

2 Гибридная технология DME

Содержание

В то время как накопление электроэнергии в непосредственной форме в конденсаторах (super-cap) или также в химической форме в никель-металл-гидридной или литий-ионной АКБ в настоящее время не приводит к удовлетворительным результатам в том, что касается дальности, на которую ее хватает, и занимаемого места, комбинирование двигателя внутреннего сгорания (как поставщика механической энергии) и электродвигателя (как привода) или генератора электроэнергии представляет собой хорошую альтернативу особенно при переездах

Электронная система
управления двигателем DME

2

Общие сведения	49	Электрифицированные	
Основы гибридной технологии	51	вспомогательные агрегаты	75
Историческое развитие	51	Компрессор системы	
Аргументы в пользу гибрида	52	кондиционирования	76
Электродвигатели	53	Другие дополнительные агрегаты	77
Двигатели постоянного тока	53	Гибридный модуль	78
Двигатели переменного тока	55	Разделительное сцепление	79
Двигатели трехфазного тока	57	Электроустановка	82
Асинхронные двигатели	59	Силовой электронный блок	84
Синхронные двигатели	59	Высоковольтная АКБ	86
Мощность и работа	60	Система управления АКБ (BMS)	87
Преобразование напряжения	61	Коммутационный блок	87
Импульсный преобразователь	62	Система управления температурой	88
Преобразование DC/DC	63	Управление	92
Высоковольтные АКБ	64	Индикаторы	92
Никель-металл-гидридные АКБ	65	Запуск автомобиля	94
Литий-ионные АКБ	66	Автомобиль в неподвижном	
Варианты гибрида	67	состоянии	94
Микрогибрид	68	Режимы работы гибридного модуля	94
Мягкий гибрид	68	Езда на электричестве	95
Полный гибрид	69	Движение по инерции	96
Последовательный гибрид	69	Рекуперация	96
Гибрид с распределением мощности	70	Режим E-Boost	98
Последовательный гибрид с		Смещение точки нагрузки	99
распределением мощности	70	Автоматическая функция старт-стоп	100
Параллельный гибрид	71	Пуск двигателя	100
Трансмиссия	75	Останов двигателя	101
Специфические настройки гибрида	75	Специальные функции	102
Отсутствующие компоненты	75	Расход топлива	104

на короткие расстояния. Таким образом, такие сильные стороны чисто электрической концепции, как

- высокий коэффициент полезного действия
- компактность
- крутящий момент от 0 об/мин

могут комбинироваться с большим пробегом двигателя внутреннего сгорания на одной заправке. Компания Porsche стала первым производителем, который выпустил на рынок автомобиль с параллельным полным гибридным приводом.

Таким образом, концепция привода в Porsche Cayenne S Hybrid обеспечивает спортивные качества 8-цилиндрового двигателя при показателях расхода и выбросов ОГ 6-цилиндрового двигателя.

Указание по безопасности

При работе с Cayenne S Hybrid обязательно соблюдать указания по безопасности.

Все работы на гибридных автомобилях разрешается выполнять только персоналу, обладающему соответствующей квалификацией.

Дополнительную информацию см. в

- «Информации о тренинге Cayenne S Hybrid», в главе «Безопасность высоковольтного оборудования», а также в
- «Информационной системе PIWIS».

Основы гибридной технологии

Историческое развитие

Мотор-колесо

В 1893 году, в возрасте 18 лет профессор Фердинанд Порше поступил на службу в компанию Vereinigte Elektrizitätswerke AG B. la Egger в Вене (которая в дальнейшем была переименована в Brown Boveri) и разработал электромотор-колесо, а в 1896 году подал заявку на его патент. Оснащенный таким двигателем автомобиль напоминал электромобиль в чистом виде, поскольку его единственным приводом было мотор-колесо. Через несколько лет НАСА использовало эту идею для создания лунохода Lunar Rover.

Электромобиль Lohner-Porsche

Тремя годами позже, в 1899 году, Фердинанд Порше разработал для компании k. u. k. Hofwagenfabrik Ludwig Lohner & Co. в Вене электромобиль Lohner-Porsche.

Автомобиль был оснащен двумя электрическими мотор-колесами на передней оси и развивал значительную в то время максимальную скорость 50 км/ч. Таким образом, с кислотной АКБ весом 410 кг на электроприводе можно было проехать до 50 км. В 1900 году на мировой выставке в Париже этот автомобиль был признан эпохальной новинкой.

Для участия в гонках и достижения новых рекордов в 1900 году он создал для компании Briten E.W. Hart гоночную версию, которая была дополнительно оснащена мотор-колесами на задней оси. Таким образом, в сентябре 1900 года появился первый полноприводный автомобиль в мире.

Lohner-Porsche Mixte

Чтобы компенсировать недостатки тяжелых кислотных АКБ, Порше скомбинировал электрический привод с четырехцилиндровым двигателем мощностью 15 л.с., который он соединил с динамо-машиной на 80 вольт. Этот генератор обеспечивал ток для установленных на передних колесах электрических мотор-колес – либо напрямую, либо через АКБ, на которую он параллельно подавал питание.

В 1902 году автомобиль Lohner Porsche Mixte был представлен общественности, став, таким образом, первым автомобилем с гибридным приводом.

Электронная система
управления двигателя DME

2



Аргументы в пользу гибрида

Характерная кривая крутящего момента двигателя внутреннего сгорания в среднем диапазоне частоты вращения достигает максимума, а при частоте вращения холостого хода имеет очень низкий момент, которого достаточно для разгона автомобиля с места.

По сравнению с двигателем внутреннего сгорания кривая электроустановки достигает максимума при частоте вращения 0 об/мин. Она не требует наличия частоты вращения на холостом ходу, не расходует энергию во время стоянки и не создает выбросов, как это делает двигатель внутреннего сгорания при частоте вращения холостого хода.

Электроустановка может поддерживать двигатель внутреннего сгорания при его концептуальном недостатке: на низких оборотах.

За счет поддержки от электроустановки двигатель внутреннего сгорания можно использовать в оптимальном диапазоне действия. Такое смещение точки нагрузки повышает КПД этой концепции привода. Комбинирование этих двух вариантов привода дает явные преимущества в условиях езды по городу с частыми пусками и редкой работой на полной нагрузке.

Электродвигатели

Все электродвигатели состоят из статора (неподвижной части) и ротора (вращается в статоре). Вращение ротора создается за счет взаимодействия между магнитными полями ротора и статора, которые в совокупности образуют крутящий момент. В зависимости от типа двигателя обмотки находятся в статоре, в роторе или в обоих компонентах двигателя. На рисунке, например, магнитное поле ротора создается постоянными магнитами, что значительно упрощает устройство системы в целом.

В зависимости от соединения и конструкции обмоток в статоре либо в роторе меняются следующие характеристики двигателя:

- Постоянный переменный или трехфазный ток
- Пусковой ток
- Нагрузочные характеристики
- Управление направлением и частотой вращения

Не каждый электродвигатель можно использовать в качестве генератора.

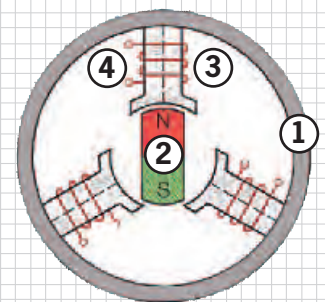
Желание отказаться от использования в автомобиле двух компонентов (электродвигателя и генератора) сильно ограничивает выбор возможных типов двигателя среди гибридов.

Двигатели постоянного тока

Двигатели постоянного тока отличаются хорошими пусковыми характеристиками и регулируемостью. Частота вращения ротора зависит непосредственно от высоты напряжения питания и поэтому очень просто регулируется.

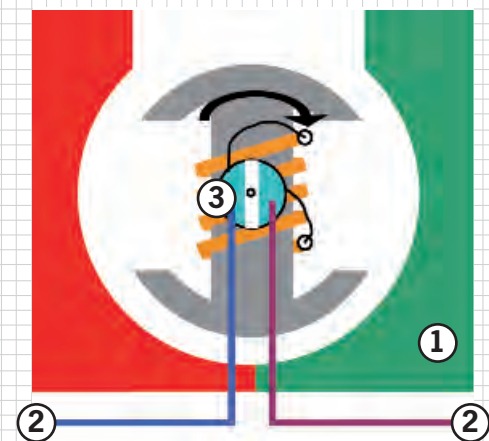
Типичная конструктивная форма двигателя постоянного тока предусматривает для статора постоянные магниты, тогда как на обмотку ротора подается рабочее напряжение через угольные щетки. При включении ротор вращается до тех пор, пока магнитное поле ротора не выровняется с магнитным полем статора. Чтобы ротор продолжил вращаться, в нем должна смениться полярность и, следовательно, направление магнитного поля. Это реализуется за счет коллектора (реверсора). То есть, в вышеописанном примере после поворота ротора соответственно на 180° меняется полярность, чтобы снова обеспечить вращение. В 2- и 4-полюсном двигателе это приводит к значительному дисбалансу во время работы, так что на практике реализуется значительно большее количество полюсов. Посредством коллектора создается соответственно подходящая полярность, чтобы ротор снова мог вращаться.

Электронная система управления двигателя DME



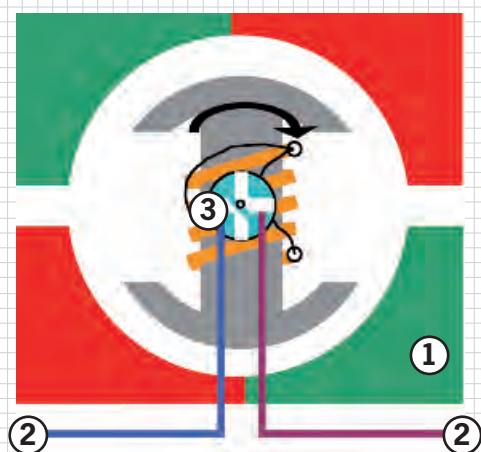
Принципиальная схема двигателя трехфазного тока

- 1 Статор
- 2 Ротор
- 3 Одна из 3 обмоток статора
- 4 Подключения обмотки



2-полюсный двигатель

- 1 Статор
- 2 Коллектор и угольные щетки
- 3 Подключения



4-полюсный двигатель

- 1 Статор
- 2 Коллектор и угольные щетки
- 3 Подключения

Такие различные ситуации, возникающие при езде на гибриде, как:

- изменение нагрузки
- часто изменяющаяся частота вращения
- эксплуатация в качестве двигателя и генератора
- относительно высокая мощность

требуют более сложного устройства, чем это показано на рисунках. Для реализации смены направления вращения, работы в качестве генератора и пр. у силового электронного блока должна быть возможность варьирования соединения обмотки ротора и статора. Даже если нет необходимости в преобразовании постоянного напряжения, которое вырабатывает высоковольтная АКБ в автомобиле, в переменное либо 3-фазное напряжение, все равно требуется подгонка высоты напряжения для обеспечения различной частоты вращения и крутящих моментов.

С этим связаны дополнительные проблемы при эксплуатации автомобиля, вызванные износом и истиранием щеток или контактных колец.

Исходя из всего вышесказанного, использование двигателей постоянного тока в гибридных автомобилях не имеет смысла.

Однако двигатели постоянного тока используются в автомобиле, например, в:

- приводах стеклоочистителя
- двигателях вентиляторов
- исполнительных элементах
- двигателях стартера

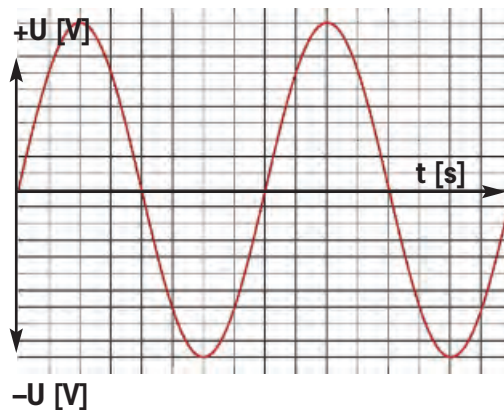
Благодаря своему высокому пусковому крутящему моменту и простому управлению частотой вращения посредством рабочего напряжения они, кроме того, обычно используются в качестве приводных двигателей для рельсового транспорта или там, где в качестве энергии доступен только постоянный ток и требования не позволяют выполнять преобразование в переменный/трехфазный ток.

Бесщеточные двигатели постоянного тока

По конструкции бесщеточные двигатели постоянного тока идентичны синхронным двигателям (см. ниже), однако требуют встроенной электроники управления, которая преобразует постоянный ток в подходящий переменный или 3-фазный ток. Используемый в гибриде синхронный двигатель трехфазного тока вместе с силовым электронным блоком можно назвать «бесщеточным двигателем постоянного тока».

Двигатели переменного тока

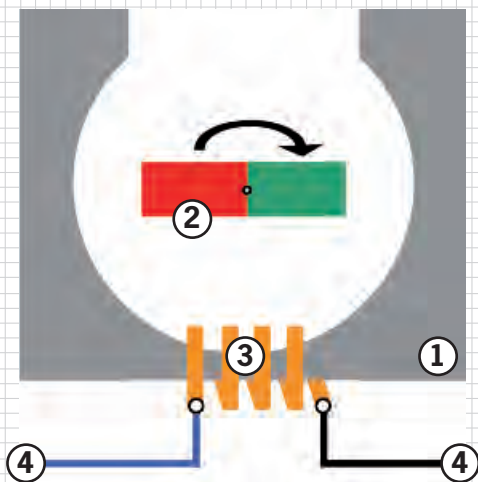
В двигателе переменного тока необходимая перемена полярности магнитного поля ротора происходит автоматически за счет изменения полярности переменного напряжения на обмотке статора (см. рисунок).



За счет отсутствия коллектора и линии питания на обмотке статора в двигателе постоянного тока также отпадает необходимость в контактных кольцах или угольных щетках. Если сначала ротор начинает движение, его частота вращения зависит от частоты переменного напряжения, величина которого определяет реализуемую мощность. Однако только приложенного переменного напряжения не хватает на то, чтобы привести в движение конструкцию, показанную на рисунке сверху. Этому так называемому пусковому двигателю требуется первый импульс («толчок»), чтобы начать вращаться влево или вправо.

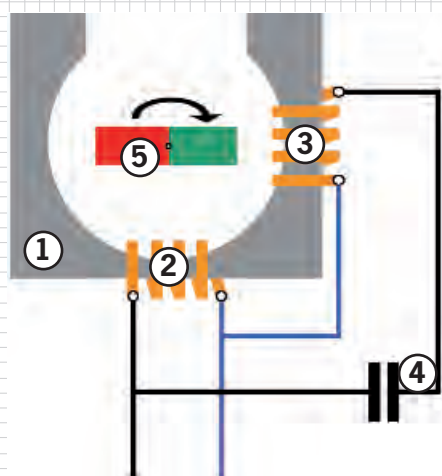
Электронная система
управления двигателя DME

2



Двигатель переменного тока (пусковой двигатель)

- 1 Статор
- 2 Ротор
- 3 Обмотка статора
- 4 Подключения



Двигатель переменного тока с
вспомогательной фазой

- 1 Статор
- 2 Обмотка статора
- 3 Обмотка статора для
вспомогательной фазы
- 4 Конденсатор
- 5 Ротор

Увеличение числа полюсов достигается за счет распределения обмотки вокруг статора. Во всех двигателях переменного/трехфазного тока номинальная частота вращения рассчитывается по следующей формуле:

$$n = \frac{f \text{ (Гц)} * 60 \left(\frac{\text{с}}{\text{мин}} \right)}{p}$$

При этом f = частота и p = число пар полюсов. При частоте $f=50$ Гц номинальная частота вращения двигателя с числом пар полюсов 2 составила бы $n=1\,500$ об/мин. Частота вращения двигателя переменного или трехфазного тока должна, таким образом, реализовываться за счет изменения частоты.

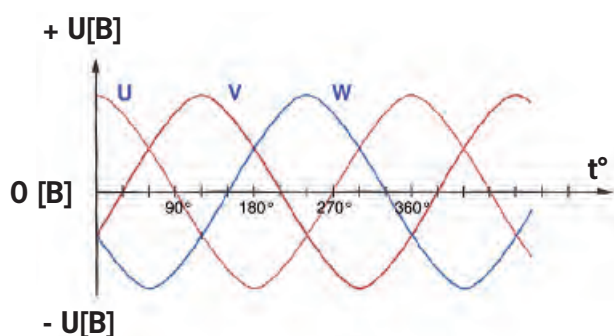
Чтобы добиться независимого пуска двигателя переменного тока, создается вращающееся поле, которое захватывает ротор. В простых двигателях переменного тока это достигается за счет вспомогательной фазы, которая создается с помощью конденсатора. Это генерируемое таким образом «второе» рабочее напряжение прилагается к дополнительной обмотке статора, которая обеспечивает автоматический пуск и определение направление вращения. «Конденсаторный двигатель» используется практически во всех электроустройствах, работающих от сети 230 В. Он отличается простотой конструкции, однако непригоден для больших мощностей.

