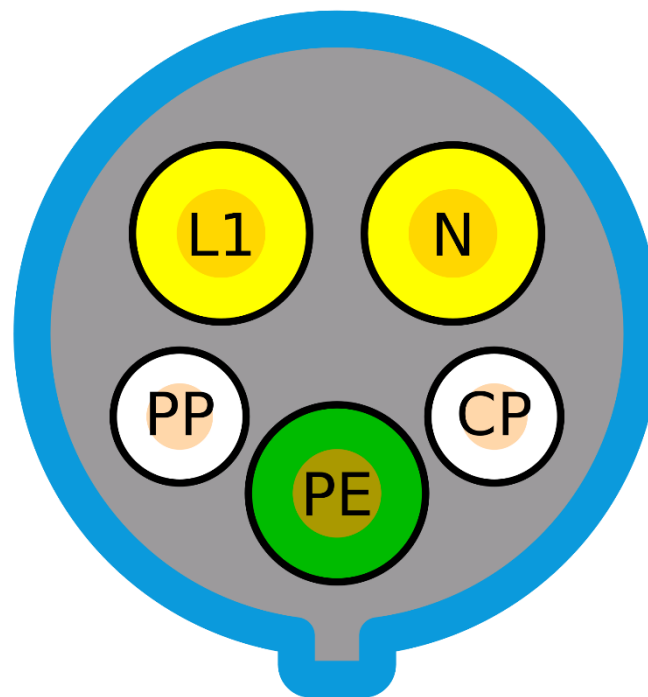
CCS Combo (Combined Charging System)

Стандарт быстрой зарядки.

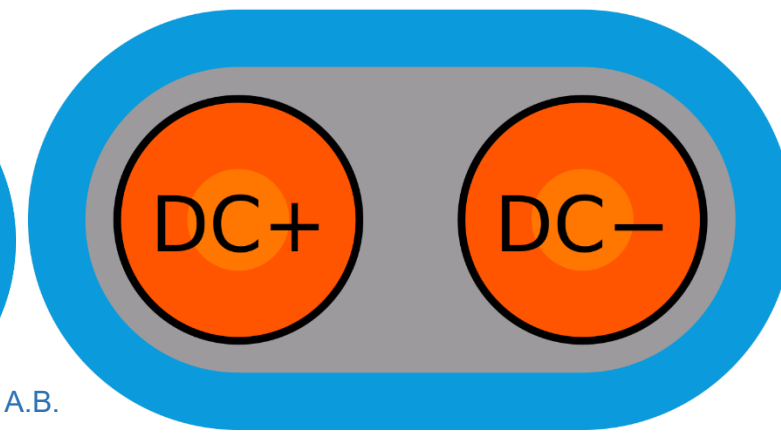
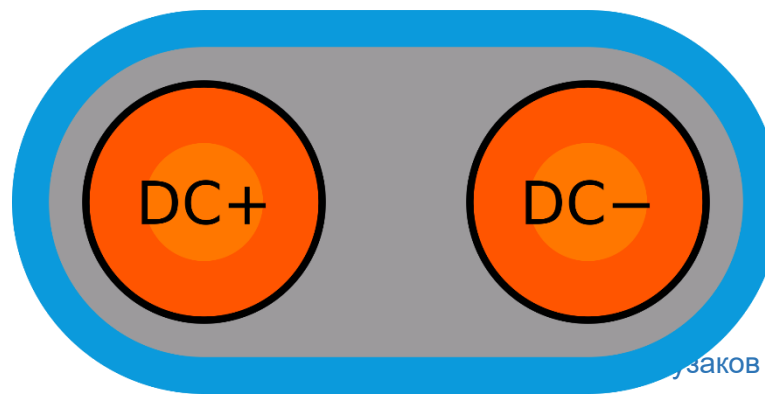
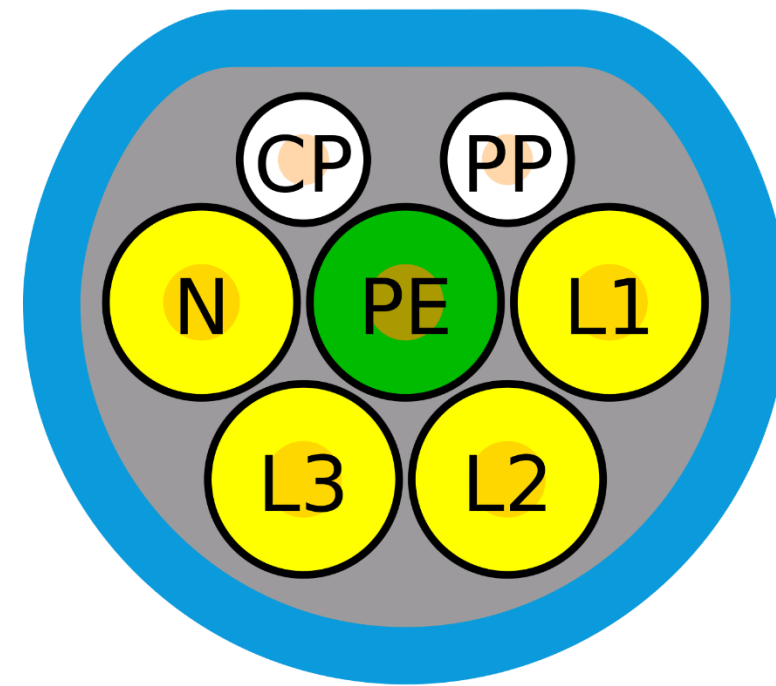
Электромобили с разъемом CCS Combo 1: все электромобили, произведенные в США и для импорта в США. Примеры – Nissan Leaf, BMW i3, Audi E-Tron, Chevrolet Bolt и другие марки.

