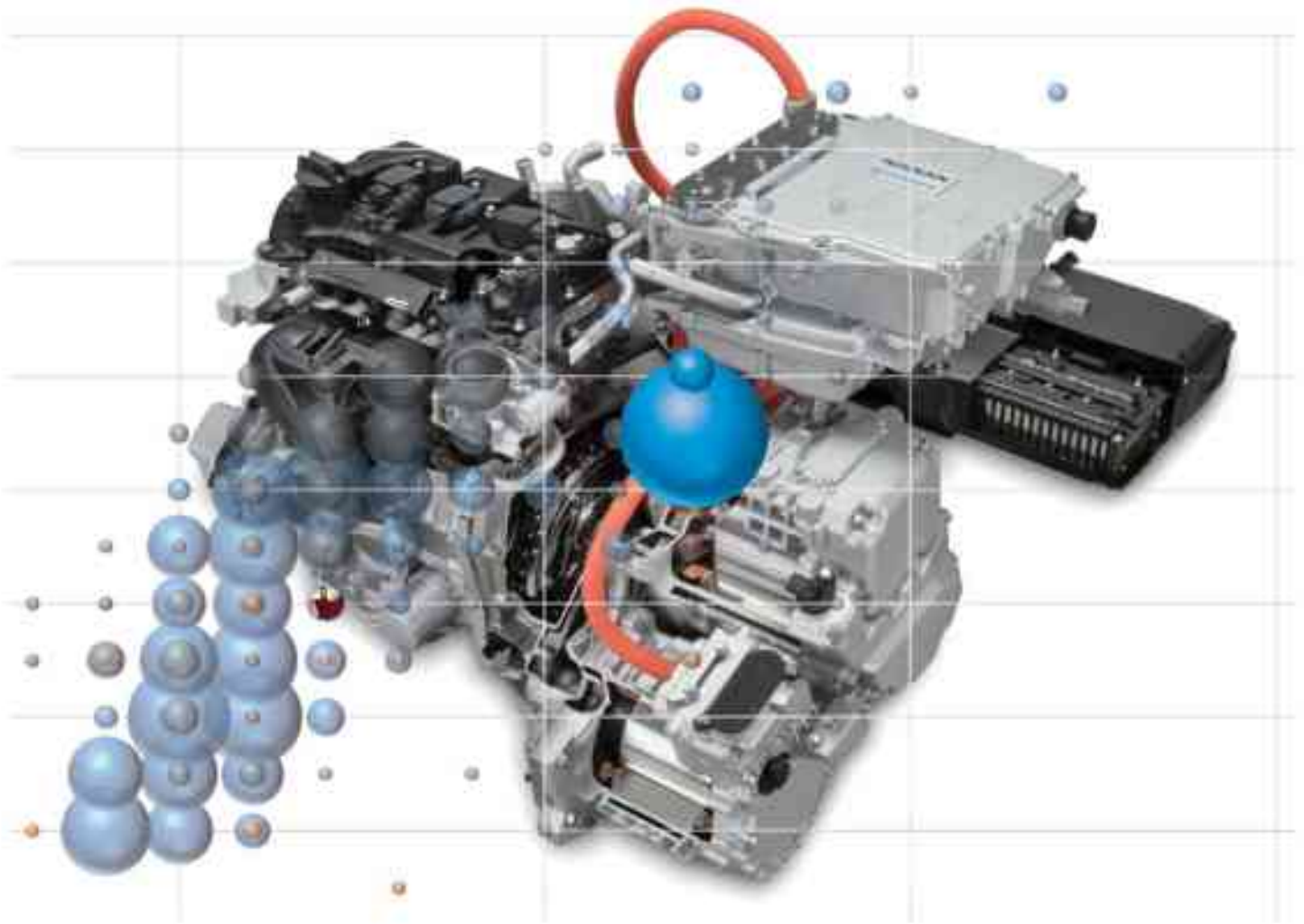


NISSAN MOTOR CORPORATION



Описание гибридного силового агрегата нового поколения e-POWER.