Двигатели трехфазного тока

Переменный или трехфазный ток вырабатывается генераторами, статор которых оснащен тремя смещенными на 120° обмотками. Таким образом, на присоединительных клеммах обмоток статора возникает три смещенных на 120° переменных напряжения с одинаковой частотой.

В автомобильной/гибридной технике эти 3 фазы обозначаются буквами *u*, *v* и *w*. Часто подключения этих 3-х обмоток соответственно обозначаются как *u1*, *u2*, *v1*, *v2* и *w1*, *w2*.

На диаграмме напряжение-время получается картина, на которой четко видно это смещение фаз. Время *t* здесь указывается в градусах. Полный круг на 360° в этом случае соответствует полному периоду синусоидальной характеристики сигнала.

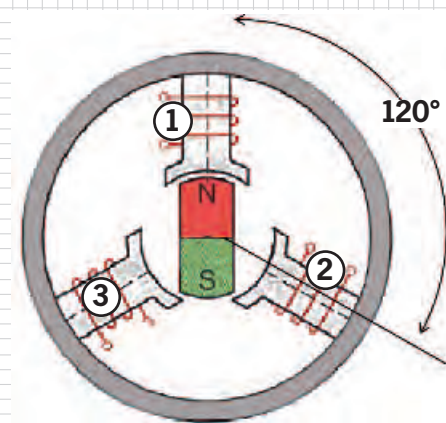


Необходимая в двигателе переменного тока вспомогательная фаза в двигателе трехфазного тока не нужна ввиду смещения фаз. Действующее вращающееся поле статора захватывает ротор, то есть частота вращения зависит от числа полюсов и частоты (ср. с двигателем переменного тока).

В гибриде частота вращения двигателя трехфазного тока регулируется за счет изменения частоты. Таким образом, необходимый диапазон частоты силового электронного блока зависит от числа пар полюсов статора (как от фиксированной величины) и максимальной частоты вращения двигателя внутреннего сгорания, возможно в сочетании с повышением или понижением передаточного числа. Направление вращения двигателя трехфазного тока очень легко определяется последовательностью фаз *u*, *v*, *w*. Если поменять 2 из 3-х фаз, направление вращения изменится (ср. рисунки: звезда — вращение вправо, треугольник — вращение влево).

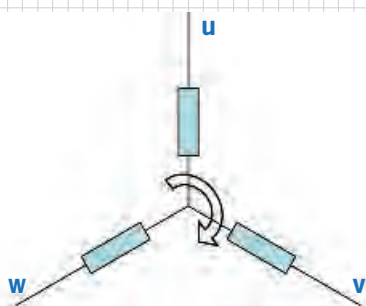
Электронная система
управления двигателем DME

2

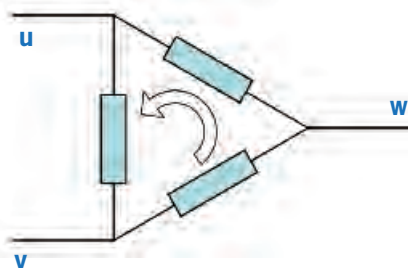


Двигатель трехфазного тока

- 1 Обмотка статора *u*
(подключения *u1*, *u2*)
- 2 Обмотка статора *v*
(подключения *v1*, *v2*)
- 3 Обмотка статора *w*
(подключения *w1*, *w2*)



Соединение звездой



Соединение треугольником

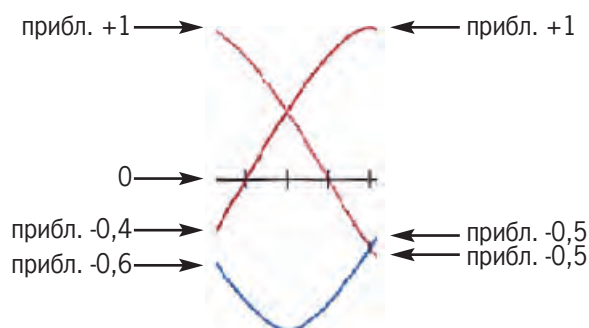
Диаграмма напряжение-время

- 1 Напряжение обмотки при соединении звездой
- 2 Напряжение обмотки при соединении треугольником

Для соединения в общей сложности 6 подключений обмотки двигателя трехфазного тока принципиально доступно 2 варианта (соединение звездой или треугольником). Оба варианта ведут к тому, что к двигателю либо генератору нужно провести всего 3 провода:

Соединение звездой:

Сложение 3-х напряжений u , v , w на диаграмме напряжение-время показывает, что сумма трех напряжений в любой момент времени будет равна нулю.

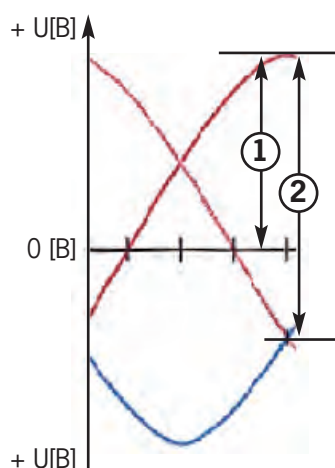


Поэтому соответственно одна сторона всех обмоток может быть замкнута накоротко как нулевая точка. Отдельные обмотки в этом случае находятся под напряжением, которое соответствует расстоянию до нулевой линии.

Соединение треугольником:

При соединении треугольником обмотки подключаются последовательно. Вследствие этого каждая катушка находится под напряжением, которое соответствует расстоянию между двумя фазами.

По диаграмме напряжение-время видно, что здесь напряжения становятся значительно выше, чем при соединении звездой.



В результате при соединении треугольником (по сравнению с соединением звездой) ток и напряжение двигателей/генераторов увеличивается на коэффициент 1,73 (корень из 3). Таким образом, мощность при соединении треугольником увеличивается до трех раз. В гибридных модулях, которые используются Porsche, обмотки принципиально соединены треугольником.

Асинхронные двигатели

Самые распространенные двигатели – это асинхронные двигатели в исполнении для переменного или трехфазного тока. Уже упомянутый конденсаторный двигатель переменного тока также относится к этой группе. Его преимущество заключается в очень простом устройстве и бесперебойной работе.

Название «асинхронный» обозначает при этом разность между частотой вращения вращающегося поля и частотой вращения ротора. Обе частоты вращения асинхронны по отношению друг к другу. Чем больше механическая нагрузка на вал двигателя, тем больше разность частоты вращения (скольжение в %), а также потребление тока обмоток двигателя. Без такого расхождения частоты вращения асинхронный двигатель не развивает крутящего момента. В то же время этим обуславливается высокий пусковой ток. Диапазоны мощности асинхронных двигателей простираются от малогабаритных двигателей переменного тока в макетах железных дорог до мегаваттного исполнения в крупных промышленных установках.

Недостатком асинхронных двигателей является высокий пусковой ток, а также плохая пригодность для использования в качестве генератора (для гибридов).

Синхронные двигатели

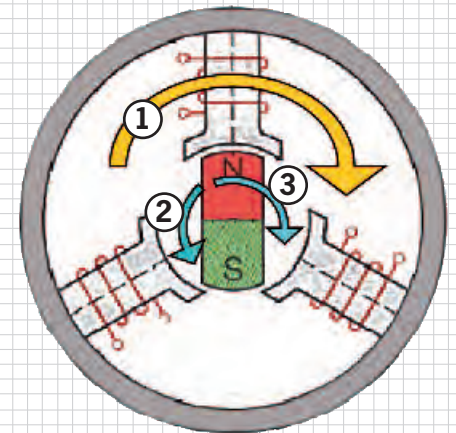
Для гибридов лучше всего подходят так называемые синхронные двигатели. По сравнению с асинхронным двигателем частота вращения ротора совпадает с частотой вращения вращающегося поля. Это становится возможным за счет незначительного изменения конструкции обмоток и организации магнитных полюсов. Таким образом, частота вращения ротора определяется исключительно числом пар полюсов и частотой (скольжение = 0).

Недостатком синхронных двигателей является их незначительная стойкость к перегрузкам. При слишком высокой механической нагрузке частота вращения ротора падает ниже частоты вращения вращающегося поля. Как следствие – двигатель выпадает из синхронизма и останавливается. Поэтому синхронный двигатель запускается не сам по себе.

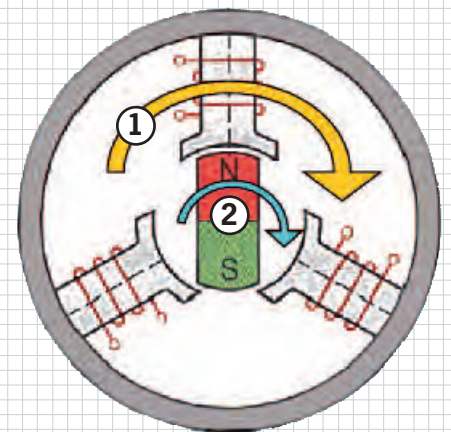
Такие характеристики должны компенсироваться системой управления двигателя. В Porsche Cayenne S Hybrid подгонка частоты осуществляется силовым электронным блоком. Запуск двигателя также реализуется за счет повышения частоты с 0 Гц до желаемой частоты вращения. Поэтому синхронный двигатель не может эксплуатироваться без электроники управления.

Электронная система управления двигателя DME

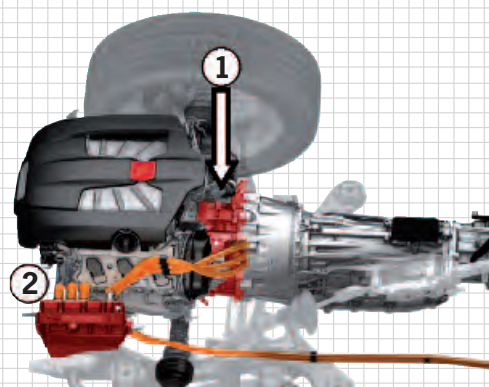
2



- 1 Частота вращения вращающегося поля
- 2 Разность частоты вращения (скольжение)
- 3 Низкая частота вращения ротора



- 1 Частота вращения вращающегося поля
- 2 Частота вращения ротора



- 1 Гибридный модуль
- 2 Силовой электронный блок

Преимущество синхронного двигателя заключается в его чрезвычайной компактности и возможности в то же время без проблем использовать его в качестве генератора. На рисунке показан полностью весь гибридный модуль Porsche Cayenne S Hybrid, состоящий из сухого сцепления и электродвигателя/генератора, между двигателем внутреннего сгорания и коробкой передач. Конструктивная длина модуля в целом составляет почти 150 мм при общей электрической мощности 38 кВт.

Генераторы трехфазного тока в автомобилестроении являются синхронными генераторами!

Мощность и работа

Электрическая мощность ($P = \text{Power}$) является произведением силы тока и напряжения ($P = U \times I$). Она измеряется в ваттах (Вт), альтернативно – в киловаттах (кВт). Никель-металл-гидридная АКБ в Porsche Cayenne S Hybrid обладает максимальной электрической мощностью 38 кВт при постоянном напряжении 288 вольт. Так математически рассчитывается максимальный ток длительной нагрузки $I = 131,9 \text{ A}$.

Увеличенное потребление тока возможно кратковременно. Указывается максимальный импульсный ток +120 А (зарядка) либо -180 А (разрядка). Контроль осуществляется системой управления АКБ. Этот блок управления является частью системы управления АКБ (BMS) и находится непосредственно на высоковольтной АКБ в задней части автомобиля.

Если электрическая мощность P выдается или потребляется на протяжении какого-либо времени ($t = \text{Time}$), то совершается электрическая работа ($W = \text{Work}$). Следовательно, электрическая работа W – это произведение мощности и времени ($W = P \times t$). Также она обозначается как энергоемкость, поскольку является величиной отбираемой энергии.

Для АКБ на 12 вольт обычно указывается не электрическая работа W в ватт-часах (Вт ч) или киловатт-часах (кВт ч), а электроемкость C в ампер-часах (А ч). По значению они сравнимы. Если электрическую емкость умножить на напряжение АКБ, получится электрическая работа ($W = C \times t$).

Для сравнения:

Установленная в Porsche Cayenne S Hybrid АКБ AGM на 12 вольт обладает электрической емкостью 80 ампер-час (А ч) при напряжении 12 вольт.

Отсюда получается электрическая работа или энергоемкость:

960 ватт-час (Вт•ч), т. е. прибл. 1 кВт при номинальном напряжении 12 В.

Установленная никель-металл-гидридная высоковольтная АКБ в задней части автомобиля обладает общей энергоемкостью:

прибл. 1,7 кВт ч при номинальном напряжении 288 вольт.

Указанная мощность составляет:

прибл. 38 кВт и имеет емкость прибл. 5,5 А ч.

Коэффициент полезного действия

Коэффициент полезного действия – это отношение выданной мощности к потребленной. Одним из основных аргументов в пользу электроприводов является высокий КПД всех компонентов.

В то время как в случае ДВС можно исходить из КПД ниже 50 %, КПД электродвигателя, электрогенератора и АКБ составляет прибл. 90 %!

Преобразование напряжения

Из-за различного напряжения, которое используется в бортовой сети автомобиля и электроприводе, требуется преобразование, которое должно выполнять следующие задачи:

- Преобразование трехфазного тока, предоставленного генератором, в постоянное напряжение для заряда высоковольтной АКБ импульсным преобразователем (PWR) или питание высоковольтного компрессора системы кондиционирования
- Преобразование постоянного напряжения высоковольтной батареи в более низкое постоянное напряжение 12-вольтной бортовой сети
- Преобразование постоянного напряжения высоковольтной АКБ в трехфазный ток для электропривода (PWR)
- Если высоковольтная АКБ заряжается от 12-вольтного зарядного устройства, для этого также необходимо реализовать преобразование. В концепцию гибрида Porsche этот вариант не включен. Однако для внешнего заряда высоковольтной АКБ существует высоковольтное зарядное устройство.

Электронная система
управления двигателем DME

2



При разряженной АКБ на 12 В эксплуатация автомобиля невозможна, поскольку напряжение на блоки управления подается по бортовой сети на 12 В. Зарядка может осуществляться обычным способом.



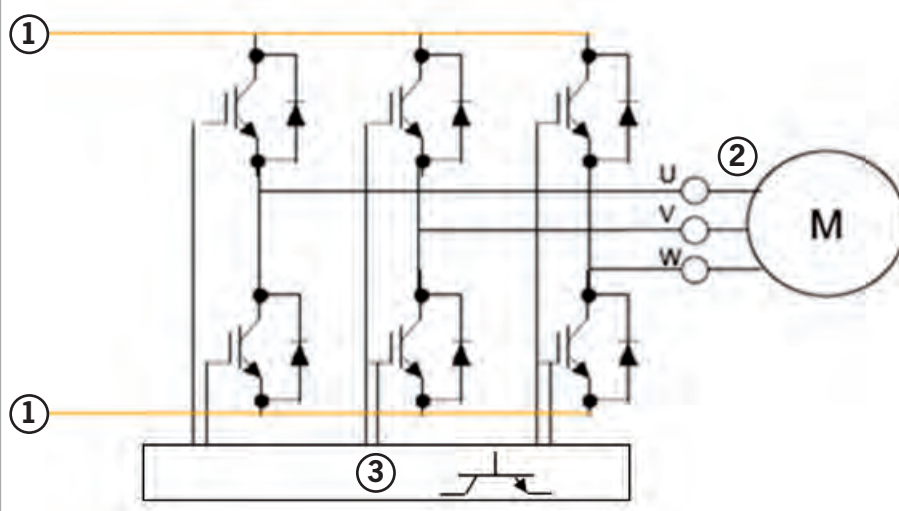
Импульсный преобразователь

- 1 Подключения постоянного напряжения
- 2 3-фазный переменный ток
- 3 Микропроцессорная активация

Импульсный преобразователь

Преобразование постоянного тока в 3-фазный переменный ток и наоборот осуществляется за счет схемы, известной как понижающий либо повышающий преобразователь.

Их комбинация называется импульсным преобразователем.



В то время как верхнее расположение (повышающий преобразователь) отвечает за положительные полуволны, нижняя схема (понижающий преобразователь) генерирует отрицательные полуволны. Активация транзисторов происходит посредством микропроцессорного управления несколько раз в секунду. На выходе можно получить практически любую частоту и величину напряжения. Если электродвигатель работает в качестве генератора, эта схема преобразует 3-фазное переменное напряжение в необходимо постоянное, с которым затем заряжается высоковольтная АКБ либо питается высоковольтный компрессор системы кондиционирования.