Электромобили с разъемом CCS Combo 2: Tesla, Nissan Leaf, Hyundai Ioniq, Kia Soul, VW e-golf, а также модели MG, Polestar, Renault, Ford и другие марки, нацеленные на европейский рынок.

CCS1



CCS2



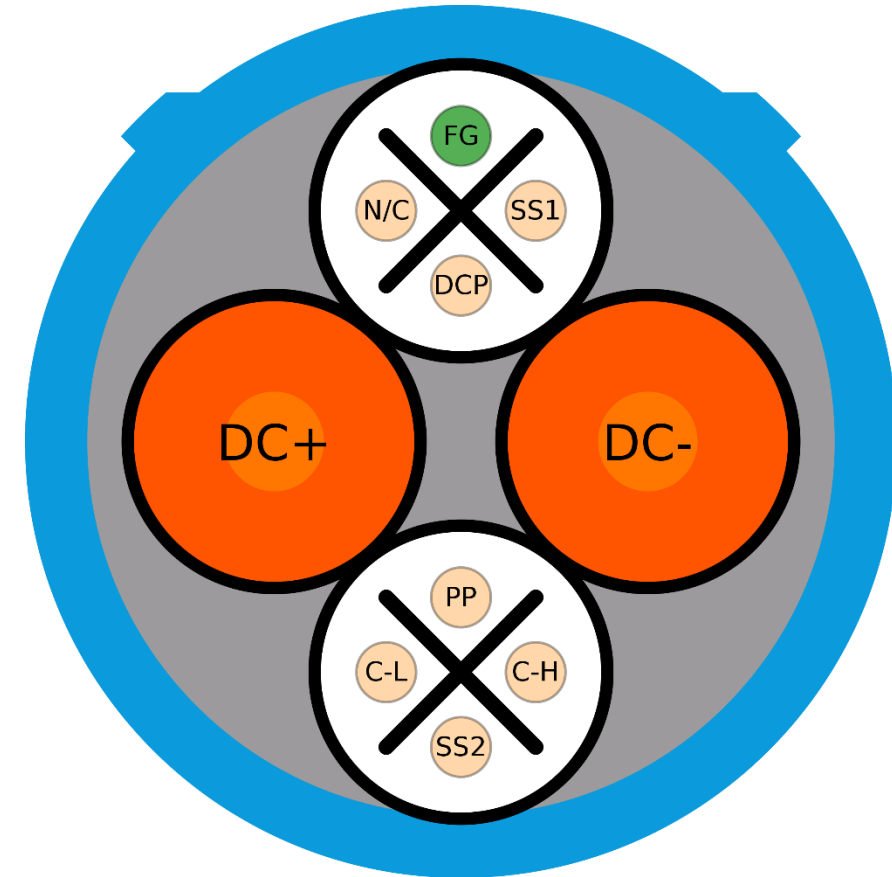
CHAdeMO («CHArge de MOve» или «перемещаться с зарядкой»).