1. Введение
2. Цели развития
3. Обзор системы e-POWER
4. Концепция системы
5. Привод e-POWER новые ощущения от вождения
6. Заключение

Описание составных частей гибридного силового агрегата нового поколения e-POWER.

1. Введение
2. Силовой агрегат.
3. Электромотор
4. Генератор
5. Инвертор
6. Заключение

Литий-ионный

аккумулятор для e-POWER

1. Введение
2. Обзор литий-ионного аккумулятора для e-POWER
3. Конструкция системы охлаждения аккумуляторной батареи.
4. Вывод

Двигатель HR12DE для e-POWER

1. Введение
2. Цели развития
3. Основные характеристики двигателя
4. Используемые функции и основные технологии
5. Вывод

Описание новой коробки передач для e-POWER

1. Введение
2. Цели разработки новой коробки передач
3. Обзор коробки передач и компактной конструкции
4. Дизайн NVH для исключительной тишины
5. Низкое трение благодаря оптимальной конструкции системы смазки.
6. Принятие системы управления переключением передач с электроприводом.
7. Заключение

Описание гибридного силового агрегата нового поколения «e-POWER».

e-POWER разработан с целью предоставить большему количеству водителей хорошие ходовые качества, которые наилучшим образом используют возможности режимов e-POWER Drive, в модели NOTE. Система привода имеет ту же конфигурацию, что и Nissan LEAF. Был разработан режим движения под названием e-POWER Drive, чтобы реализовать новое ощущение вождения, которое позволяет легко контролировать ускорение/замедление автомобиля, нажимая лишь на педаль акселератора.

1. Введение

e-POWER - это новый силовой агрегат, разработанная в рамках программы электрификации Nissan, которая составляет одну из осей технологической стратегии компании. В этой статье объясняются цели разработки, установленные для e-POWER, дается обзор системы, описывается ее конструкция и разработанный режим e-POWER Drive.

2. Цели развития

Электромобиль Nissan LEAF, выпущенный в 2010 году, продолжал развиваться за счет расширения дальности пробега и улучшения управляемости, а также других характеристик. Nissan LEAF широко известен своими отличными ходовыми качествами, достигнутыми с помощью электропривода. Он использует способность электродвигателя (e-Motor) генерировать максимальный крутящий момент при скорости транспортного средства 0 км/ч и создавать движущую силу непосредственно при фиксированном передаточном числе в широком диапазоне скоростей транспортного средства. Силовой агрегат e-POWER была разработана с целью предоставить аналогичные, что и у Nissan LEAF ощущения от вождения. E-POWER был разработан и применен в классе компактных автомобилей как с точки зрения стоимости, так и с точки зрения компоновки.

3. Обзор системы e-POWER

3.1. Конфигурация и основные характеристики.

Классифицируемый как серийный гибрид, одна из наиболее важных особенностей e-POWER заключается в том, что силовой приводной агрегат и система выработки электроэнергии механически разделены *рис 1*. Конфигурация системы показана на *рис. 2*. Система e-POWER управляется модулем (VCM), который связан с контроллером двигателя (MC), контроллером генератора (GC), системой управления аккумулятором (BMS) и модуль управления двигателем (ECM). VMC постоянно выполняет управление энергопотреблением и движущей силой, обеспечивая оптимальную выработку электроэнергии.