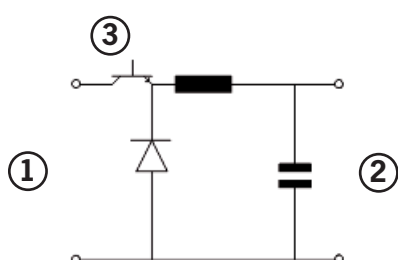
Преобразование DC/DC

Тогда как при переменном напряжении изменить высоту напряжения за счет использования трансформатора очень просто (практически без потерь), для постоянного напряжения используются основные схемы, состоящие из катушки, диода и конденсатора.

Используемые схемы:

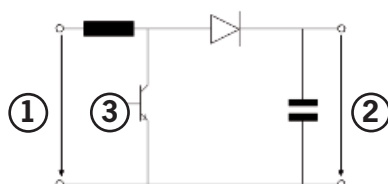
Понижающий преобразователь

Понижение постоянного напряжения



Повышающий преобразователь

Повышение постоянного напряжения (не входит в концепцию гибрида Porsche)



Схемы в быстрой последовательности включаются и выключаются транзистором (переключателем). Скважность этих переключений определяет степень повышения или понижения напряжения.

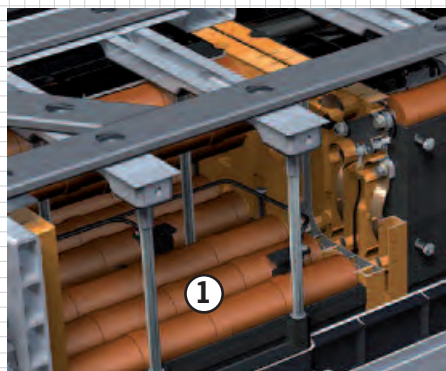
Преобразователь DC/DC и импульсный преобразователь являются двумя основными частями силового электронного блока. Быстрое переключение используемых силовых транзисторов приводит к образованию тепла, которое должно отводиться системой охлаждения с ОЖ. Для этого есть отдельный низкотемпературный контур, который, помимо прочего, используется для охлаждения интеркулера внутри модуля наддува 3,0-литрового двигателя V6 DFI.

Преобразование DC/DC

1 - Входное напряжение

2 - Выходное напряжение

3 - Активация (со стороны массы)



Внутреннее устройство никель-металл-гидридной АКБ в Porsche Cayenne S Hybrid

1 Отдельные элементы АКБ

Высоковольтные АКБ

Основополагающая информация

Задача накопления большого количества электрической энергии на данный момент решена неудовлетворительно. Тогда как непосредственное накопление возможно только в конденсаторах, во всех АКБ электричество накапливается в виде химической энергии. На сегодняшний день такой «обходной путь» намного целесообразнее, чем вариант с конденсаторами. В супер-конденсаторах «super cap» возможно накопление лишь ограниченного количества электричества. Напряжение отдельного элемента АКБ обусловлено химически и находится в диапазоне < 2 вольт. Поэтому для достижения более высокого напряжения во всех высоковольтных АКБ последовательно подключается несколько элементов. В высоковольтной АКБ Cayenne S Hybrid последовательно подключаются модули из 6 элементов каждый (7,2 В). 40 таких модулей подключены последовательно, так что получается общее напряжение 288 вольт.

Решающее значение для пригодности аккумулирующей среды при этом имеет энергетическая плотность, которая указывается в ватт-часах на килограмм (Вт ч/кг).

Чем выше указанное значение, тем легче (=меньше) аккумулирующая среда при равной энергоемкости. С помощью технологии конденсаторов на данный момент достигается максимальная энергетическая плотность 10 Вт ч/кг.

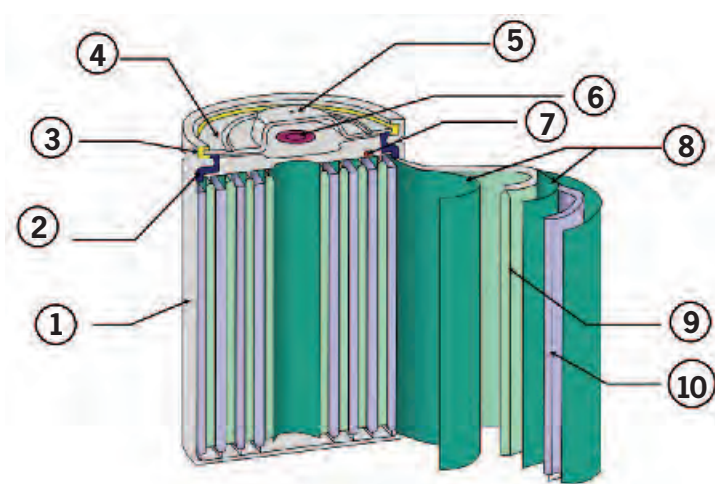
Такие распространенные АКБ, как никель-металл-гидридные в Porsche Cayenne S Hybrid, достигают энергетической плотности прибл. 80 Вт ч/кг. Также из-за относительно высокого саморазряда конденсаторы все еще не являются хорошей альтернативой, по крайней мере, для долгосрочного аккумулирования.

Для сравнения:

Энергетическая плотность бензина составляет 12 000 Вт ч/кг!

Никель-металл-гидридные АКБ

Напряжение истока отдельного элемента в никель-металл-гидридной АКБ генерируется за счет избытка заряженных частиц водорода на электроде. В качестве положительного электрода используется соединение никель-кислород-водород (гидроксид никеля). Отрицательный электрод состоит из металлического сплава, который может обратимо накапливать водород.



Конструкция никель-металл-гидридного элемента

- 1 Корпус и подключение
- 2 Изоляция
- 3 Уплотнение
- 4 Крышка
- 5 Подключение +
- 6 Предохранительный клапан
- 7 PTC (термистор)
- 8 Сепаратор
- 9 Положительный электрод
- 10 Отрицательный электрод

При заряде частицы водорода отрицательного электрода преобразуются в положительный электрод и соединяются там с материалом электрода. Процесс разрядки происходит соответственно наоборот.

Никель-металл-гидридный элемент имеет 2 предохранительных механизма. Термистор PTC ограничивает протекание тока при высоких температурах. Посредством предохранительного клапана можно под контролем стравливать возникающее избыточное давление.

Никель-металл-гидридные АКБ вытеснили использовавшиеся прежде никель-кадмиевые АКБ. Из трех основополагающих типов конструкции элементов для систем АКБ (плоский, круглый/цилиндрический и призматический элемент) в автомобилях Porsche используется цилиндрический элемент, поскольку он очень прочный с механической точки зрения, выгоден в производстве и, кроме того, обладает высокой энергетической плотностью. Помимо этого, благодаря наличию промежутков охлаждение цилиндрического элемента осуществляется гораздо проще. Энергетическая плотность никель-металл-гидридной АКБ обычно составляет 80 Вт ч/кг. Более высокая энергетическая плотность в будущем не ожидается.



Глубокий разряд, следующий за полным зарядом для «восстановления», возможен и имеет смысл только в случае никель-кадмиевого аккумулятора.

Литий-ионные АКБ

В литий-ионной АКБ напряжение истока отдельного элемента создается за счет преобразования положительно заряженных атомов лития (=ионы лития).

В качестве материала для положительного электрода используются оксиды лития (соединение лития и кислорода), для отрицательного электрода часто – графит.

При зарядке положительные ионы лития преобразуются из положительного электрода в графитовые слои отрицательного электрода. За счет этого возникает избыток заряда, который можно измерить как напряжение истока отдельного элемента. При разрядке все происходит соответственно наоборот.

Литий является высокоактивным веществом и, в отличие от никеля, намного проще вступает в реакцию с другими веществами. Это приводит, во-первых, к более высокой энергетической плотности литий-ионной АКБ (прибл. 150 Вт ч/кг), а, во-вторых, к затратным внутренним защитным мерам, которые должны защищать АКБ, например, от глубокого разряда. На начальной стадии разработки это привело к отдельным проблемам в радиоэлектронной аппаратуре, поскольку были приняты недостаточные защитные меры.

На сегодняшний день литий-ионные АКБ очень распространены в сфере радиоэлектронной аппаратуры. В качестве высоковольтного энергоаккумулятора в гибриде никель-металл-гидридная АКБ (благодаря заметному конструктивному усовершенствованию, преимуществам по безопасности и выгодной цене) имеет еще некоторые преимущества.

Обе описанные формы АКБ очень чувствительно реагируют на перезаряд или глубокий разряд. Протекающие при этом внутри элемента химические процессы необратимы. Помимо этого, в литий-ионной АКБ при глубоком разряде возникают проводящие соединения, которые могут привести к перегреву АКБ (см. выше). Доступная общая емкость никель-металл-гидридной АКБ одновременно понижается с каждым зарядом/разрядом, который превышает определенные пределы. По этим причинам обычно «ход» (эффективный диапазон изменений общей емкости) следует ограничить посредством системы управления АКБ. Старение высоковольтной АКБ происходит очень медленно и не ощущается водителем. В гибридных приводах Porsche высоковольтная АКБ рассчитана на весь срок службы автомобиля.

АКБ достигают максимальной мощности в заданном диапазоне температур. В высоковольтной АКБ Porsche Cayenne S Hybrid этот диапазон составляет от +10°C до +37°C. Возникновение слишком низких температур предотвращается за счет защищенного монтажного положения. Кроме того, высоковольтная АКБ может активно нагружаться импульсной зарядом/разрядом, чтобы достичь оптимальной рабочей температуры. Защита от слишком высоких температур достигается за счет воздушного охлаждения.

Варианты гибрида

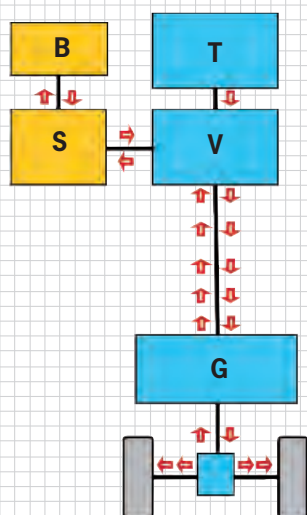
Гибридные приводы представляют собой сочетание двух различных приводных агрегатов с различным принципом работы. На сегодняшний день под гибридной техникой понимается комбинация двигателя внутреннего сгорания и электропривода. В зависимости от направленности этой основной конструкции различают три вида гибридных приводов:

- микрогибрид,
- мягкий гибрид,
- полный гибрид.

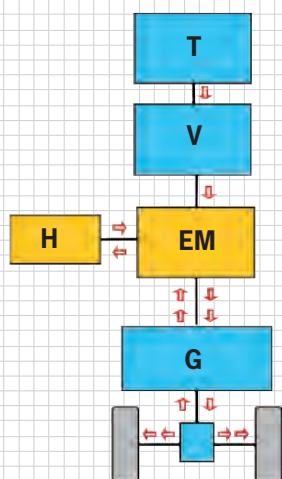
Электронная система
управления двигателя DME

Виды гибрида (диапазон мощности)	Микрогибрид (прибл. 2-10 кВт)	Мягкий гибрид (прибл. 15-30 кВт)	Полный гибрид (прибл. 20-75 кВт)
Функции			
Старт-стоп	X	X	X
Регенеративное торможение	X	X	X
Режим Boost		X	X
Электрический режим			X
Выгода клиентов			
Уменьшение расхода	X	X	X
Динамика движения		X	X
Электрический режим			X

Для всех вариантов на рынке есть примеры от различных производителей. Однако только полный гибрид может объединить в себе все преимущества комбинации ДВС и электродвигателя. Используемая Porsche технология одновального параллельного полного гибрида на сегодняшний день обеспечивает ощутимый оптимальный результат среди гибридных приводов.



- T Топливный бак
- V Двигатель внутреннего сгорания
- G Коробка передач
- S Стартер
- B 12-вольтная АКБ



- T Топливный бак
- V Двигатель внутреннего сгорания
- EM Электроустановка
- G Коробка передач
- H Высоковольтная батарея

Микрогибрид

В этой концепции привода электрокомпонент (электростартер/генератор) служит исключительно для реализации функции старт-стоп. При торможении часть кинетической энергии можно снова сделать доступной для использования в виде электрической энергии (рекуперация). Движение только в электрическом режиме невозможно. Характеристики стартера и 12-вольтной АКБ рассчитаны на частый пуск двигателя.

Мягкий гибрид

Электропривод поддерживает работу двигателя внутреннего сгорания. Поэтому высоковольтная АКБ также называется тяговой. Движение только в электрическом режиме невозможно. В мягком гибриде большая часть кинетической энергии при торможении рекуперируется и аккумулируется в качестве электрической энергии в высоковольтной АКБ. Высоковольтная АКБ, а также электрические компоненты рассчитаны на высокое напряжение и, тем самым, на высокую мощность. Параллельно с высоковольтной АКБ там может быть и 12-вольтная АКБ, а также обычный стартер. За счет поддержки от электроустановки водителю становится доступным момент Boost.

Полный гибрид

Мощный электродвигатель комбинируется с двигателем внутреннего сгорания. Этот привод позволяет ехать только в электрическом режиме. Пробег на одной зарядке зависит только от размеров высоковольтной АКБ (тяговой).

Электродвигатель поддерживает работу ДВС, если это требуется при моменте, выбранном водителем. Медленно ехать можно только на электроприводе. Как только ДВС больше не требуется, он останавливается. Система управления гибрида решает, когда снова подключить его. Рекуперация (энергии торможения) используется для зарядки высоковольтной АКБ.

Полные гибриды делятся на три подгруппы:

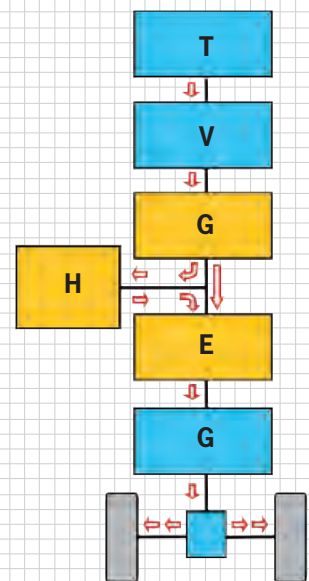
- последовательные гибридные приводы
- гибридные приводы с распределением мощности
- параллельные гибридные приводы

Последовательный гибрид

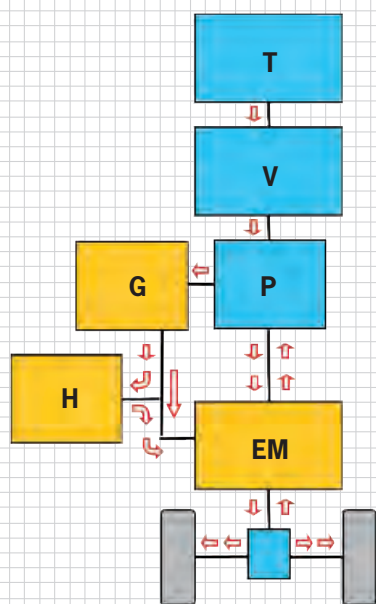
Такой вариант привода в похожей форме уже долгое время используется в приводах, например, дизельно-электрических локомотивов и судов. Двигатель внутреннего сгорания не соединен с колесами. Привод автомобиля берет на себя электроустановка. ДВС может постоянно эксплуатироваться в оптимальном рабочем диапазоне и генерировать механическую энергию для генератора. Электродвигатель питается электроэнергией либо напрямую генератором, либо через высоковольтную АКБ. Если емкость высоковольтной АКБ слишком низкая, ДВС запускается и посредством генератора заряжает высоковольтную АКБ.

Электронная система
управления двигателем DME

2



- Т Топливный бак
V Двигатель внутреннего сгорания
G Генератор
Е Электродвигатель
G Коробка передач
Н Высоковольтная батарея



- T Топливный бак
- V Двигатель внутреннего сгорания
- P Планетарная коробка передач
- EM Электроустановка
- G Генератор
- H Высоковольтная АКБ

Гибрид с распределением мощности

Гибридный привод с распределением мощности наряду с ДВС включает в себя генератор и электроустановку. Все компоненты находятся на передней оси. Привод осуществляется двигателем внутреннего сгорания посредством планетарной коробки передач или параллельно ей посредством электроустановки на коробке передач автомобиля. В зависимости от управления планетарной коробки передач можно переключать между последовательным и параллельным режимом. Таким образом, по сравнению с конструкцией параллельного привода, здесь колеса не могут воспринимать сумму единичных мощностей приводов обоих видов. Для движения всегда часть мощности от двигателя внутреннего сгорания преобразуется генератором в электрическую мощность и снова передается на колеса электроустановкой. Максимальная приводная мощность – это сумма мощности ДВС и АКБ.

Последовательный гибрид с распределением мощности

Для полноприводных автомобилей можно использовать сочетание названных выше вариантов привода. Последовательный гибрид с распределением мощности включает в себя ДВС и две электроустановки. При необходимости электроустановку 2 можно подключить к приводу передней оси.