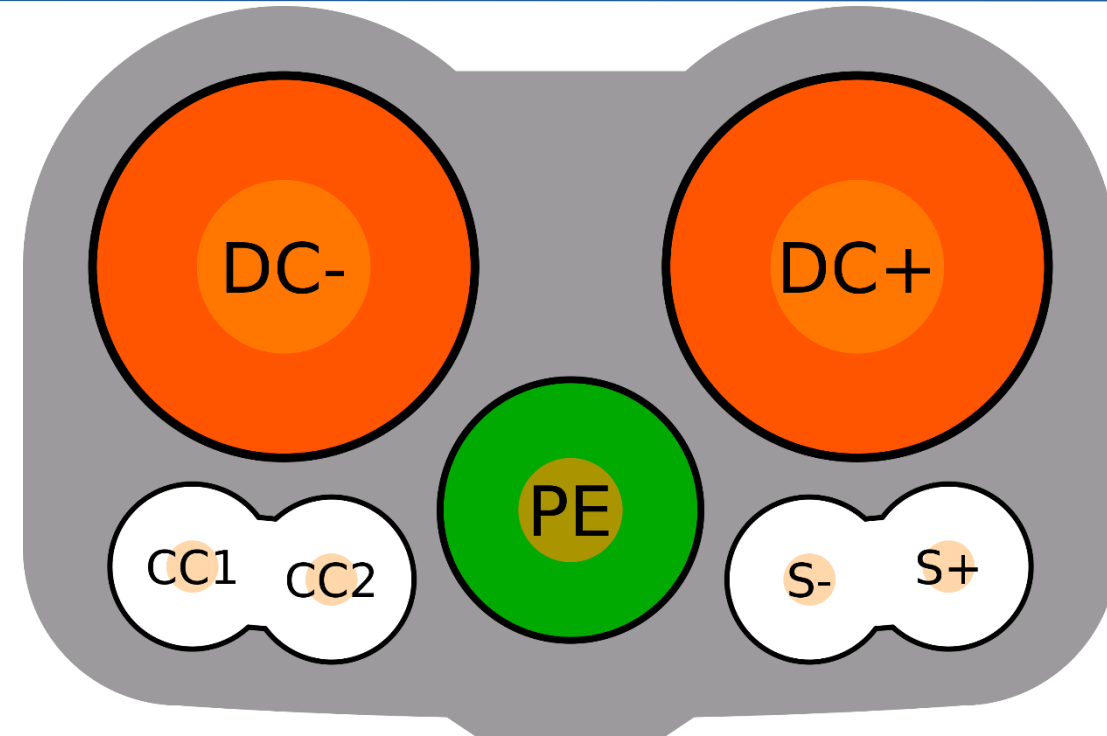
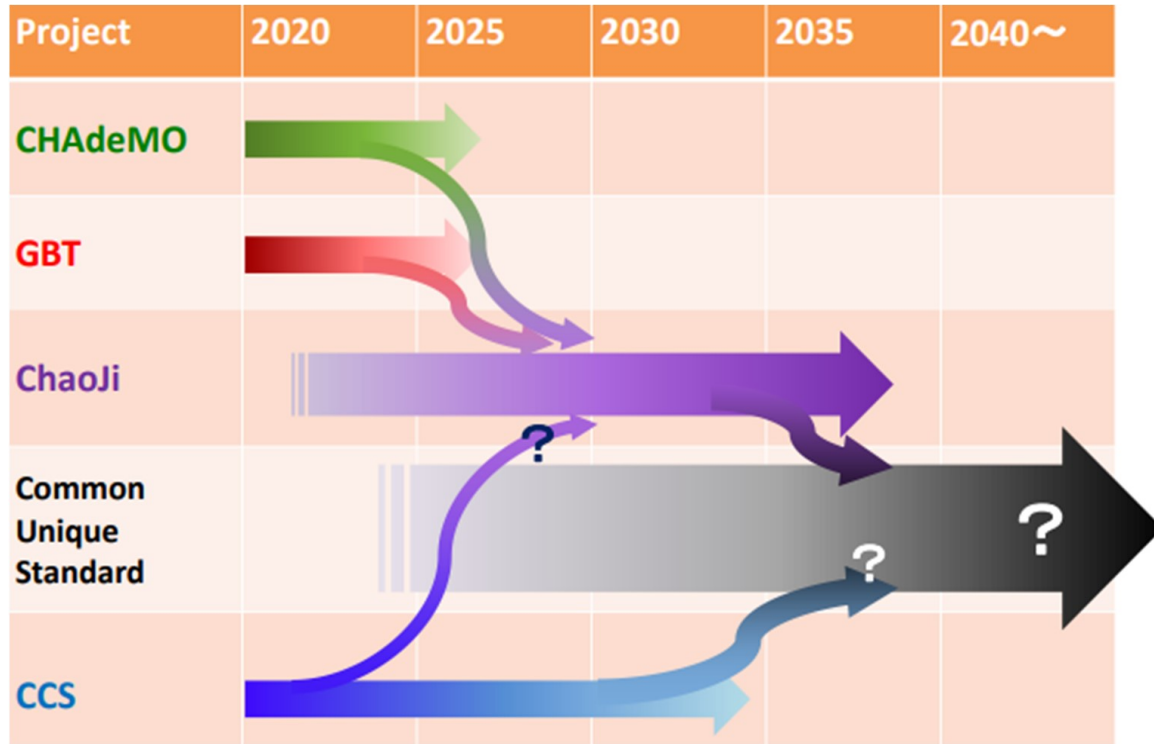
Разъем имеет 2 контакта для передачи постоянного тока, а сигналы данных передаются по протоколу CAN.