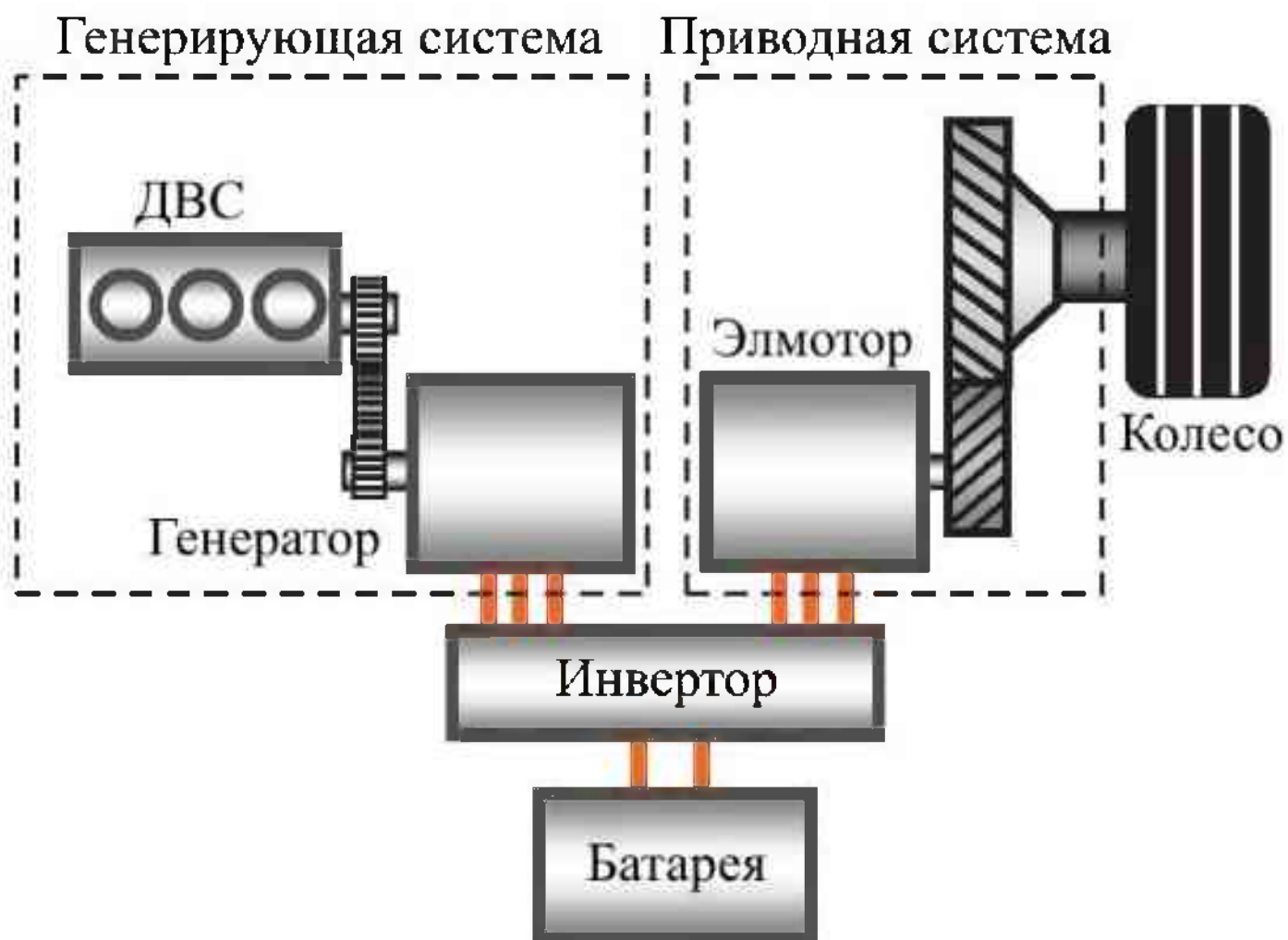


Рис. 1 Общая схема привода и генерирующей системы

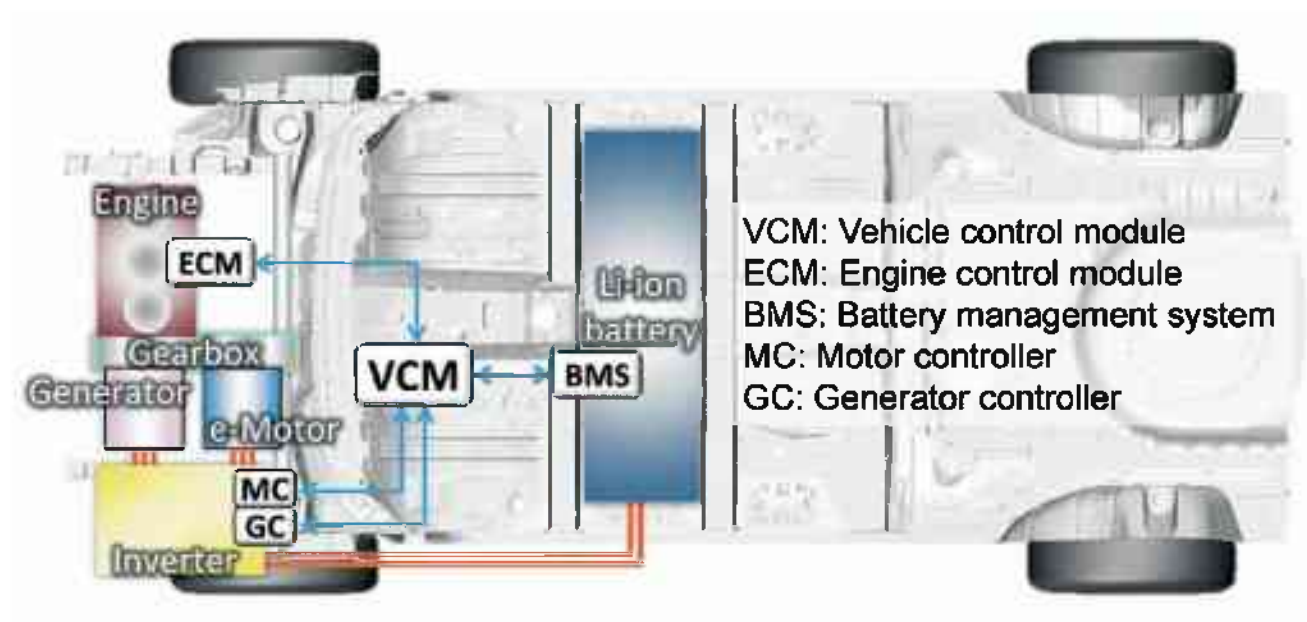


Рис. 2 Конфигурация системы e-POWER

Тот факт, что силовой агрегат и система выработки электроэнергии механически разделены, обеспечивает следующие значительные преимущества:

1. Технологии электромобилей могут использоваться для основных компонентов и силового агрегата, и вся движущая сила может создаваться только электродвигателем.
2. Обороты и крутящий момент двигателя, используемого для выработки энергии, можно гибко настраивать независимо от рабочего состояния транспортного средства.

Первое преимущество позволяет обеспечить отличные ходовые качества, достигаемые с тем же силовым агрегатом, что и у электромобиля.

Второе преимущество позволяет повысить экономию топлива за счет работы двигателя в точке, обеспечивающей максимальную экономию топлива, а также позволяет работать двигателю, благоприятному с точки зрения шума, вибрации (NVH). Внешний вид e-POWER показан на *рис. 3*, а основные характеристики составляющих устройств перечислены в *таб. 1*.