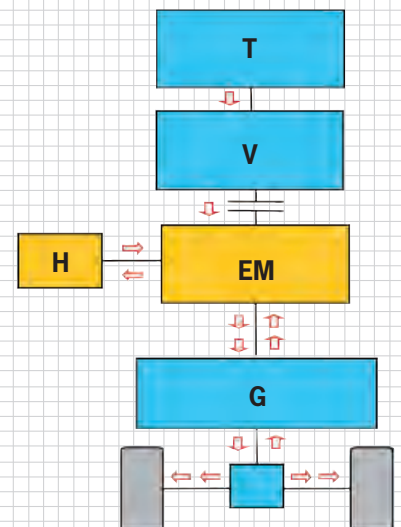
Porsche использует эту концепцию привода в гоночных автомобилях GT, похожих на серийные. Передняя ось нового Porsche 911 GT3 R приводится в движение 2-я электроустановками общей мощностью 120 кВт дополнительно к оппозитному двигателю мощностью 480 л.с. в задней части автомобиля. Вместо обычной высоковольтной АКБ используется электрический гигроскопический энергоаккумулятор. При торможении обе электроустановки генерируют электрическую энергию, которая в гигроскопическом энергоаккумуляторе преобразуется в энергию вращения. При обгоне или ускорении при выходе из поворотов гигроскопический энергоаккумулятор работает в качестве генератора и посредством своей энергии приводит в действие обе электроустановки на передней оси.



- 1 Силовой электронный блок 1
- 2 2 электродвигателя
- 3 Высоковольтный кабель
- 4 Гироскопический энергоаккумулятор
- 5 Силовой электронный блок 2

Параллельный гибрид

Параллельная конструкция отличается своей простотой. Она часто используется, когда нужно «гибридизировать» имеющийся автомобиль. При этом можно использовать большинство имеющихся деталей, переработка в большинстве случаев не требуется. Это облегчается и за счет небольшого монтажного размера гибридного модуля, который в Cayenne S Hybrid составляет всего прибл. 15 см.

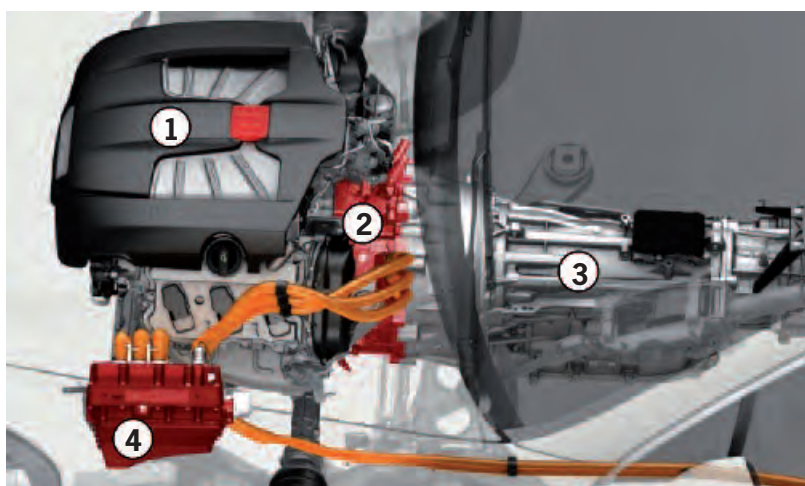


- T Топливный бак
- V Двигатель внутреннего сгорания
- P Планетарная коробка передач
- ЕМ Электроустановка
- G Коробка передач
- Н Высоковольтная АКБ

- 1 Двигатель внутреннего сгорания
- 2 Гибридный модуль с
разделительным сцеплением
- 3 Коробка передач
- 4 Силовой электронный блок

Концепция привода Porsche Cayenne S Hybrid соответствует одновальному параллельному гибриднему приводу.

Здесь гибридный модуль находится между ДВС и трансмиссией на общем валу и имеет длину почти 15 см. В гибридный модуль встроено разделительное сцепление. Таким образом, система управления гибридом может прервать силовое замыкание между ДВС и электроустановкой.

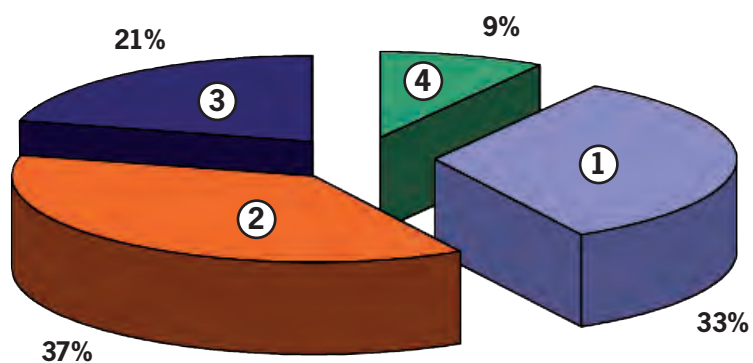


Концепция параллельного гибридного привода Porsche обеспечивает в общей сложности 6 различных специфических для гибрида режимов движения, которые определяются встроенной в блок управления двигателя MED 17.1.6 системой управления гибрида в соответствии с конкретной ситуацией:

- 1) Только электрический режим
 - Разделительное сцепление открыто, ДВС был остановлен. Только электроустановка (в качестве двигателя) приводит в движение автомобиль.
- 2) Режим Boost
 - Разделительное сцепление закрыто, ДВС и электроустановка (в качестве двигателя) приводят автомобиль в движение с максимальной мощностью. Крутящие моменты и мощности прибавляются к общей мощности.
- 3) Движение на ДВС со смещением точки нагрузки
 - Вариант 1: Разделительное сцепление закрыто, ДВС заряжает АКБ и приводит автомобиль в движение (повышение точки нагрузки).
 - Вариант 2: Разделительное сцепление закрыто, ДВС приводит автомобиль в движение и поддерживается электроустановкой (понижение точки нагрузки).
- 4) Движение по инерции (накатом без привода – до 156 км/ч)
 - Разделительное сцепление открыто, ДВС был остановлен. Электроустановка работает практически без перебоев. Автомобиль катится без значительных тормозных моментов.
- 5) Регенеративное торможение (рекуперация)
 - Электроустановка (в качестве генератора) генерирует электрический ток, который используется для заряда высоковольтной АКБ и работы бортовой сети.
- 6) Автоматическая функция старт-стоп
 - Пуском и остановкой ДВС управляет исключительно система управления гибрида. Водитель не может напрямую повлиять на это.

- 1 Стоп ДВС
- 2 Старт ДВС
- 3 Электрический режим
- 4 Рекуперация

В новом европейском ездовом цикле (NEFZ) режимы движения распределяются согласно следующему изображению.



Режимы «Boost» и «движение по инерции» не учитываются в ездовом цикле NEFZ.

Трансмиссия

Специфические настройки гибрида

Отсутствующие компоненты

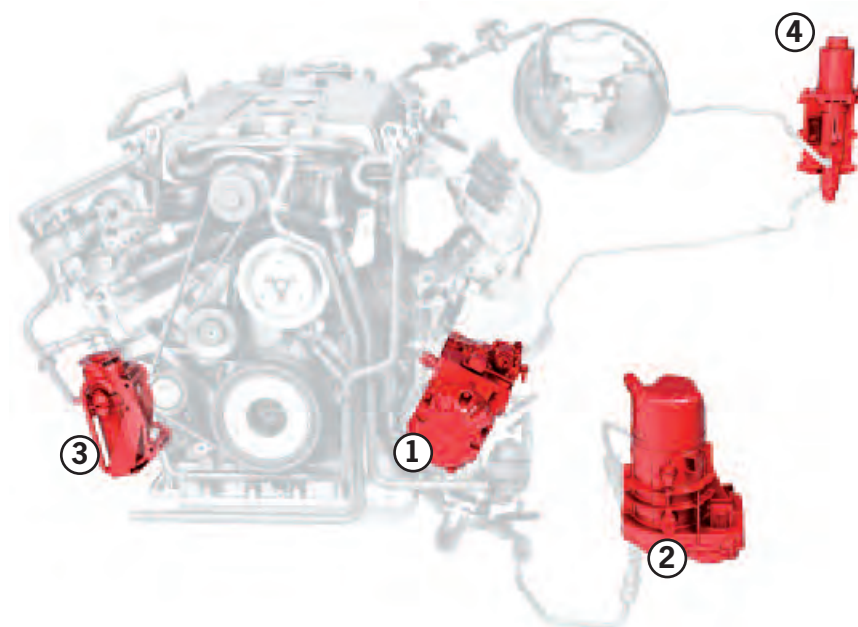
За счет использования гибрида удалось отказаться от 2 дополнительных агрегатов ДВС:

- Здесь не используется обычный стартер. Пуск осуществляется электроустановкой после задействия разделительного сцепления.
- Упразднение 12-вольтового генератора. Питание бортовой сети осуществляется преобразователем DC/DC силового электронного блока, который адаптирует напряжение высоковольтной АКБ к уровню бортовой сети.

Электрифицированные вспомогательные агрегаты

Для поддержки различных функций автомобиля при остановленном ДВС некоторые компоненты были электрифицированы, либо были дополнительно использованы электрифицированные компоненты:

- электрический высоковольтный компрессор системы кондиционирования для кондиционирования салона
- электрогидравлический сервонасос для усиления рулевого управления
- дополнительный электрический вакуумный насос для усиления тормозного привода
- дополнительный электрический маслonaгнетательный насос для подачи трансмиссионного масла
- два дополнительных электрических водяных насоса (один для высокотемпературного контура и один для низкотемпературного контура)
- электрогидравлический линейный актуатор для задействия разделительного сцепления



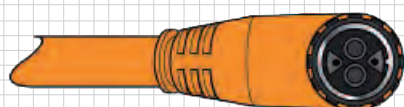
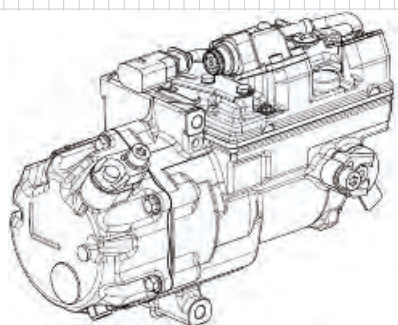
Электронная система
управления двигателем DME

2



Дополнительную информацию см. в главе «Двигатель», «Коробка передач» и «Ходовая часть»

- 1 Высоковольтный компрессор системы кондиционирования
- 2 Сервонасос (усилитель рулевого управления)
- 3 Вакуумный насос (усилитель тормозного привода)
- 4 Линейный актуатор (разделительное сцепление)



Для получения дополнительной информации см. конструктивный узел «Система кондиционирования».

Блок-схема Управление
высоковольтного компрессора
системы кондиционирования

- 1 288 В DC
 - 2 Соединение CAN (блок управления подушек безопасности)
 - 3 Кл. 15 и кл. 31
 - 4 Двигатель трехфазного тока
- PS - Внутренний блок питания
PWR - Импульсный преобразователь
μC - Блок управления

↔ Информация
— Высоковольтный кабель
— Высоковольтный провод

Компрессор системы кондиционирования

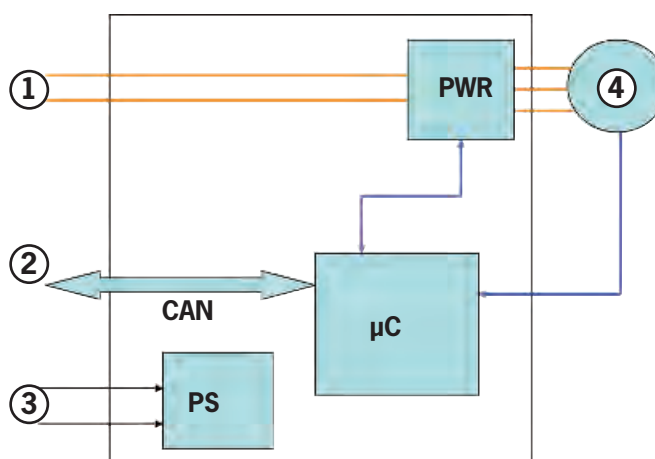
Являясь потребителем с максимальной потребляемой мощностью 3,2 кВт, компрессор системы кондиционирования был подключен прямо к сети АКБ NiMH на 288 вольт. Высоковольтный кабель сначала соединяет компрессор системы кондиционирования с силовым электронным блоком, который передает дальше постоянное напряжение от АКБ. Помимо того, внутри силового электронного блока находится предохранитель компрессора системы кондиционирования.



Тогда как в случае всех остальных соединений с силовым электронным блоком речь идет об однопроводных кабелях, соединительный кабель компрессора системы кондиционирования состоит в общей сложности из четырех проводов и наряду с обоими полюсами электропитания с постоянным напряжением имеет два пилотных кабеля для обеспечения целостности системы в целом.

Двигатель компрессора системы кондиционирования представляет собой двигатель трехфазного тока (бесщеточный двигатель постоянного тока).

Преобразование осуществляется на компрессоре системы кондиционирования из постоянного напряжения в 3-фазное переменное напряжение 3 x 280 вольт.



Другие дополнительные агрегаты

Для обеспечения усиления рулевого управления и без участия ДВС сервонасос усилителя тоже электрифицирован, номинальное напряжение 12 В DC.

Дополнительный электрический маслонагнетательный насос для подачи трансмиссионного масла обеспечивает возможность переключения в том числе и при выключенном ДВС и подачу достаточного количества масла к подвижным деталям.

За счет электрифицированных насосных агрегатов усилитель тормозного привода и рулевого управления также могут, например, выполнять свои функции при работе в электрическом режиме.

Являясь мощными компонентами гибридной трансмиссии, электроустановка и силовой электронный блок требует охлаждения и при выключенном ДВС. Для этих целей используются два электрических насоса ОЖ.

Электронная система
управления двигателя DME

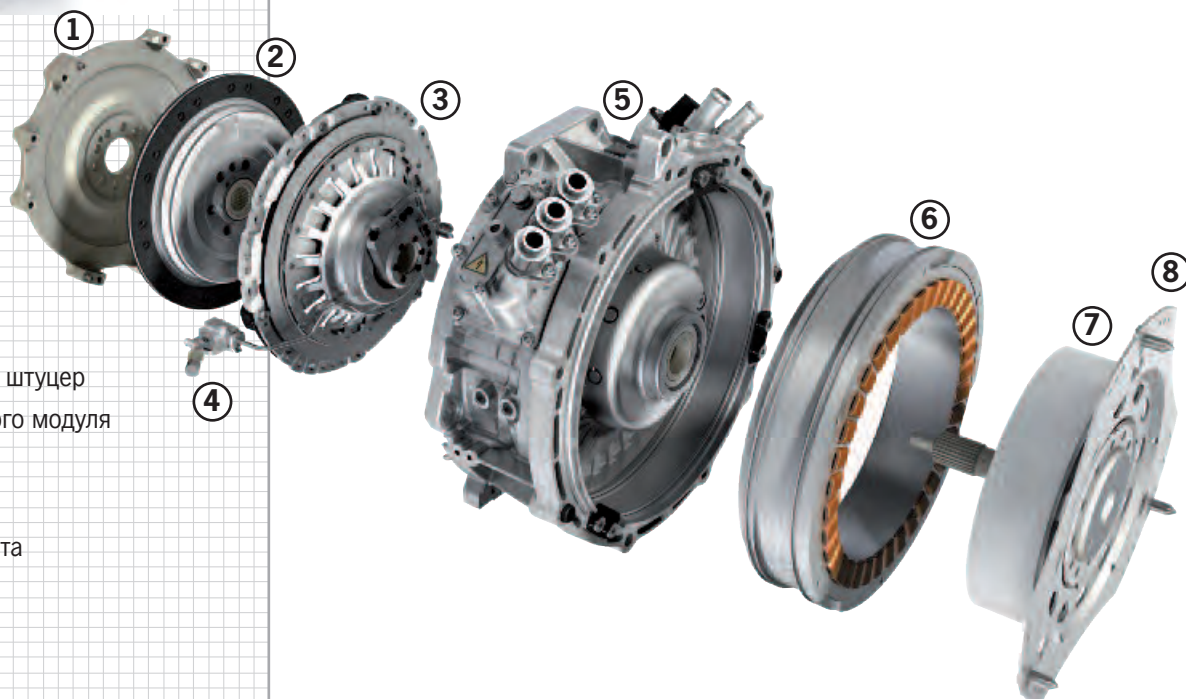
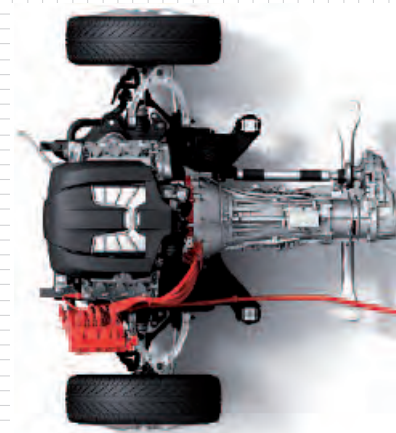
2



Для получения дополнительной информации см. соответствующие конструктивные узлы.