Двухконтактный разъем постоянного тока CHAdeMO создан в Японии и используется преимущественно на азиатских электромобилях. Тем не менее CHAdeMO можно встретить также на моделях американского и европейского производства.

Параметры CHAdeMO: максимальная мощность – 62,5 кВт/ч, максимальное напряжение – 500 В, ток – 125 А. Скоро выйдет вторая версия стандарта CHAdeMO, которая будет поддерживать мощность до 400 кВт при постоянном токе до 400 А и напряжении до 1 000 В.

Электромобили с разъёмом CHAdeMO: Kia Soul EV, Nissan Leaf 1 и 1.1, Nissan e-NV200, Citroen Berlingo, Daimler Smart ED, европейская версия старой Tesla Model S, Mercedes B250E.





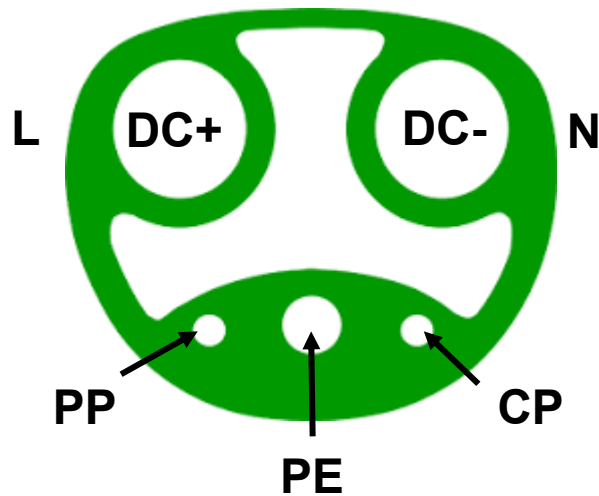
При поддержке правительств Китая и Японии работают над новым международным стандартом зарядки постоянного тока высокой мощности, который обратно совместим с существующими стандартами CHAdeMO и GB/T. На рисунке показан новый прототип соединителя GB/T-CHAdeMO, который был показан во время общей сборки CHAdeMO с мощностью зарядки до 900 кВт (1500 В при 600 А).

ChaoJi – это кодовое название нового стандарта зарядного устройства для электромобилей. Стандарт ChaoJi, как и его предшественники, будет использовать шину локальной сети контроллера (CAN) для связи по зарядке электромобилей.

Стандарт Tesla US

Стандарт Tesla US это уникальный разъём только для электромобилей Tesla. Применяется в США и странах, в которых нет ограничений на использование электромобилей с таким разъёмом (Япония, Южная Корея, Австралия и Новая Зеландия). Разъём позволяет заряжать автомобиль при максимальной мощности до 250 кВт.

В отличие от других производителей, у TESLA нет отдельной конструкции разъема для зарядки переменным и постоянным током. Вместо этого они используют один и тот же разъем для обоих типов зарядки. В Европе TESLA выпустила электромобили, совместимые с протоколом зарядки CCS2.