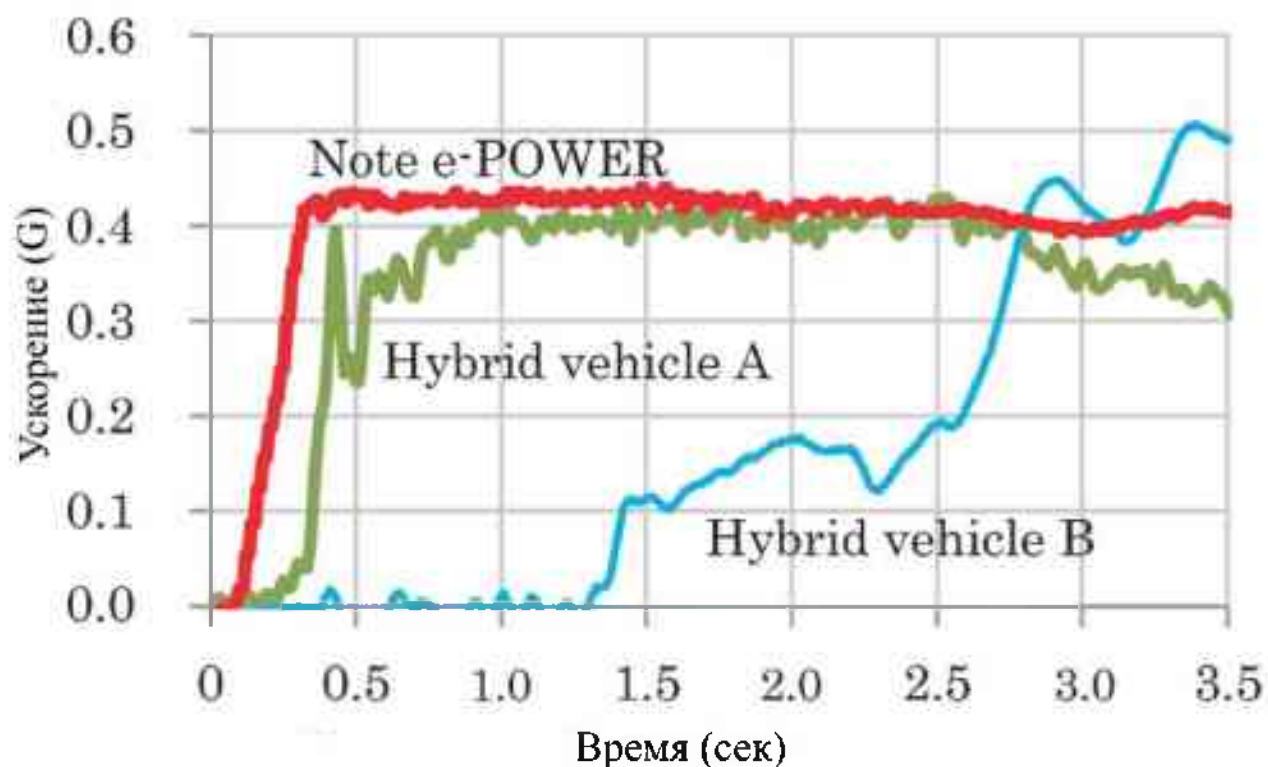
Drive system	Motor power	80 kW
	Motor torque	254 Nm
Generating system	Generator power	55 kW
	Engine type	Gasoline L3
	Engine displacement	1.2 L
Battery	Type	Li-ion
	Capacity	1.47 kWh

Таб. 1 Общие технические характеристики e-POWER



Рис. 3 Внешний e-POWER

Характеристики максимальной мощности и крутящего момента двигателя такие же, как и у Nissan LEAF. На *рис. 4* сравниваются характеристики ускорения системы Note e-POWER и двух других типов гибридных автомобилей класса А и В. На рисунке видно, что система Note e-POWER обеспечивает лучшее ускорение, чем другие типы гибридных автомобилей класса А и В. Ускорение G имеет максимальный подъем, при этом обеспечивается плавное ускорение, как у Nissan LEAF.



*Рис. 4 ускорение G при старте с места
(100% открытая дроссельная заслонка)*

Система выработки электроэнергии состоит из двигателя внутреннего сгорания (ДВС), модифицированного специально для выработки электроэнергии и генератора. ДВС был разработан на основе двигателя HR12DE, устанавливаемого на модели Note с двигателем внутреннего сгорания. Был установлен высокопроизводительный тип высоковольтной батареи (ВВБ), обеспечивающий быстрое ускорение. Электродвигатель, генератор и инвертор имеют независимую систему водяного охлаждения, отдельную от системы охлаждения ДВС. ВВБ имеет специальную систему воздушного охлаждения внутри аккумуляторного блока.

3.2 Компоновка

На рис. 5 показана компоновка системы e-POWER в автомобиле. Коробка передач вмещает два редуктора в одном корпусе; один (понижающий) служит для электромотора и привода колес, а другой (повышающий) - для выработки энергии генератором. Система привода и система выработки энергии, собираются как единое целое в о. Инвертор крепится к кузову автомобиля как отдельный блок, он подключен как к электродвигателю, так и к генератору через трехфазный жгут проводов.