Электронная система
управления двигателем DME

2



- 1 Маховик
- 2 Ведущий диск
- 3 Нажимной диск
- 4 Гидравлический штуцер
- 5 Кожух гибридного модуля
- 6 Статор
- 7 Ротор
- 8 Эластичная муфта



Для установки и снятия гибридного модуля либо отдельных компонентов требуется специальный инструмент. При выполнении работ ни в коем случае не должна быть повреждена или деформирована гидравлическая линия. См. руководство по ремонту!

Гибридный модуль

Гибридный модуль встроен по модульному принципу между ДВС и коробкой передач. Весь модуль (электроустановка и сцепление) в длину составляет всего 147,5 мм и весит прилб. 53 кг. Благодаря компактным размерам его удалось встроить в трансмиссию без значительных изменений.

Модуль состоит из разделительного сцепления со стороны соединения с ДВС, а также электроустановки, которая обеспечивает силовое замыкание с коробкой передач посредством эластичной муфты. Ротор электроустановки вместе с эластичной муфтой обеспечивает со стороны коробки передач соединение гибридного модуля с преобразователем 8-ступенчатой автоматической коробки передач. Тогда как части электроустановки можно заменить только как единый элемент, компоненты разделительного сцепления – маховик, ведущий диск и нажимной диск – заменяются по отдельности.

Разделительное сцепление

Разделительное сцепление обеспечивает силовое замыкание между ДВС и гибридным модулем и позволяет быстро и удобно соединять и отсоединять на переходах специфических для гибрида режимов работы. Во время перехода с электрического режима в режим ДВС разделительное сцепление в течение прибл. 70 мс быстро закрывается с соблюдением точности момента.

Во всех режимах работы, требующих силового замыкания между ДВС и трансмиссией, разделительное сцепление закрыто. Убедитесь, что сила ДВС может быстро и без снижения комфорта передаваться на электроустановку, коробку передач, а оттуда на дорогу.

К разделительному сцеплению предъявляют следующие требования:

- возможность передачи момента двигателя при высокой точности момента
- высокая комфортабельность езды
- высокая надежность
- гарантия того, что в открытом состоянии, при движении в электрическом режиме, не возникнет тормозных моментов
- высокая устойчивость

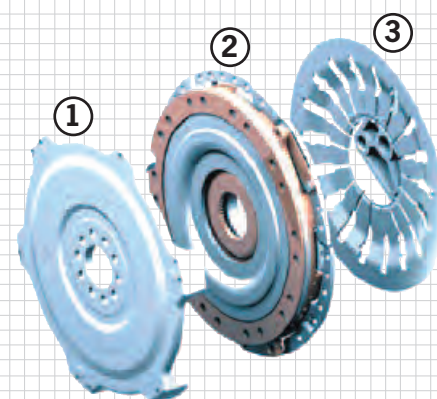
Разделительное сцепление исполнено в качестве сухого сцепления и состоит из маховика, ведущего и нажимных дисков. Маховик представляет собой соединение со стороны двигателя с гибридным модулем и за счет инерции уменьшает колебания частоты вращения.

Кроме того, в сцеплении есть амортизатор с дугообразной пружиной, который амортизирует крутильные колебания аналогично двухмассовому маховику.

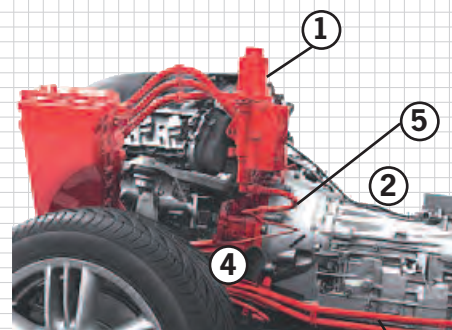
Масса с вторичной стороны представлена ротором электроустановки, а также насосным колесом гидротрансформатора.

Электронная система
управления двигателем DME

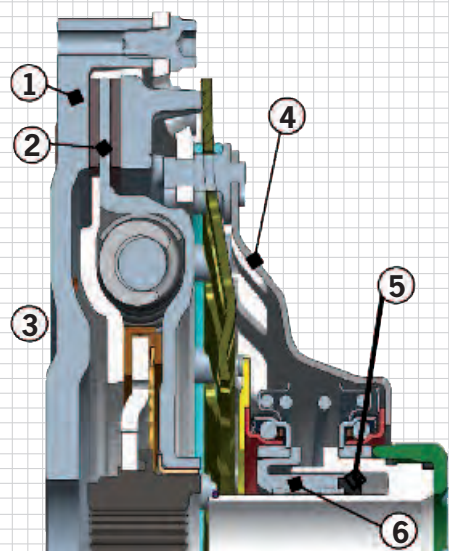
2



- 1 Маховик
- 2 Ведущий диск
- 3 Нажимной диск



- 1 Линейный актуатор
- 2 Коробка передач
- 3 Высоковольтные кабели
- 4 Гибридный модуль
- 5 Гидравлическая линия, идущая к гибриднему модулю



На нажимном диске разделительного сцепления имеется подключение для гидравлической линии, идущей к линейному актуатору гидравлического модуля управления. Открывание и закрывание разделительного сцепления осуществляется центральной муфтой также с гидравлической регулировкой, которая управляется линейным актуатором.

В процессе соединения ведущий диск - 2 прижимается нажимным диском - 4 за счет силы тарельчатой пружины к маховику - 1, обеспечивая таким образом силовое замыкание.

- | | |
|------------------|--|
| 1 - Маховик | 4 - Нажимной диск |
| 2 - Ведущий диск | 5 - Гидравлическая нагнетательная камера |
| 3 - Сторона ДВС | 6 - Исполнительный механизм поршня откр. закр. |

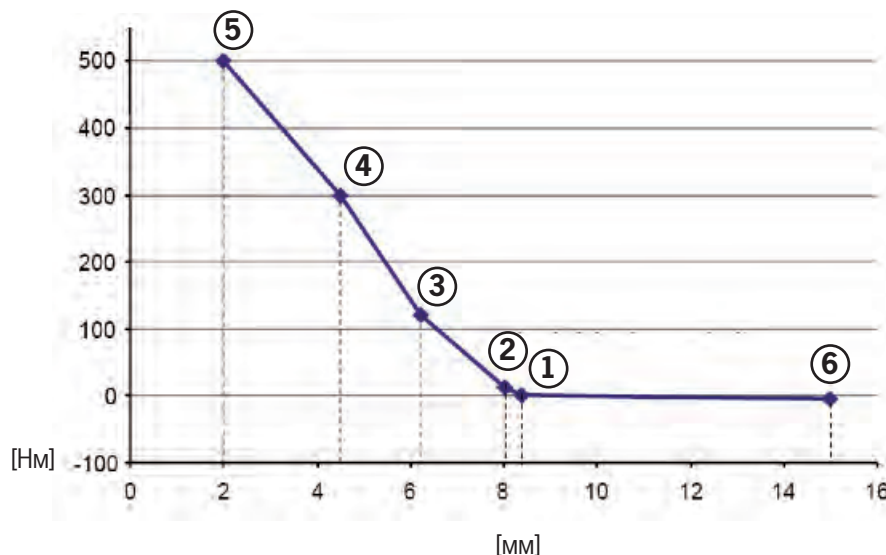
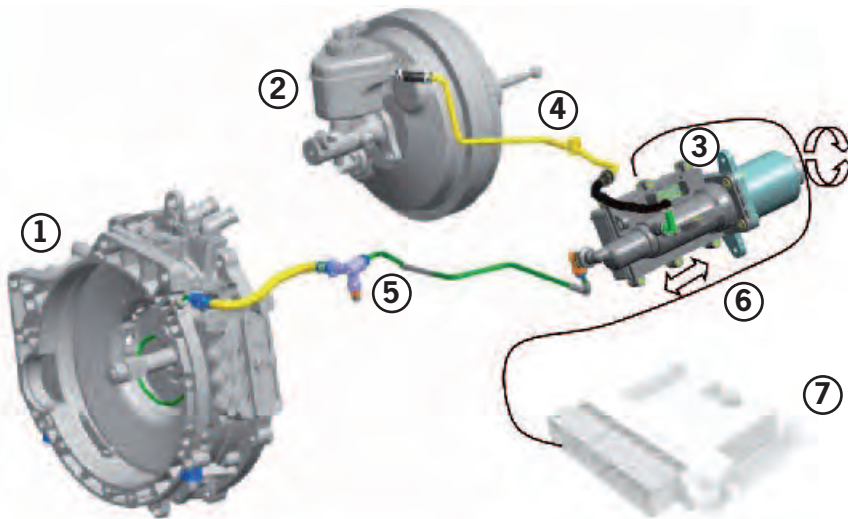
Принцип действия

Система управления гибрида встроена в корпус блока управления DME MED 17.1.6 и управляет линейным актуатором по шине CAN гибрида в соответствии с необходимой дорожной ситуацией и за счет этого позволяет осуществлять непрерывную смену между специфическими для гибрида режимами движения.

В линейном актуаторе шариковая винтовая передача преобразует вращение электрического серводвигателя в поступательное движение в главном цилиндре. Гидравлическое снабжение системы осуществляется через расширительный бачок тормозной жидкости.

Электронная система управления двигателем DME

2



На приведенной выше диаграмме указан крутящий момент в зависимости от пути перестановки актуатора. Управление актуатора сцепления осуществляется с помощью встроенной в систему управления гибрида системы **Porsche Hybrid Clutch Management (PHCM)**.

Стратегии PHCM ориентируются на следующие пункты:

- компенсация (температура, частота вращения, ...)
- адаптация (старение, рассыпание деталей, износ, ...)
- диагностика (пробуксовка, моменты, динамика, ...)
- нулевое положение (свободный ход педали сцепления, скорость перемещения, предварительная затяжка,...)

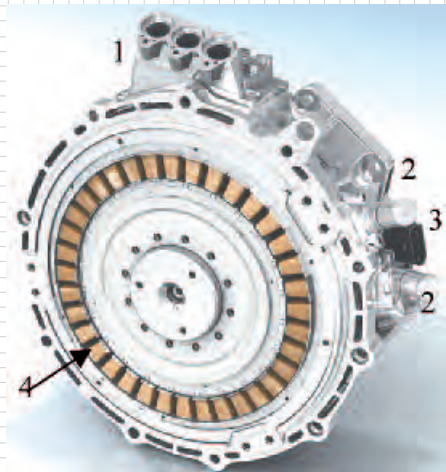
- 1 Физическая точка начала передачи момента
- 2 Новая точка начала передачи момента, определенная в результате адаптации
- 3 Адаптации пуска
- 4 Адаптации гибрида
- 5 Сцепление полностью закрыто
- 6 Сцепление открыто



Прокачка гидравлической системы, а также базовая настройка осуществляются посредством ведомых функций с помощью тестера PIWIS. Система имеет возможность диагностики.

Электронная система
управления двигателя DME

2



- 1 3-фазное подключение
- 2 Подключения ОЖ
- 3 Подключение датчиков
- 4 Обмотки статора

Электроустановка

Корпус гибридного модуля, выполненный методом алюминиевого литья под давлением, длиной 70 мм находится между ДВС и автоматической коробкой передач. На корпусе находятся трехфазные токоподводы, через которые модуль соединяется напрямую с силовым электронным блоком. Через эти 288-вольтовые кабели осуществляется отбор мощности либо питание электроустановки.

Движение только в электрическом режиме по ровной поверхности возможно до скорости прибл. 50 км/ч, в режиме E-Power – прибл. до 60 км/ч. Контроль температуры осуществляется температурными датчиками, встроенными в обмотки статора, их показатели передаются по шине CAN системе управления гибрида. Соответствующее подключение находится между подключениями ОЖ.

Технические характеристики электроустановки приведены в следующей таблице.

Характеристика	Значение/описание
Вид двигателя	Трехфазная синхронная электроустановка, ротор, без щеток с постоянными магнитами
Охлаждение	Водяное охлаждение (встроено в высокотемпературный контур)
Мощность	38 кВт электрическая/34 кВт механическая
Крутящий момент	285 (макс. 300) Нм
Номинальное напряжение	288 В AC
КПД	прибл. 90 %
Размеры	Диаметр статора 300 мм, длина электроустановки 70 мм

Статор/ротор

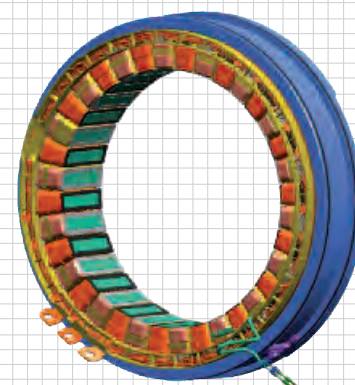
Статор представляет собой наружную деталь электроустановки и имеет 36 отдельных обмоток зубьев из медной проволоки и привинчен в корпусе электроустановки в определенном положении. Установленные в статоре датчики положения ротора регистрируют текущее положение ротора и передают его на блок управления в силовом электронном блоке. По этим данным осуществляется регулировка частоты для достижения необходимой частоты вращения и питания обмоток 3-фазным переменным током.

Ротор имеет конструкцию внутреннего ротора и с помощью постоянных магнитов из неодим-железа-бора создает магнитное поле. Он прочно крепится подшипниками к приводному валу и подгоняется к статору, чтобы обеспечивалось вращательное движение. На обратной стороне ротора находится прочно связанная эластичная муфта, с помощью которой устанавливается соединение с коробкой передач.

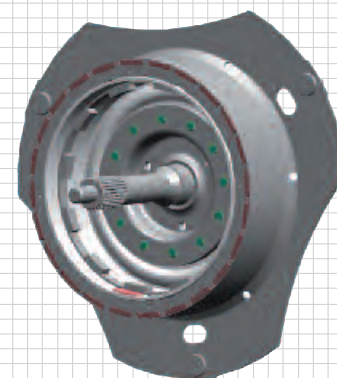
Электроустановка в режиме работы двигателя при напряжении 288 вольт потребляет электрическую мощность максимум 38 кВт, тогда при указанном КПД прил. 90 % в форме механической мощности вырабатывается прил. 34 кВт. Такую мощность электроустановка выдает непрерывно практически во всем диапазоне частоты вращения почти до достижения предельного числа оборотов двигателя внутреннего сгорания. В режиме Boost суммируется общая мощность двигателя внутреннего сгорания и электроустановки, поэтому кривая мощности системы в целом имеет характеристику двигателя внутреннего сгорания.

Электронная система
управления двигателя DME

2



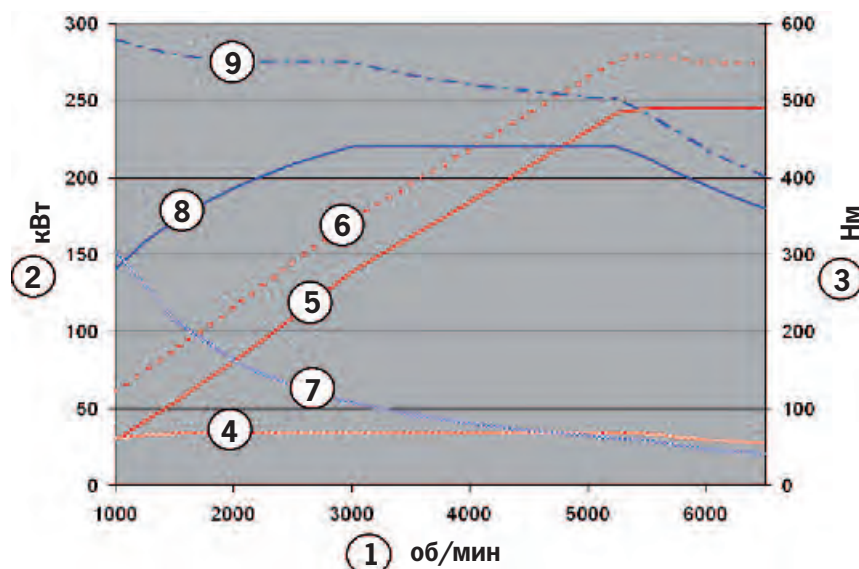
Статор



Ротор

Диаграмма мощности Cayenne S Hybrid

- 1 Частота вращения
- 2 Мощность
- 3 Крутящий момент
- 4 Мощность электроустановки
- 5 Мощность двигателя внутреннего сгорания
- 6 Общая мощность
- 7 Крутящий момент электроустановки
- 8 Крутящий момент двигателя внутреннего сгорания
- 9 Крутящий момент системы в целом



Силовой электронный блок

Силовой электронный блок находится в алюминиевом корпусе, установленном спереди слева в моторном отсеке между двигателем внутреннего сгорания и колесной нишей. Вес модуля составляет прибл. 14 кг.