Беспроводная зарядка

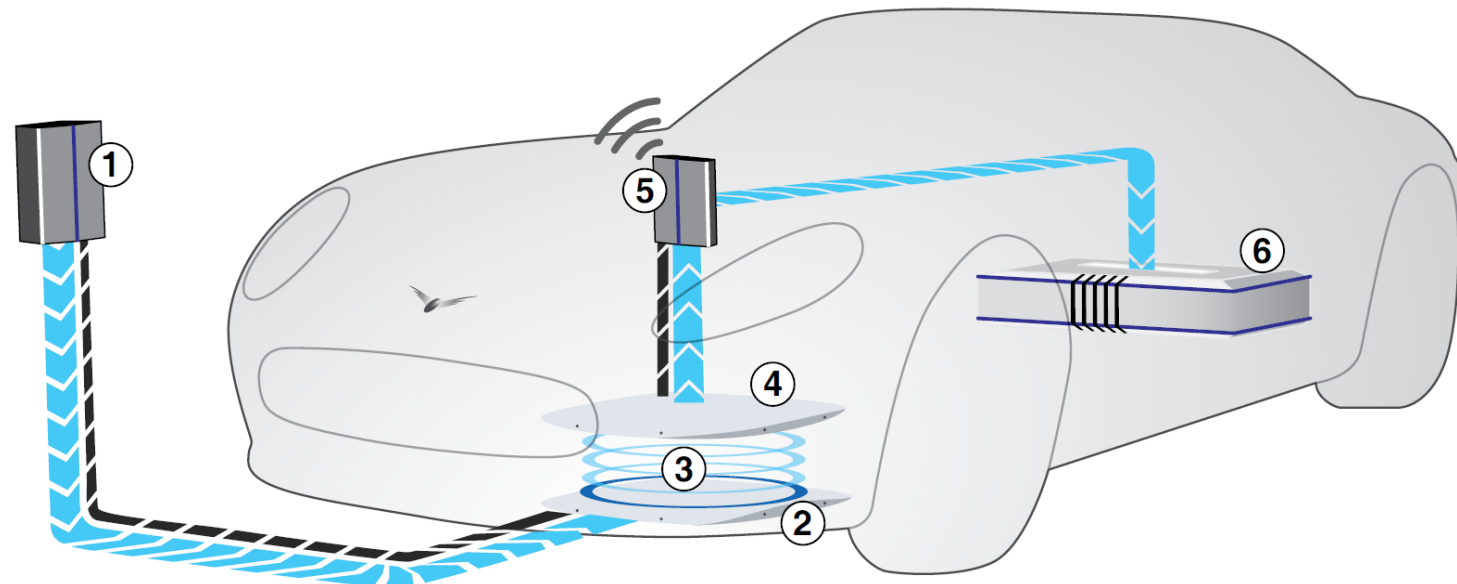
Беспроводные зарядные устройства позволяют избежать ограничений на подключение к кабелю, расширяя возможности режима зарядки электромобилей. Благодаря гибкости, которую предлагает беспроводная зарядка, процесс зарядки электромобиля также может происходить во время остановок или даже во время движения, что позволяет снизить энергоемкость аккумуляторов.

Можно выделить три режима работы беспроводной зарядки: *статический*, стационарный или *квазидинамический* и *динамический*.

Стационарная зарядка: транспортное средство припарковано; в автомобиле нет водителя. При стационарной зарядке электроэнергия передается припаркованному транспортному средству (обычно без пассажиров на борту).

Квазидинамическая зарядка: транспортное средство остановлено; водитель находится в автомобиле. При квазидинамической беспроводной зарядке энергия передается от придорожной первичной катушки ограниченной длины к вторичной катушке медленно движущегося или в режиме остановки и движения транспортного средства (с пассажирами).

Динамическая зарядка: автомобиль находится в движении. При динамической беспроводной зарядке энергия передается через специальную полосу движения, оснащенную системой первичной катушки с высоким уровнем мощности, на вторичную катушку транспортного средства, движущегося со средней или высокой скоростью.

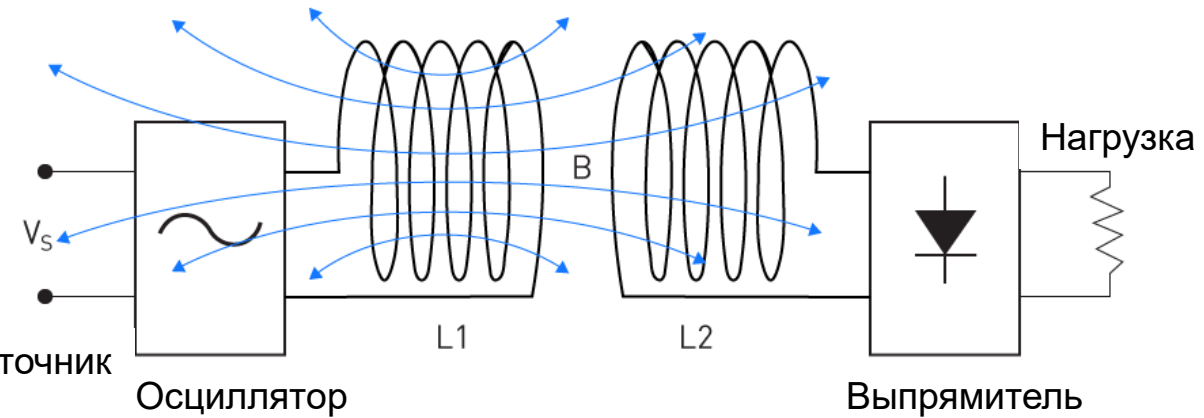


1 – источник питания, 2 – панель передатчика, 3 – беспроводная передача электроэнергии и данных, 4 – панель приемника, 5 – системный контроллер, 6 – аккумулятор