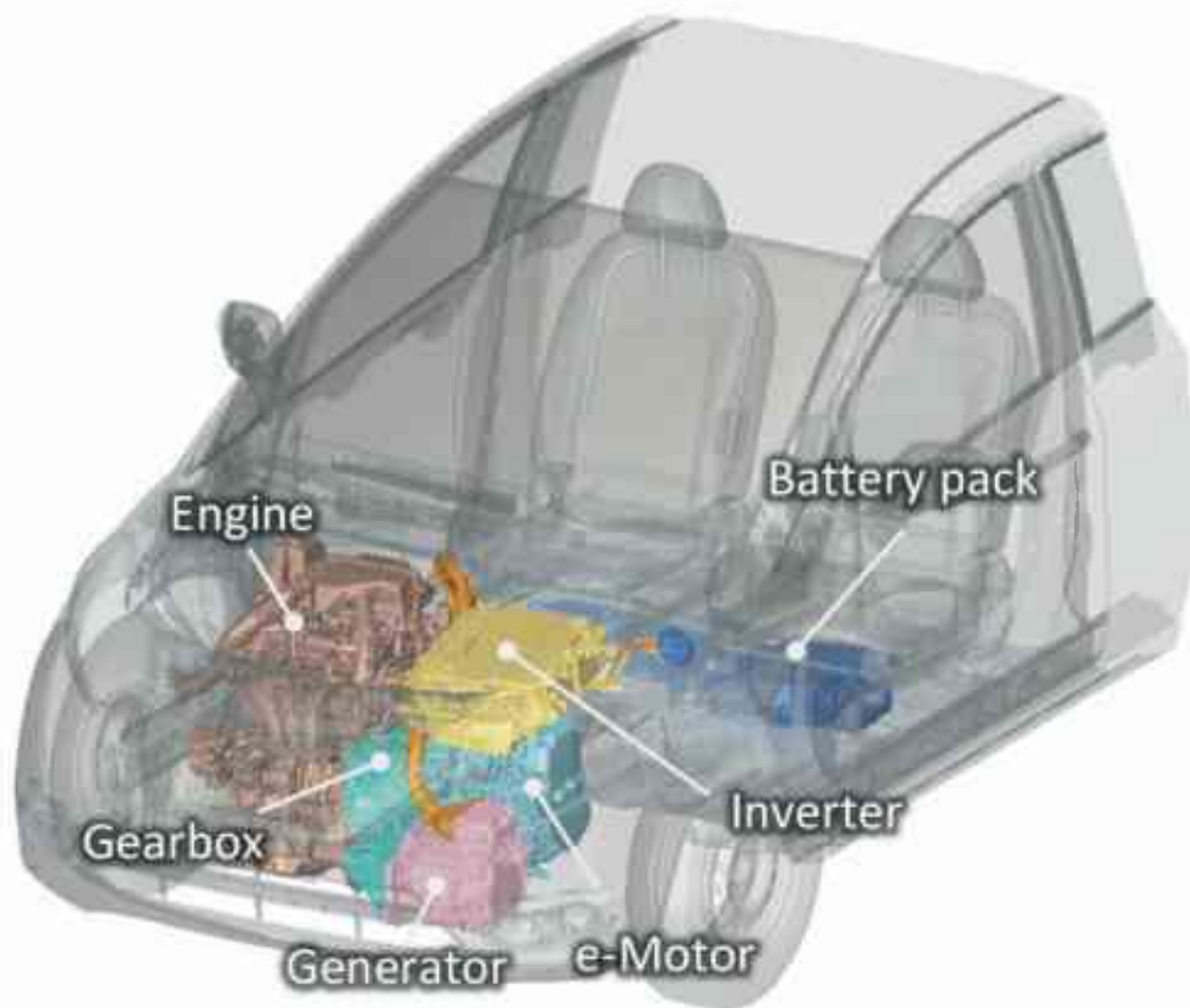


Рис. 5 Компоновка системы e-POWER в автомобиле

Аккумуляторная батарея имеет компактную конструкцию, что позволяет размещать ее под передними сиденьями. Это положение не влияет на пространство для пассажиров и обеспечивает практически такое же пространство в салоне и багажном отделении, что и модели Note с бензиновым двигателем. Кроме того, размещение аккумулятора внутри силового кузова, обеспечивает как защиту высоковольтных компонентов, так и безопасность пассажиров без добавления каких-либо новых элементов усиления кузова. Это позволило установить e-POWER на компактную платформу В-сегмента.