В силовом электронном блоке находятся различные компоненты:

- Импульсный инвертор (PWR) 288 В DC 288 В AC
- Преобразователь DC/DC 288 вольт 12 вольт
- Блок управления силовым электронным блоком
- Высоковольтный сетевой распределитель с защитным предохранителем для компрессора системы кондиционирования

• Разъемы:

- Трехфазный переменный ток к электроустановке (1)
- Постоянное напряжение (+ и -), идущее к высоковольтной АКБ в задней части автомобиля (2)
- Высоковольтный разъем для компрессора системы кондиционирования (3)
- Подключения ОЖ для низкотемпературного контура (4)
- Разъем для гибридного управления (5)
- Низковольтные разъемы для 12-вольтовой бортовой сети (положительный потенциал на винтовом разъеме сверху с левой стороны, масса сверху на кожухе)
- Разъем для выравнивания потенциалов (на кожухе справа; более подробную информацию по выравниванию потенциалов Вы найдете в описании конструктивного узла 9)

Импульсный инвертор (PWR)

Чтобы использовать постоянный ток тяговой АКБ для тягового усилия электроустановки, его необходимо преобразовать в трехфазный переменный ток. Если во время рекуперации электроустановка при торможении работает в режиме генератора, то создаваемый переменный ток снова преобразуется в постоянный, чтобы его можно было сохранить в АКБ. Обе эти функции берет на себя импульсный инвертор. При работе от электродвигателя на непродолжительное время возможна подача тока до 370 А, при обычной работе протекает ток от 100 А до 150 А.

Преобразователь DC/DC

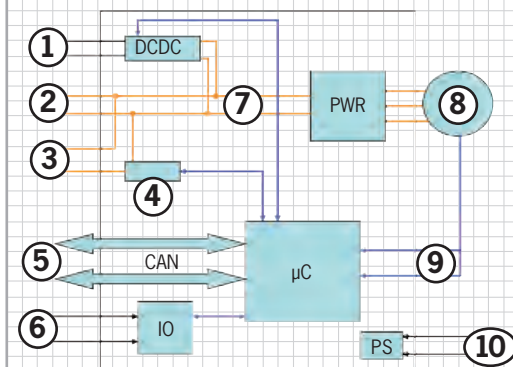
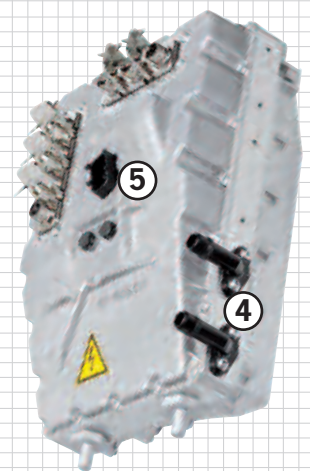
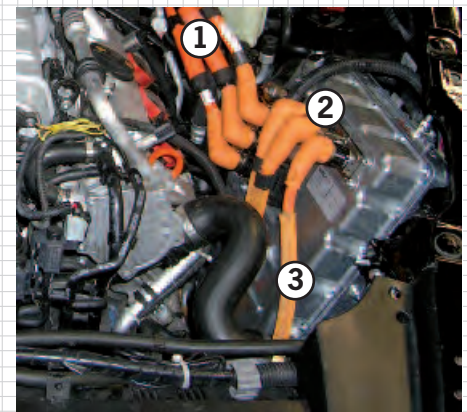
Преобразователь DC/DC преобразует постоянное напряжение 288-вольтовой АКБ в напряжение бортовой сети 12 вольт, чтобы тем самым обеспечить электропитание соседних агрегатов и прочих потребителей бортовой сети и зарядить 12-вольтовую АКБ.

Возникающее тепло отводится за счет интеграции модуля в низкотемпературный контур двигателя внутреннего сгорания.

Блок-схема силового электронного блока

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 - Кл. 30 и 31 | 8 - Электроустановка |
| 2 - 288 В DC от высоковольтной АКБ | 9 - Температура и датчик положения ротора |
| 3 - 288 В DC к компрессору системы | 10 - Блок ввода-вывода |
| 4 - Предохранитель | μC - Блок управления силовым электронным блоком |
| 5 - Гибридный CAN и привод CAN | IO - Блок ввода-вывода |
| 6 - Кл. 15 и 50 | PS - Внутренний блок питания |
| 7 - 288 В DC | |
- ↔ Информация — Высоковольтный провод

Электронная система управления двигателя DME



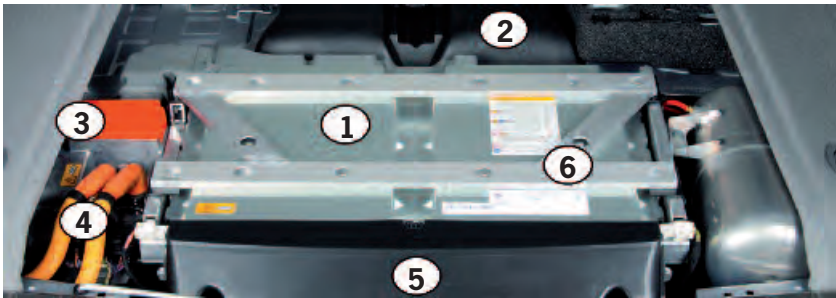
- 1 Высоковольтная АКБ
- 2 Каналы забора приточного воздуха (из салона)
- 3 Сервисный штекер (на коммутационном блоке)
- 4 Высоковольтные разъемы
- 4 Низковольтные разъемы
 - для электроклапанов
 - для управления/шины CAN
- 5 Корпус для 2 электроклапанов
- 6 Рама защитного корпуса

Высоковольтная АКБ

В модели Cayenne S Hybrid используется никель-металл-гидридная АКБ, специально усовершенствованная в отношении эксплуатационной надежности, продолжительности использования и затрат, а также разработанная с использованием проверенной временем технологии. АКБ NiMH расположена в нише для запасного колеса над задней осью.

Модуль АКБ состоит из следующих компонентов:

- Высоковольтная АКБ (в защитном кожухе)
- Коммутационный блок с сервисным штекером (позволяет обесточить оставшиеся гибридные компоненты)
- Система управления АКБ (сбоку на коммутационном блоке)
- Система вентиляции (охлаждение АКБ)
- Разъемы для высоковольтного кабеля
- Датчики в высоковольтной АКБ (температура, напряжения модуля)



Из соображений безопасности АКБ состоит из двух блоков по 140 элементов. Соответственно, 10 элементов объединены в один модуль. Так возникают 2 x 144 вольт, подключаемые последовательно посредством сервисного штекера и создающие общее напряжение 288 вольт.

Дополнительные параметры высоковольтной АКБ указаны в следующей таблице.

Характеристика	Значение/описание	Характеристика	Значение/описание
Тип АКБ	Никель-металл-гидрид	Вес	прибл. 80 кг
Мощность	38 кВт (электр.)	Рабочий диапазон при макс. мощности	10 - 38 °C (для чистого пуска двигателя > -30°C)
Энергоемкость	1,7 кВт ч	Размеры	Длина 347 мм Ширина 633 мм Высота 291 мм
Напряжение	288 В	КПД	прибл. 90 %
Число элементов	240 (по 1,2 вольт)	Система охлаждения	Охлаждающий воздух из салона автомобиля

АКБ имеет общую энергоемкость 1,7 кВт ч. Рабочий диапазон, в котором АКБ эффективно используется для тяговой силы, составляет прикл. 30 % - 70 %. Эффективная емкость АКБ на индикаторе комбинации приборов, а также РСМ изменяется от 0 % до 100 % и обозначается как относительная степень зарядки АКБ. Фактически индикация соответствует прикл. 40 % (0,68 кВт ч) общей энергоемкости в размере 1,7 кВт ч, доступной для езды только в электрическом режиме, а также для рекуперации энергии. Этот рабочий диапазон (ход) учитывает требования к долговечности АКБ (ресурс АКБ) и предотвращает критические состояния АКБ, например, полную разрядку или перезарядку.

Система управления АКБ (BMS)

Для контроля всех основных параметров АКБ, обработки данных и коммуникации с системой управления гибридного модуля сбоку от сервисного штекера и разъемов находится собственный блок управления, пригодный для бортовой диагностики. Система управления АКБ (Battery Management System) через шину CAN гибрида и CAN привод соединяется с центральной системой управления гибридным модулем в блоке управления DME. К входным величинам относятся параметры датчика контроля напряжения модуля, температуры модуля и АКБ, а также датчик тока, контролирующий уровень зарядки SOC (State of Charge) и нагрузку на АКБ. Посредством системы управления АКБ активируются двигатели 2 вентиляторов для охлаждения высоковольтной АКБ. Следующей важной задачей является контроль электрической изоляции высоковольтных компонентов гибрида в остальной части автомобиля, а также расчет уровня зарядки АКБ.

Коммутационный блок

Коммутационным блоком называется модуль соединения с высоковольтной АКБ. Он служит связующим звеном между элементами АКБ и высоковольтными подключениями для линий, которые ведут к силовому электронному блоку. Коммутационный блок получает Ваши указания через систему управления АКБ, отдельный блок управления в коммутационном блоке. Коммутационный блок имеет следующие подключения:

- 2 подключения постоянного напряжения (2 x 144 В плюс и минус) на переходе между высоковольтной АКБ и сервисным штекером
- 1 подключение постоянного напряжения (1 x 288 В плюс и минус) к силовому электронному блоку
- низкое напряжение для управляющего разъема (гибрид-CAN/привод-CAN, вентилятор и т. д.)

В коммутационном блоке находятся и другие компоненты, описанные далее.

Электронная система управления двигателя DME

2



0,68 кВт ч
(40 %)



- 1 Сервисный штекер
- 2 Штекер линии управления
- 3 Высоковольтные разъемы
- 4 Система управления АКБ
- 5 Низковольтные разъемы



См. главу «Безопасность
высоковольтного оборудования»!

Контактор

При вставленном сервисном штекере соответственно 2 из 3 контакторов устанавливают соединение силового электронного блока с высоковольтной АКБ. Активация, и, следовательно, подключение постоянного напряжения 288 вольт к силовому электронному блоку осуществляется посредством системы управления АКБ, причем непрерывная линия пилотного кабеля, которая обеспечивает бесперебойное соединение со всеми компонентами гибридного модуля, является обязательным условием этой активации. Для подзарядки при запуске гибридной системы на пути мощности включается добавочное сопротивление, прежде чем посредством переключения контакторов не будет предоставлена полная мощность.

Сервисный штекер

Внутри сервисного штекера находятся высоковольтный предохранитель, подключенный параллельно элементам АКБ, а также контакт пилотного кабеля. Поэтому извлечение сервисного штекера отсоединяет высоковольтную АКБ от прочих высоковольтных компонентов и является условием для проведения работ на этих компонентах.

Система управления температурой

Охлаждение гибридного модуля

Для отвода тепла гибридный модуль интегрирован в высокотемпературный контур двигателя. При выключенном двигателе внутреннего сгорания циркуляция охлаждающей жидкости обеспечивается посредством дополнительного водяного насоса с электроприводом.

Для быстрого нагрева двигателя внутреннего сгорания гибридный модуль может отключаться от контура системы охлаждения посредством клапана поворотной задвижки, управляемого с помощью вакуума. Температура в гибридном модуле регистрируется посредством датчиков и передается в блок управления силового электронного блока.

Охлаждение силового электронного блока

Силовой электронный блок интегрирован в низкотемпературный контур двигателя внутреннего сгорания. Циркуляция охлаждающей жидкости обеспечивается посредством дополнительного водяного насоса с электроприводом. Благодаря ему силовой электронный блок может работать в оптимальном температурном диапазоне. При помощи этого же контура осуществляется и охлаждение интеркулеров, встроенных в корпус компрессора

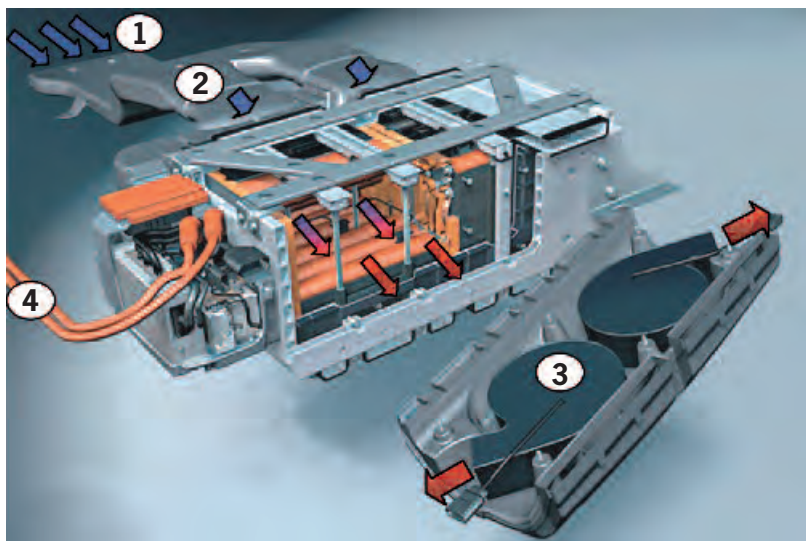
Охлаждение высоковольтной АКБ

Максимальной мощности в 38 кВт высоковольтная АКБ достигает в диапазоне температур от +10°C до +37°C.

Благодаря защищенному монтажному положению на практике удастся избежать пониженных температур. Если температура все же опускается ниже этого порогового значения, то при достижении +10°C она начинает активно излучать тепло, циклически получая нагрузку зарядным или разрядным током. Благодаря этой функции режим старт-стоп двигателя внутреннего сгорания при очень холодном автомобиле становится доступен уже через 15 минут.

АКБ во время процессов зарядки и разрядки за счет своего внутреннего сопротивления вырабатывает тепло, которое необходимо отводить, чтобы сохранить химический состав элементов в течение всего срока службы автомобиля.

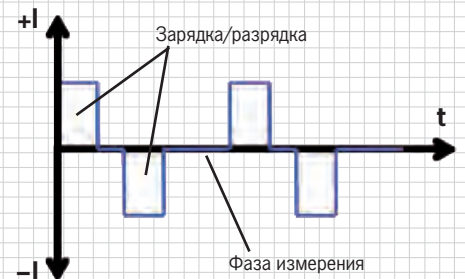
Охлаждение АКБ происходит за счет впуска воздуха из салона автомобиля. При этом всасывание осуществляется обоими вентиляторами, расположенными на задней части корпуса аккумулятора. Они направляют кондиционированный воздух из задней части салона автомобиля через АКБ и тем самым регулируют ее температуру. Управление вентилятором синхронизируется со скоростью автомобиля и едва ли заметно для водителя.



Всасываемый воздух выходит через отверстия (принудительная вытяжная вентиляция через пластмассовые пластины) в днище багажного отсека. Управление охлаждением контролируется системой управления АКБ (BMS).

Электронная система управления двигателем DME

2



Тепловые импульсы
высоковольтной АКБ



Отверстие канала забора приточного воздуха под задним сиденьем для оптимальной работы и всасывания воздуха всегда должно оставаться свободным.