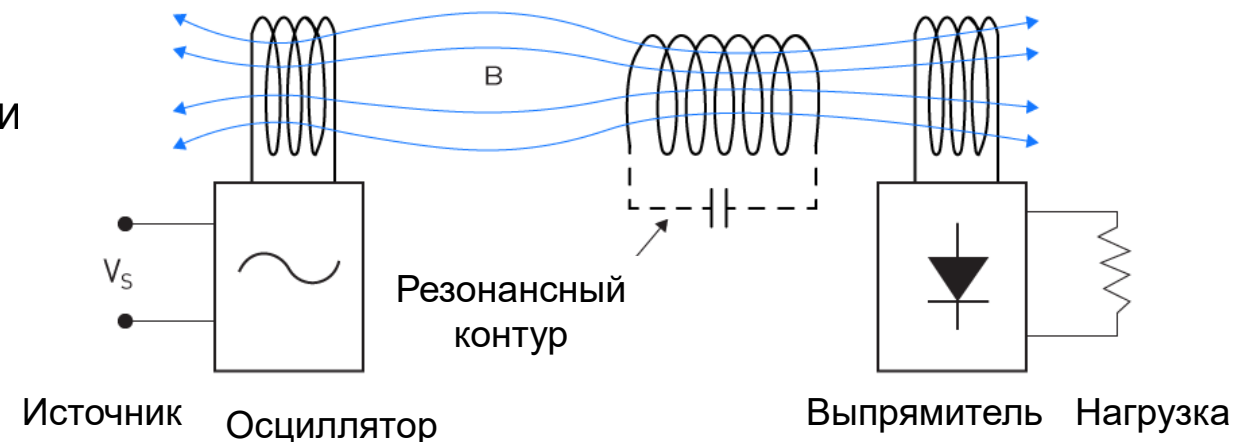
Беспроводная зарядка

WPT использует две основные технологии:

Индуктивная связь: это метод, который предполагает использование двух катушек, одна из которых действует как передатчик, а другая – как приемник. Когда переменный ток течет через катушку передатчика, он создает переменное магнитное поле. Это магнитное поле приводит к индукции напряжения на приемной катушке, когда она приближается к приемной катушке. Это наиболее известный тип беспроводной зарядки, и в настоящее время он используется в самых разных устройствах



Резонансная индуктивная связь: этот метод представляет собой усовершенствованный вид индуктивной связи, при котором катушки передатчика и приемника резонируют на одной и той же частоте. Это называется резонансной индуктивной связью. Таким образом, они способны передавать мощность на большие расстояния и с большей эффективностью по сравнению с традиционным методом индуктивной связи.