3.3 Конфигурация системы управления e-POWER

Основная концепция конфигурации системы e-POWER заключалась в добавлении к системе автомобиля LEAF, ДВС в качестве источника энергии и генератора, что позволило уменьшить емкость аккумулятора и отказаться от зарядного устройства. Эта особенность отличает e-POWER от электромобиля, который оснащен электродвигателем, инвертором, литий-ионным аккумулятором и зарядным устройством.

Структура системы управления, разработанной на основе этой концепции, показана на *рис. 6* в сравнении со структурой Nissan LEAF.

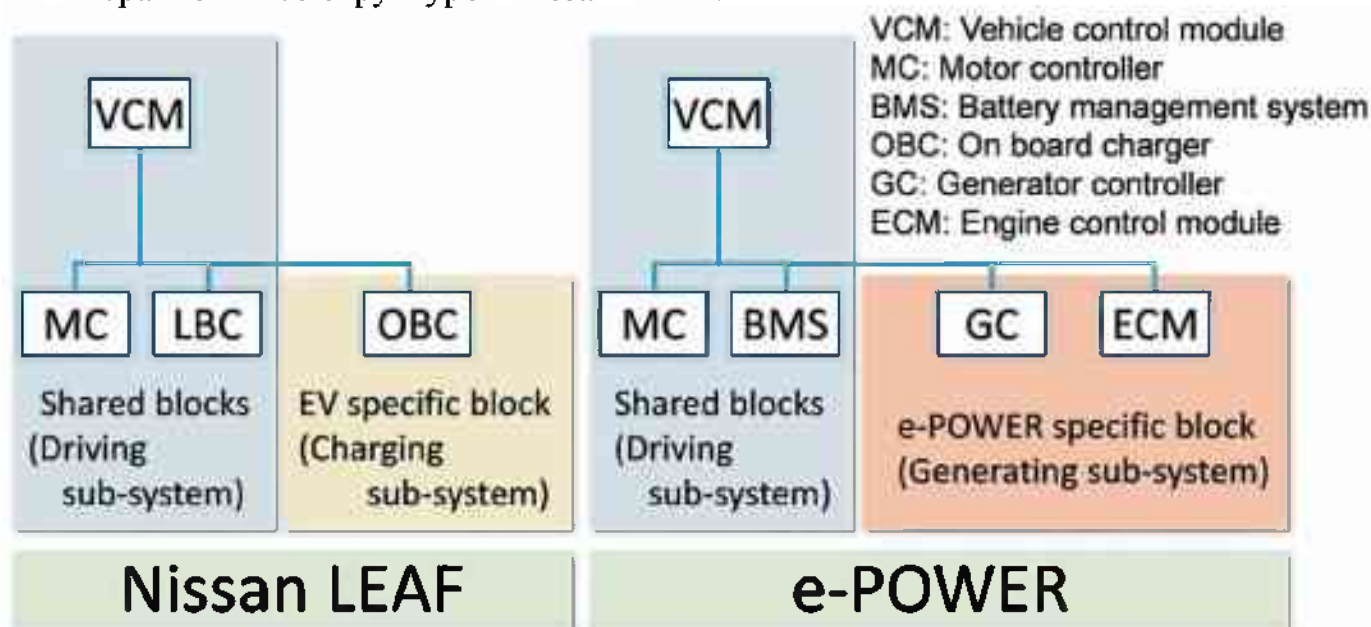


Рис. 6 Сравнение систем управления

Чтобы заменить систему зарядки Nissan LEAF системой выработки электроэнергии, бортовое зарядное устройство (OBC) было снято с и заменено на ECM и GC. Система управления электромотора имеет ту же конфигурацию управления, что и у Nissan LEAF. В конструкции этой системы управления используется технология и компоненты, отточенные от Nissan LEAF.

4. Концепция системы

4.1 Основная концепция конструкции системы

Система e-POWER может приводить автомобиль в движение за счет энергии, обеспечиваемой только литий-ионным аккумулятором, в типичных условиях вождения (синие и зеленые точки на *рис. 7*).