- 1 Отверстие в направлении салона автомобиля под задним сиденьем
- 2 Каналы забора приточного воздуха
- 3 Электровентилятор
- 4 Высоковольтные провода к силовому электронному блоку

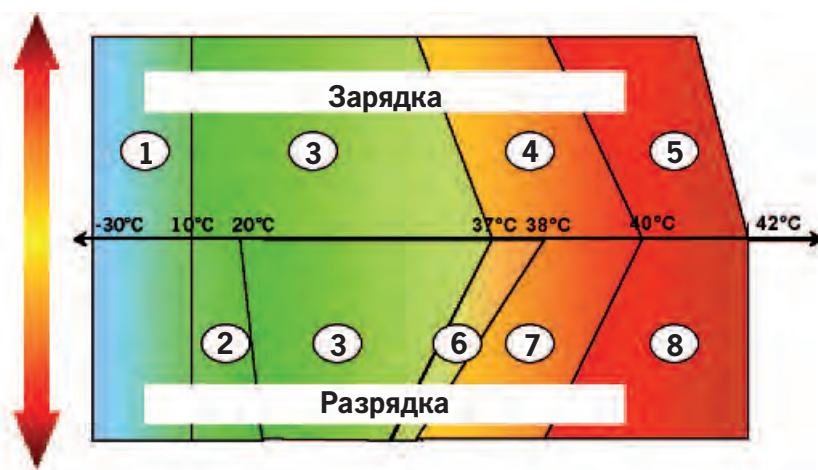
Зарядка

- 1 Стратегия нагрева
(тепловые импульсы)
- 3 Отсутствие ограничений
- 4 Ограничения зарядного тока до 6 А
- 5 Уменьшение рекуперации

Разрядка

- 1 Стратегия нагрева
(тепловые импульсы)
- 2 Только режим старт-стоп
- 3 Ограничения отсутствуют
- 6 Уменьшения эффекта Boost
- 7 Уменьшение электрического
режима
- 8 Только повторный пуск двигателя в
режиме старт-стоп

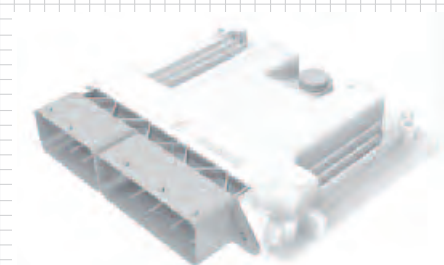
Регулирование системы кондиционирования, как и прежде, выполняется водителем. Если в салоне слишком тепло, то зарядный и разрядный ток постепенно ограничиваются путем изменения стратегии эксплуатации, чтобы предупредить дальнейшее увеличение температуры. Согласно графику, начиная с 37°C, зарядные токи сначала ограничиваются до 6 А, при дальнейшем росте температуры дополнительно уменьшается рекуперация. Соответственно процессы разрядки также ограничиваются путем уменьшения эффекта Boost и движения в электрическом режиме.



Система управления гибридом

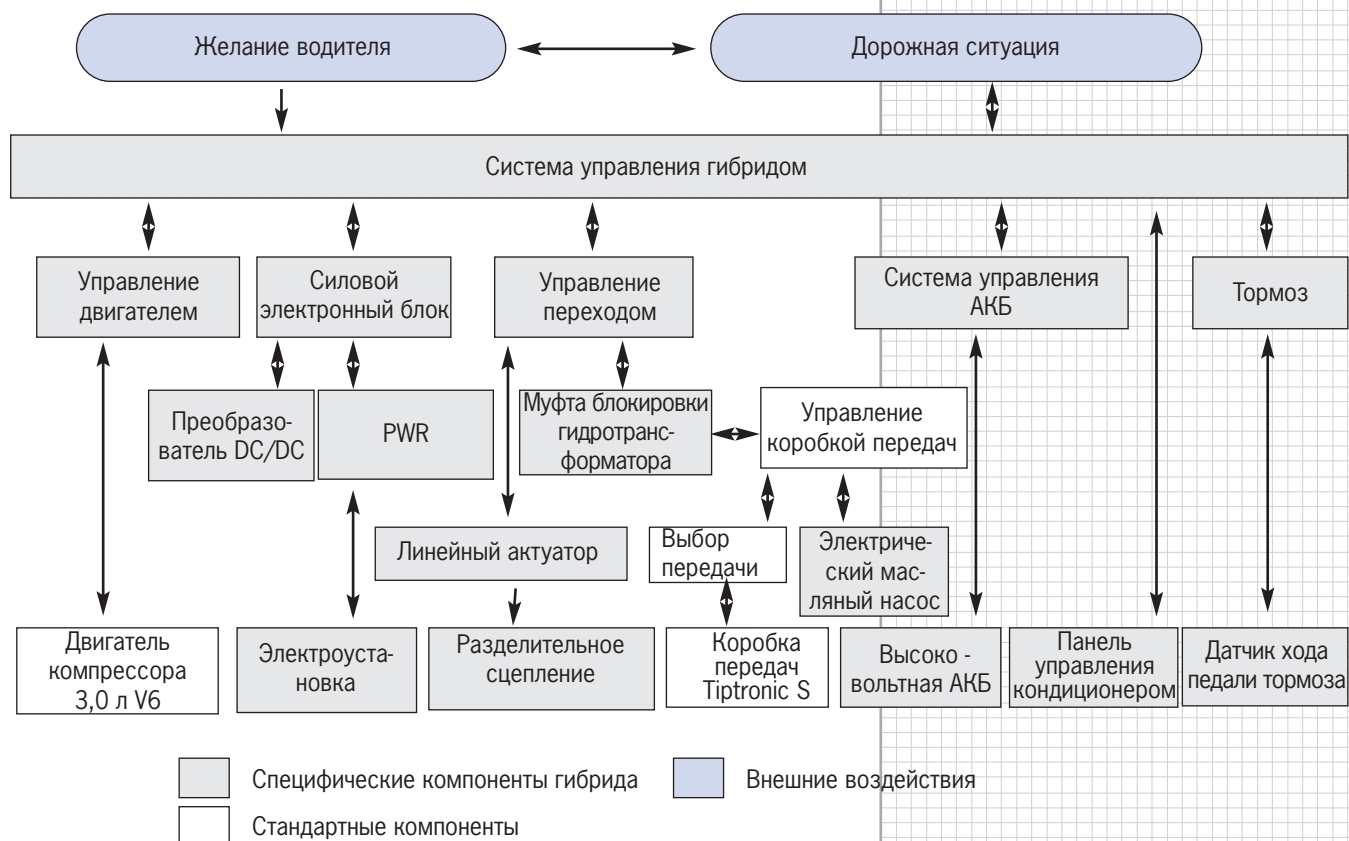
Взаимодействие основных компонентов ДВС, гибридного модуля (электроустановка и разделительное сцепление), коробки передач и АКБ во время различных специфических для гибрида режимов работы регулируется посредством системы управления гибридом. Эта система вместе с управлением ДВС находится в блоке управления DME Bosch MED 17.1.6.

Система управления гибридом дополняет существующую систему управления двигателем и собирает всю информацию о движении и энергопотреблении автомобиля, чтобы в любой дорожной ситуации иметь возможность активации электроустановки, ДВС, а также остальных компонентов гибрида. Для этого система управления гибридом использует около 20 000 информационных параметров, тогда как для обычного управления двигателем достаточно около 6 000 параметров.



Блок управления двигателем DME
MED 17.1.6 с системой управления
гибридом

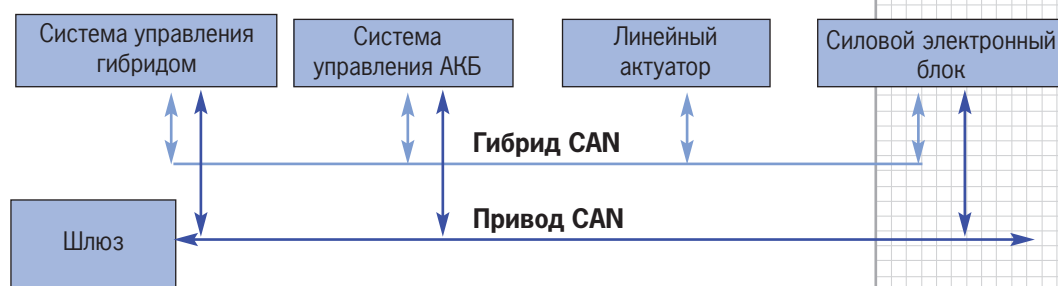
В следующем обзоре представлены компоненты, которые регулируются системой управления гибридом.



Коммуникация между гибридными компонентами осуществляется по шине CAN гибрида. По ней связываются друг с другом следующие узлы:

- Система управления гибридом
- Линейный актуатор
- Система управления АКБ (BMS)
- Силовой электронный блок

За исключением линейного актуатора все узлы также связаны с шиной CAN привод.



- 1 Ваттметр
- 2 Температура масла (неизменная)
- 3 Индикатор готовности на тахометре
- 4 Многофункциональный дисплей гибрида



- 1 Автомобиль в состоянии предпусковой готовности и ДВС выключен
- 2 Зажигание выключено

Управление

Cayenne S Hybrid, как и все остальные модели Cayenne, обладает обширными функциями комфорта и движения, адаптированными к системе управления гибридным приводом. Специфические для гибрида режимы работы, например, только электрический режим или движение по инерции принципиально доступны также в режиме эксплуатации автомобиля с прицепом, при использовании передачи заднего хода или при езде в ручном режиме переключения.

Индикаторы

Для отображения состояния гибридной системы на комбинации приборов и PCM имеется ряд индикаторов, требующих краткого пояснения.



Ваттметр

Ваттметр отображает мощность привода и выработки энергии электроустановки.

В диапазоне шкалы электрической мощности электроустановка работает в качестве двигателя и приводит автомобиль в движение, либо самостоятельно, либо при взаимодействии с двигателем внутреннего сгорания. Отображается отобранное количество тока.

В диапазоне шкалы CHARGE – выработка энергии/рекуперация – электроустановка работает в качестве генератора и заряжает высоковольтную батарею, напр., при рекуперативном торможении.

Если стрелка указывает на 0, то электроустановка неактивна, например, при неподвижном автомобиле в режиме «Стоп» ДВС.

Индикатор READY на тахометре

Тахометр дополнен областью «Ready», которая подает сигнал о готовности к пуску обоих двигателей (электродвигателя и ДВС) после включения клеммы 50 ключом зажигания или после автоматической остановки.

Многофункциональный дисплей

На многофункциональном дисплее комбинации приборов отображаются потоки энергии между приводом колес, высоковольтной АКБ и двигателем внутреннего сгорания. Таким образом, дисплей одновременно отображает специфические для гибрида режимы движения, например, движение по инерции, рекуперация и т. п.

PCM

С помощью PCM водитель может вызывать статистическую оценку режима движения. Посредством гистограммы отображается доля времени поездки без выбросов в процентах от общего времени движения (гибрид – 0 выбросов).

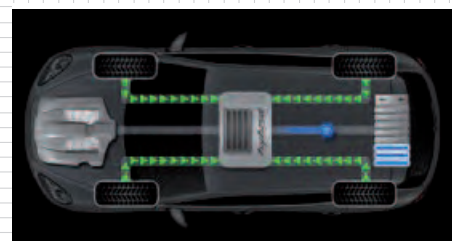
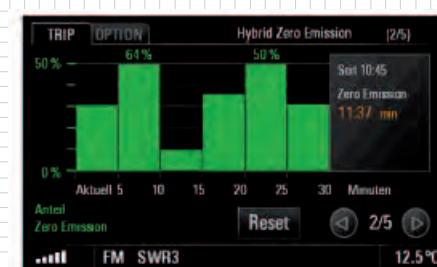
Отображаемые процентные значения при этом содержат все моменты времени, в которые выключался двигатель, не расходовалось топливо и не производились выбросы.

Документируются и суммируются также фазы эксплуатации, уменьшающие расход топлива, во время которых электроустановка, работая в режиме генератора, при выключенном ДВС вырабатывает электроэнергию (рекуперация), автомобиль находится в режиме движения по инерции или активирована функция остановки.

Аналогично многофункциональному дисплею на комбинации приборов потоки энергии также могут отображаться в PCM.

Электронная система управления двигателем DME

2



Более подробную информацию Вы найдете в руководстве по эксплуатации гибрида!



Запуск автомобиля

При включении зажигания (кл. 15 вкл) 12-вольтовая стартерная АКБ сначала снабжает питанием бортовую сеть и блоки управления. Только при пуске двигателя (кл. 50) включается контактор в коммутационном блоке, и через соединения высоковольтного кабеля на силовой электронный блок подается постоянное напряжение 288 вольт.

Пуск двигателя внутреннего сгорания осуществляется только в том случае, если отсутствуют условия для движения только в электрическом режиме:

- Температура двигателя ниже или равна 32°C
- Уровень зарядки тяговой АКБ только для электрического режима слишком низкий

Если высоковольтная АКБ имеет недостаточный уровень зарядки для запуска ДВС, то сервисная служба Porsche предлагает возможность зарядки тяговой АКБ с помощью зарядного устройства. Высоковольтную АКБ можно только тогда заряжать с помощью зарядного устройства, когда уровень ее зарядки меньше 30 %.

12-вольтовую АКБ также можно зарядить от 12-вольтового полюса, используя традиционную концепцию зарядки от внешнего источника.

Автомобиль в неподвижном состоянии

В режиме парковки система управления АКБ регулярно контролирует уровень зарядки и напряжение модуля. В процессе парковки посредством контактора коммутационного модуля размыкается весь высоковольтный контур. Тем самым предотвращается утечка тока, когда автомобиль неподвижен, и саморазрядка высоковольтной АКБ происходит очень медленно.

Режимы работы гибридного модуля

Cayenne S Hybrid имеет шесть специальных режимов движения, используемых только с параллельным полным гибридом и в значительной мере способствующих снижению расхода топлива.

- Только электрический режим
- Режим Boost (суммирование крутящего момента ДВС и электроустановки)
- Движение на ДВС со смещением точки нагрузки
- Движение по инерции (накатом без привода)
- Регенеративное торможение (рекуперация; т. е. возврат энергии торможения)
- Функция старт-стоп

В связи с особенностями системы существуют различные условия, которые могут предотвратить специфический для гибрида режим движения. Эти критерии определяются посредством предельных и пороговых значений. В следующем обзоре выбраны наиболее важные причины, предотвращающие отключение ДВС (запрет останова двигателя):

- Крутящий момент в соответствии с желанием водителя, слишком высокая скорость или частота вращения
- Слишком низкий или слишком высокий уровень зарядки АКБ
- Слишком низкая температура двигателя / температура катализатора
- Слишком теплая или слишком холодная АКБ
- Слишком большой уклон
- Открыт капот (защита для персонала мастерской)
- Водитель не пристегнул ремень безопасности, открыта дверь водителя или рычаг селектора в положении Р и N
- Активна диагностика двигателя (диагностика катализатора, адаптация смеси)
- Слишком высокая мощность бортовой сети или системы кондиционирования

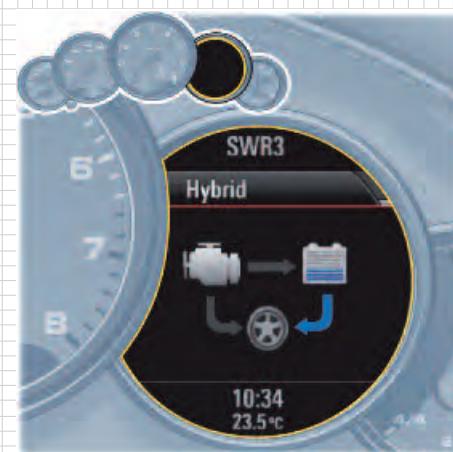
Езда на электричестве

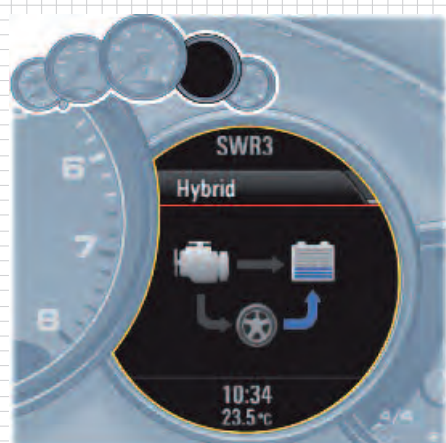
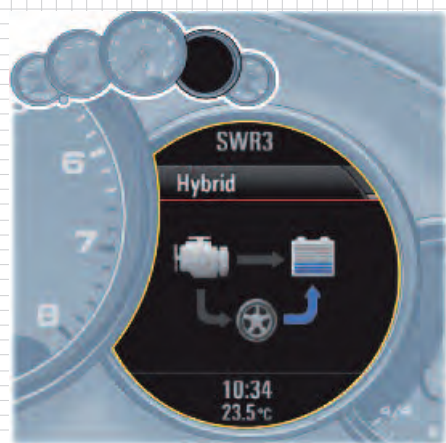
При спокойной манере езды можно начать движение и ехать на скорости 50 км/ч только в электрическом режиме. При нажатой кнопке E-Power (см. главу «Специальные функции») прибл. до 60 км/ч можно ехать только в электрическом режиме. Так расстояние прибл. в 2,5 км можно проехать только на электричестве. При этом для приведения в движение электроустановка получает ток от тяговой АКБ и обеспечивает мощность в 34 кВт. Двигатель внутреннего сгорания в это время выключен, а вспомогательные агрегаты всей бортовой сети и потребители получают питание от 12-вольтовой стартерной АКБ либо высоковольтной АКБ (компрессор системы кондиционирования + преобразователь DC/DC).

Во время работы система управления АКБ постоянно рассчитывает уровень зарядки и контролирует параметры АКБ, чтобы избежать критических состояний АКБ, например, перегрева или глубокой разрядки. При этом границы тока для процессов зарядки и разрядки адаптируются динамически и полностью автоматически. Так, система управления АКБ при коммуникации с системой управления гибридом сигнализирует о необходимости зарядки АКБ посредством смещения точки нагрузки или о целесообразности разрядки, чтобы обеспечить пространство для возврата энергии (рекуперации).