Беспроводная зарядка

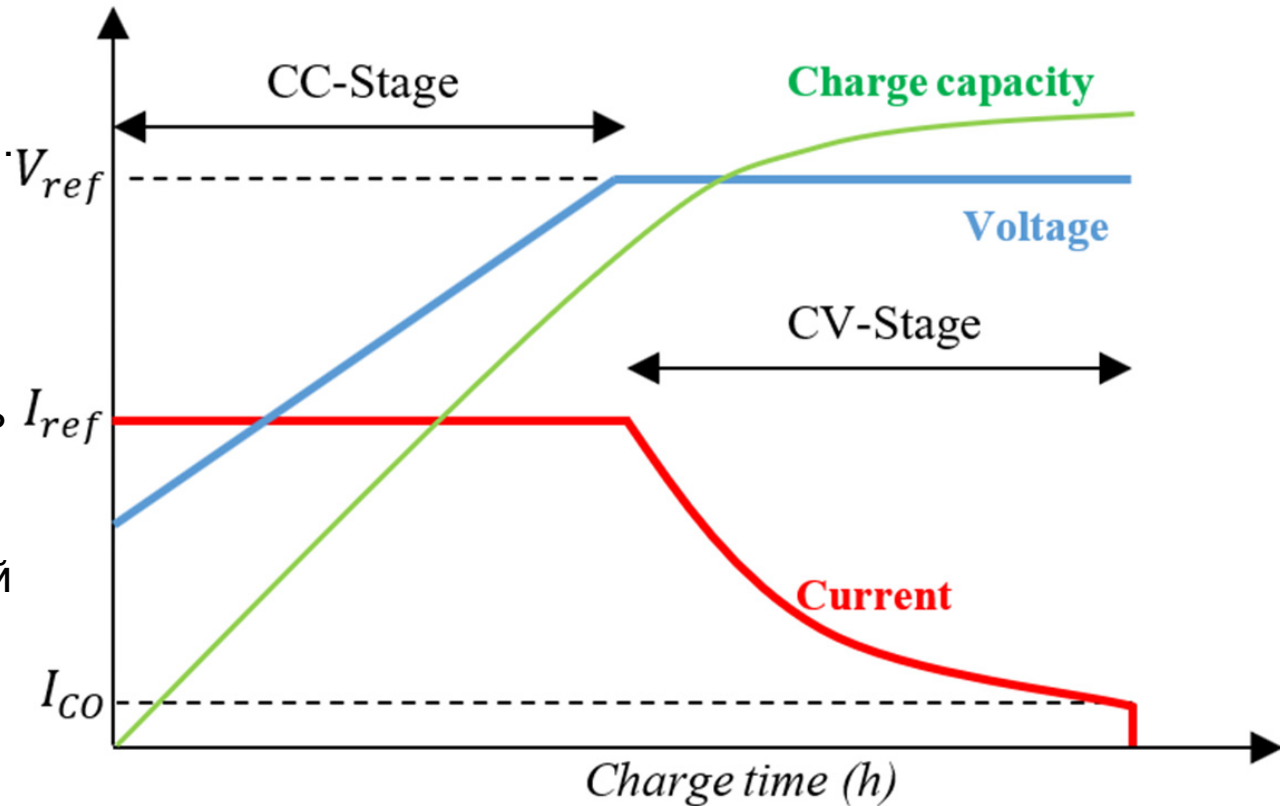


Стратегии заряда батарей

Постоянное напряжение (CV) – это метод зарядки аккумулятора, который позволяет заряжать аккумулятор, поддерживая постоянное напряжение между его клеммами. Напротив, ток батареи медленно снижается до нуля. Учитывая простоту реализации, этот метод зарядки применяется для всех типов аккумуляторов. Однако его недостатком является высокий ток, поглощаемый в начале операции зарядки аккумулятора, которым можно управлять путем уменьшения значения CV.

Постоянный ток (CC) – это стратегия заключается в поддержании постоянного тока I_b батареи с фиксированной скоростью C , в то время как напряжение батареи V_b увеличивается до тех пор, пока напряжение батареи не достигнет максимального значения заряда. Затем процесс завершается.

Постоянный ток-постоянное напряжение (CC-CV) – это стратегия двухступенчатой зарядки батарей. Она имеет две фазы: стадию CC и стадию CV, как показано на рисунке. В течение первой фазы батарея заряжается постоянным током I_{ref} (обычно между 0,5C и 1C в случае литий-ионной батареи) до тех пор, пока напряжение аккумулятора не достигнет напряжения полного заряда V_{ref} . Во второй фазе напряжение батареи поддерживается постоянным до тех пор, пока ток не снизится до тока отсечки (I_{CO}), который обычно составляет 0,1C или 0,05C.



Тяговая батарея является источником энергии для электромобиля с аккумуляторной батареей; энергия сохраняется за счет зарядки аккумулятора. В автомобилях на топливных элементах ток генерируется постоянно. Оба источника энергии обеспечивают постоянный ток.

Для работы электрической машины постоянный ток необходимо преобразовать в трехфазный переменный ток. Эту задачу выполняет инвертор, который активирует электрическую машину в соответствии с потребностью путем целенаправленного переключения постоянного тока.

Электросистема автомобиля напряжением 12 В питается через преобразователь постоянного тока (конвертор) от электрической системы высокого напряжения.

Литий-ионный аккумулятор состоит из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделённых пористым сепаратором, пропитанным электролитом. Пакет электродов помещён в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъёмникам.

Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решётку других материалов (например, в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи.

Литий-ионный аккумулятор должен находиться в строго определенных пределах по заряду, току и температуре для обеспечения срока службы и безопасности. Для обеспечения этого используется система управления батареями (BMS). BMS использует измеренные значения для определения степени заряженности (SOC) и степени работоспособности (SOH). На основе этого можно определить доступную на данный момент мощность батареи и максимально допустимый ток батареи. Система управления батареей также может выполнять балансировку в соответствии с уровнем заряда элементов.

Система термостатирования служит для поддержания диапазона заданных температур компонентов тягового электропривода и модулей аккумуляторных ячеек или воздуха вокруг них. В воздушных системах термостатирования тяговых батарей в качестве теплоносителя используется воздух. Всасываемый воздух может поступать напрямую либо из атмосферы, либо из кабины, а также может быть кондиционированным воздухом.

В жидкостных системах термостатирования применяются две группы жидкостей. Одна из них – диэлектрическая жидкость (жидкость прямого контакта), которая может напрямую контактировать с элементами батареи, например минеральное масло. Другая – проводящая жидкость (жидкость непрямого контакта), которая может контактировать с элементами батареи только косвенно, например, смесь этиленгликоля и воды.

В качестве тяговых двигателей могут быть использованы: синхронные машины с постоянным возбуждением; асинхронные машины и синхронные машины с электрическим возбуждением. Вентильная реактивная машина часто рассматривается как альтернатива с простой конструкцией ротора, но на сегодняшний день не смогла закрепиться ни в одном серийном автомобиле из-за сложности силовой электроники.