Электронная система
управления двигателем DME

2





Движение по инерции

Движение по инерции возможно уже на небольших скоростях, оно возникает, как только водитель отпускает педаль акселератора. При этом разделительное сцепление размыкается и ДВС автоматически выключается, чтобы избежать обычно действующего момента торможения двигателем в фазе разгона. В режиме движения по инерции ДВС или электроустановка не используются. При этом автомобиль притормаживается только за счет сопротивления воздуха и сопротивления качению. Ротор электроустановки во время фаз движения по инерции вращается на приводном валу и за счет неощутимого для водителя тормозного момента генерирует электроэнергию. Эта энергия питает бортовую сеть и подключенные потребители. Тяговая АКБ не заряжается сознательно. Переменное напряжение электроустановки создает в силовом электронном блоке 12 В DC либо 288 В DC для компрессора системы кондиционирования. Рекуперация отображается на многофункциональном дисплее.

Максимальная скорость в режиме движения по инерции ограничена 156 км/ч либо соответствующим значением частоты вращения на коленчатом валу – 2 600 об/мин. Такая частота вращения представляет собой максимальное значение, допустимое для повторного включения сцепления ДВС, поскольку в противном случае разделительное сцепление подвергалось бы повышенному износу.

Стратегия движения по инерции

При скорости менее 50 км/ч сознательно устанавливается пониженный электрический момент тяги, поскольку режим езды по городу использование упреждающего стиля вождения с движением по инерции затруднено. Возникающая при этом рекуперационная энергия дополнительно используется для зарядки высоковольтной АКБ.

Рекуперация

В общем этим понятием в технике обозначается возврат энергии. При таком режиме движения электроустановка переключается в режим генератора. Вырабатываемая электроэнергия используется для зарядки высоковольтной АКБ и одновременно подается ко всем электрическим потребителям.

Система управления гибридом производит рекуперацию в следующих ситуациях:

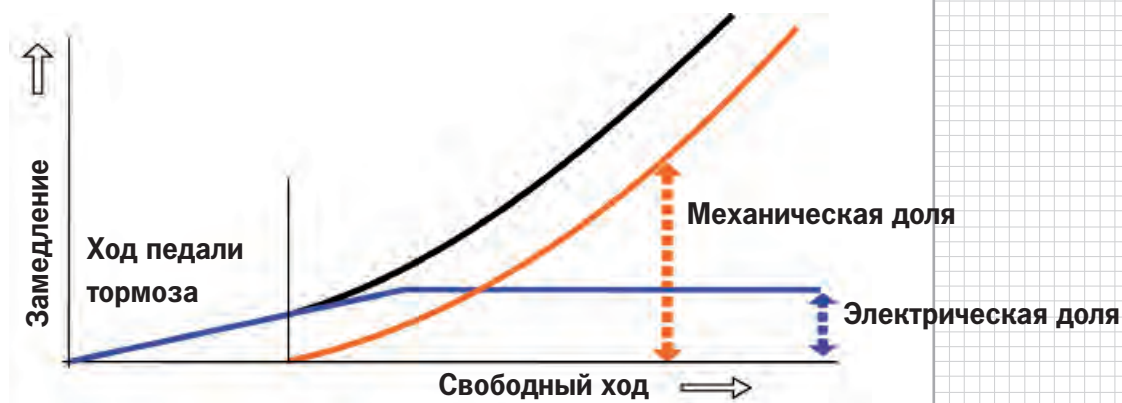
- Автомобиль движется по инерции (если нажата кнопка Sport или скорость < 50 км/ч) см. главу «Движение по инерции»!
- Автомобиль движется/спускается с горы (уклон > 4 %)
- Во время процесса торможения

Движение с горы

Система управления гибридом переключается из режима движения по инерции в режим рекуперации, если уклон составляет 4% и больше, и устанавливает увеличивающийся тормозной момент, чтобы автомобиль не ускорялся слишком быстро.

Процесс торможения

Уже в диапазоне свободного хода педали тормоза электроустановка устанавливает тормозной момент еще до возникновения давления в гидравлической тормозной системе. Для улучшения дозирования свободный ход педали был увеличен на 4 мм. Доля тормозного усилия электроустановки регулируется системой управления гибридом в зависимости от хода педали и скорости автомобиля.



Визуально с помощью ваттметра водитель на комбинации приборов получает информацию о работе электроустановки в режиме генератора во время рекуперации (Charge).

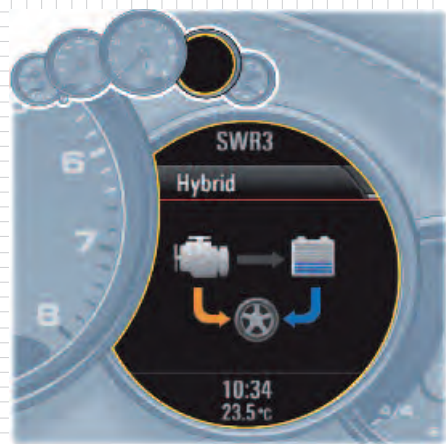
Если уровень зарядки АКБ не позволяет производить дальнейшую рекуперацию энергии, то для обеспечения тормозного момента запускается двигатель внутреннего сгорания.

Электронная система
управления двигателем DME

2



Дополнительную информацию Вы найдете в главе «Ходовая часть»



Если в режиме движения по инерции тормозной момент электроустановки целенаправленно уменьшается, то при рекуперации система управления гибридом целенаправленно повышает мощность генератора. Это происходит путем повышения уровня напряжения в обмотке статора электроустановки, что при вращении ротора приводит к повышенному протеканию тока. Повышение мощности генератора воздействует как растущий тормозной момент на приводном валу и замедляет автомобиль.

Тогда общая тормозная мощность складывается из суперпозиции механической тормозной системы и мощности генератора электроустановки, причем тормозная мощность электроустановки, как и приводная мощность, показывает максимум в нижнем диапазоне скорости, а при более высокой скорости ведущая роль передается механическому торможению.

Режим E-Boost

Аналогично функции Kickdown в ДВС, которая предоставляет максимальную мощность двигателя, в гибридном режиме предлагается функция E-Boost. Если она активна, то электроустановка и двигатель внутреннего сгорания вырабатывают максимум мощности, который в сумме дает повышенную общую мощность. Сумма отдельных мощностей обоих видов привода соответствует общей мощности трансмиссии. В режиме E-Boost общий крутящий момент составляет 580 Нм, а общая мощность – 279 кВт. Продолжительность действия этой функции ограничена 10 с.

Смещение точки нагрузки

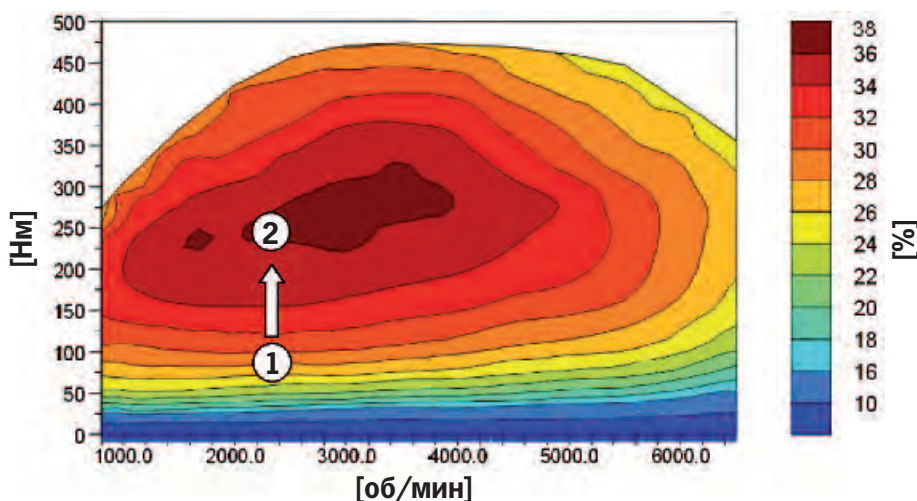
Каждый силовой агрегат имеет определенный диапазон нагрузки, в котором он работает наиболее экономично. Если ДВС работает с частичной нагрузкой ниже этого диапазона или с полной нагрузкой выше этого диапазона, то топливо использует получаемую энергию не оптимальным образом.

Поэтому система управления гибридом старается, чтобы двигатель внутреннего сгорания всегда работал в экономичном диапазоне. Одновременно в автомобиле Porsche рабочие точки остальных узлов, электроустановки и высоковольтной АКБ согласуются с режимом ДВС, чтобы обеспечить оптимальную работу всей системы. Цель – заряжать АКБ с минимально возможными затратами энергии, а не преодолевать максимально возможные расстояния только в электрическом режиме.

Повышение точки нагрузки

Если текущая точка нагрузки ниже оптимального диапазона, то система управления гибридом переключает электроустановку в режим генератора и одновременно прибавляет газ. «Избыточная» механическая энергия используется для зарядки тяговой АКБ. За счет повышения точки нагрузки увеличивается абсолютное значения расхода, но топливо рассматривается как относительная величина, оно используется более эффективно, и за счет этого можно продлить время езды без выбросов только в электрическом режиме. Водитель ничего не замечает, поскольку ни частота вращения, ни скорость не изменяются. Автомобиль ведет себя так, словно с постоянной скоростью начинает подъем в гору с ровной поверхности. На многофункциональном дисплее графически отображается повышение нагрузки с соответствующими потоками энергии.

На следующем рисунке изображено повышение точки нагрузки при 2400 об/мин. Тем самым КПД двигателя внутреннего сгорания может увеличиться прил. на 10 % (диапазон 1 28 % диапазон 2 38 %).



Электронная система
управления двигателя DME

2

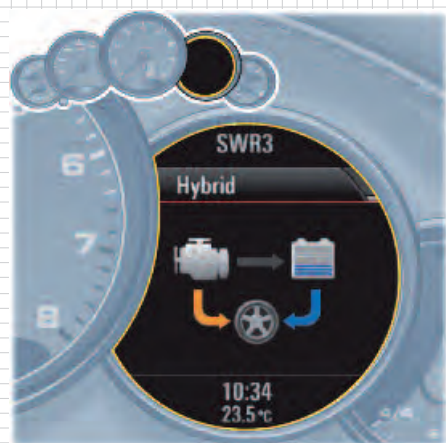


- 1 Точка нагрузки не оптимальная
- 2 Точка нагрузки в оптимальном диапазоне

[Нм] - Крутящий момент

[об/мин] - Частота вращения

[%] - КПД



Понижение точки нагрузки

Если крутящий момент в соответствии с желаниями водителя приводит к превышению экономичного диапазона и разрешает использовать его для зарядки АКБ, то электроустановка помогает ДВС (ср. эффект Boost), пока уровень зарядки АКБ не опустится ниже минимального (SOC) для такого режима работы. Это значительно снижает расход топлива и выбросы ОГ, одновременно предоставляя возможность спортивной езды.

На многофункциональном дисплее также отображается понижение точки нагрузки.

Автоматическая функция старт-стоп

В традиционных автомобилях с системой старт-стоп (ср. микрогибрид) для деактивации двигателя внутреннего сгорания необходимо остановить автомобиль. Полногибридный автомобиль Porsche Cayenne S Hybrid может ехать только в электрическом режиме. Это качество позволяет функции старт-стоп деактивировать ДВС также тогда, когда автомобиль движется за счет привода или по инерции. Решение о деактивации принимает система управления гибридом.

Пуск двигателя

Двигатель внутреннего сгорания запускается автоматически в следующих случаях:

- при пуске с помощью ключа зажигания и температуре АКБ ниже 10°C
- при запросе на включение отопителя для обеспечения микроклимата в салоне
- при высоком крутящем моменте в соответствии с желаниями водителя (педаль акселератора) либо при повышающейся нагрузке (например, на подъемах), с которыми электроустановка не может справиться самостоятельно
- при низком уровне зарядки высоковольтной АКБ
- при повышении скорости
- - > 50 км/ч
- - > 60 км/ч при активированной кнопке E-Power
- при отстегивании ремня безопасности водителя
- при открывании двери водителя
- при открывании капота
- при возрастающем уклоне и предстоящем понижении передачи КП Tiptronic S, следствием чего является превышение предельной частоты вращения 2600 об/мин
- при переходе в фазу нагрузки из режима движения по инерции или рекуперации в соответствии с указанными выше условиями

Останов двигателя

Двигатель всегда автоматически выключается, если для привода или наддува не требуется мощность. Тогда стрелка тахометра переходит в положение Ready.

Система управления гибридом предотвращает выключение двигателя в следующих случаях:

- слишком высокая скорость или частота вращения
(>156 км/ч либо >2600 об/мин)
- слишком низкий уровень зарядки АКБ (SOC)
- слишком высокий уровень зарядки АКБ, требуется тормозной момент двигателя
- открыт капот
- водитель не пристегнут, рычаг селектора в положении P или N
- открыта дверь водителя, рычаг селектора в положении P или N
- распознана ошибка/аварийный режим сцепления
- идет диагностика двигателя (катализатор, адаптация смеси и т. п.)
- прошло минимальное время работы после первого пуска
- подъем больше 7 %
- требуется отопление салона
- слишком высокая мощность бортовой сети или системы кондиционирования
- слишком низкая температура двигателя / катализатора
- слишком горячая или слишком холодная высоковольтная АКБ ($<10^{\circ}\text{C}$ или $>42^{\circ}\text{C}$)

Электронная система
управления двигателем DME

2

Электронная система
управления двигателем DME

2



Специальные функции

Кнопка Sport

Активация осуществляется нажатием кнопки Sport на центральной консоли.

Результаты:

- При активации кнопки Sport или Kick-Down в зависимости от частоты вращения происходит незамедлительное понижение передачи. Точки переключения коробки передач Tiptronic изменяются в направлении повышения частоты вращения.
- Режим движения по инерции ограничивается прибл. 70 км/ч (обычно 156 км/ч).
- Момент рекуперации электроустановки при движении по инерции повышается. В результате ходовые качества становятся похожи на езду с ДВС.
- Двигатель внутреннего сгорания работает с неограниченной полной нагрузкой (обычно полная нагрузка ограничивается).
- Используется более резкая параметрическая кривая педали.
- Режим E-Boost подключается уже начиная с 80 % положения педали акселератора (10 с макс).
- На комбинации приборов загорается индикатор «Sport».

Кнопка E-Power

Посредством активации кнопки E-Power на центральной консоли увеличивается доступность только электрического режима езды. Первоначально этот режим предназначался для езды без выбросов по жилым зонам и паркингам. Чтобы обеспечивалось лучшее дозирование, за счет активации используется более ровная параметрическая кривая педали акселератора. Пуск двигателя внутреннего сгорания происходит позже, одновременно при работающем двигателе осуществляется более сильная рекуперация.

Из-за изменения рабочих характеристик двигатель внутреннего сгорания больше не работает в оптимальном диапазоне. Следствием этого является повышение расхода топлива при более частом использовании режима E-Power.

Активация кнопки, с одной стороны, отображается посредством светодиода на кнопке, с другой стороны, на комбинации приборов отображается синее указание «E-Power».

Условия для активации режима E-Power:

- достаточно высокий уровень зарядки АКБ
- скорость движения < 55 км/ч
- температура АКБ от 15 °C до 40 °C
- отсутствует запрос на включение отопления системы кондиционирования

Режим E-Power прерывается и реактивируется, если:

- не достигается минимальный уровень зарядки
- слишком высокая потребность в мощности

Деактивация происходит в результате:

- превышения максимальной скорости движения (только электрический режим)
- активации режима Sport или
- повторного нажатия кнопки E-Power.

Электронная система
управления двигателем DME

2



Расход топлива

Porsche Cayenne S Hybrid по сравнению с равным ему по мощности традиционным Cayenne S имеет значительно меньший расход топлива при очень спортивных характеристиках. В гибридных автомобилях индивидуальный способ управления имеет еще большее и решающее значение, чем в автомобилях с традиционным приводом.

Езда на гибриде означает:

- Предусмотрительное движение, педаль акселератора отпускается рано
- Достижение длительных фаз движения по инерции, для этого нога осознанно полностью убирается с педали акселератора
- Движение по инерции в отношении энергозатрат более целесообразно, чем рекуперация!
- В процессах торможения для достижения высокой доли рекуперации целесообразно медленное торможение с малым ходом педали
- Предотвращение режима полной нагрузки
- Сознательное использование электропривода при высоком уровне зарядки АКБ, пока уровень зарядки снова не достигнет среднего диапазона
- Продолжительное использование режима E-Power или Sport повышает расход топлива
- Экономичное использование вспомогательных потребителей, например, обогрева сидений, обогрева заднего стекла,...

Экономия топлива особенно заметна при движении по городу при соответствующем стиле вождения.