Для охлаждения электрической машины со стороны автомобиля предусмотрены различные охлаждающие средства. Наиболее часто встречающимся типом является водяное охлаждение, т. е. интеграция в водно-гликолевую схему, которую также можно использовать для охлаждения силовой электроники. Охлаждение маслом рекомендуется для интеграции в механическую коробку передач или дифференциал главной передачи. При воздушном охлаждении воздух проходит через вентилятор через охлаждающие ребра большой площади вдоль поверхности статора или даже в осевом направлении вдоль ротора.

Заключение

Для получения переменного напряжения в инверторах используют ключи-коммутаторы, с помощью которых разные полюса нагрузки периодически подключаются к источнику постоянного напряжения. Инверторы и выпрямители выполняют взаимно обратные функции. Поэтому схема инвертора может быть получена из схемы выпрямителя, подключив к его входу нагрузку, а к выходу источник постоянного напряжения и заменив диоды на транзисторы.

В настоящее время технология проводной зарядки является основной используемой технологией. Для зарядки электромобиля можно использовать два типа энергии: переменный ток (АС) и постоянный ток (DC).

При зарядке переменным током преобразователь встроен внутри автомобиля и известен как «бортовое зарядное устройство». Бортовое зарядное устройство преобразует мощность переменного тока в постоянный, а затем подает ее в аккумулятор автомобиля. В случае зарядки постоянным током зарядное устройство постоянного тока имеет преобразователь внутри самого зарядного устройства, и преобразование энергии происходит вне автомобиля. Это означает, что зарядное устройство может подавать питание непосредственно на аккумулятор автомобиля и не требует бортового зарядного устройства.

Сегодня рынок насчитывает 8 основных видов разъёмов для зарядки электромобилей: Type 1, Type 2, GB/T (GBT) AC, GB/T (GBT) DC, CCS Combo 1, CCS Combo 2, CHAdeMO и Tesla US.

Беспроводные зарядные устройства позволяют избежать ограничений на подключение к кабелю, расширяя возможности режима зарядки электромобилей. Благодаря гибкости, которую предлагает беспроводная зарядка, процесс зарядки электромобиля также может происходить во время остановок или даже во время движения, что позволяет снизить энергоёмкость аккумуляторов. Можно выделить три режима работы беспроводной зарядки: статический, стационарный или квазидинамический и динамический.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается идея бортовой диагностики автомобиля?
2. В каком году и где появилась первая система контроля токсичности отработавших газов?
3. Когда OBD-II стала необходимым условием для новых автомобилей?
4. Перечислите цели и задачи бортовой диагностики автомобилей.
5. Приведите требования к системе бортовой диагностики автомобилей.
6. Каким образом осуществляется защита системы бортовой диагностики от перепрограммирования?
7. Охарактеризуйте механизм включения и погашения индикатора неисправностей.
8. Неисправности каких систем автомобилей приводят к включению индикатора неисправностей?
9. Перечислите требования, предъявляемые к индикатору неисправностей.
10. Что называют циклом движения?
11. Что называют циклом прогрева?
12. Какие этапы входят в стандартизированный цикл движения?
13. Какие системы подлежат постоянному мониторингу?
14. Какие системы контролируются циклически?
15. Перечислите условия для отключения OBD.
16. Где располагается стандартизированный разъём OBD?
17. Какие контакты стандартизированного разъёма задействованы при проведении бортовой диагностики?
18. Сколько позиций включает код неисправностей?
19. Охарактеризуйте систематику кодов неисправностей.
20. Что такое Freeze Frame?

1. **Автомобильная техника: введение в специальность:** учебник / Пер. с немецкого. – Астана: Фолиант, 2017. – 720 с.
2. **Автомобильный справочник.** Пер. с англ. ООО «СтарСПб» - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2012. – 1280 с.
3. **Палагута, К.А.** Сетевые и диагностические протоколы современного автомобиля [Электронный ресурс]: — Электрон. дан.— М.: МГИУ (Московский государственный индустриальный университет), 2009. — 170 с.
4. **Смирнов Ю.А., Муханов В.В.** Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 624 с.
5. **Соснин Д.А.** Электрическое, электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей (Автотроника-4): учебник для вузов /Д.А. Соснин. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2015. – 416 с.
6. **Техническая эксплуатация, диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания:** учебник (с электронными приложениями / А.В Александров, С.В. Алексахин, И.А. Долгов, В.А. Тармин, М.Г. Шатров . – М.: РИОР, 2020. – 448 с.
7. **Рыбаков В.К.,** Исмоилов М.И. Шины передачи данных в электронных системах современных автомобилей. Под ред. проф. А. Б. Николаева: учебное пособие. М.: МАДИ(ГТУ), 2008. – 50 с.