Рис. 7 Баланс энергопотребления и выработки электроэнергии

Система спроектирована таким образом, что мощность для приведения в движение транспортного средства также обеспечивается генератором при непрерывной работе с высокой нагрузкой, например, при движении по горным дорогам и других ситуаций (красные точки на *рис. 7*). Сочетание мощности литий-ионного аккумулятора и генератора обеспечивает мощное ускорение, как у Nissan LEAF.

4.2 Высокий уровень экономии топлива

На *рис. 8* показан уровень расхода топлива двигателя HR12DE, используемого в системе e-POWER, и частота работы двигателя в режиме практической экономии топлива.

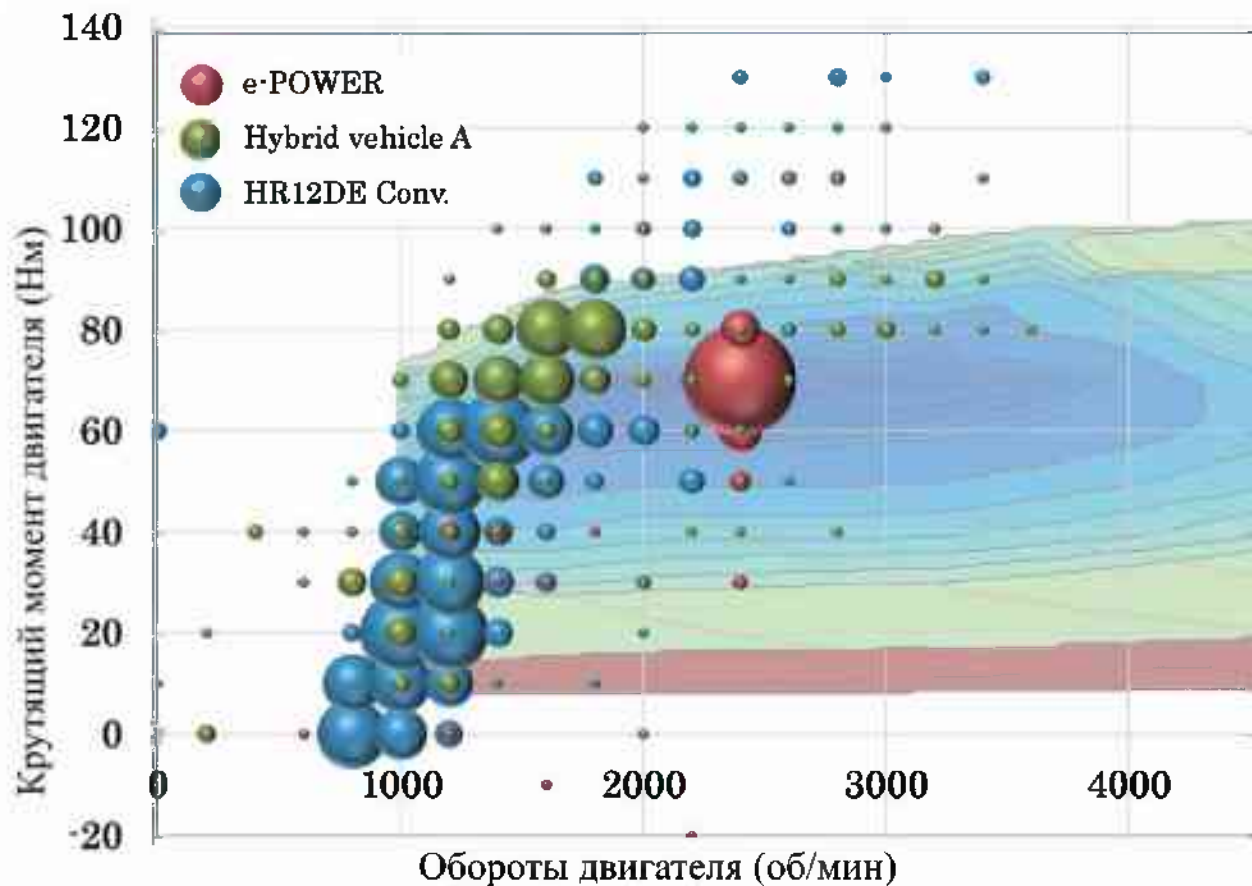


Рис. 8 Рабочая точка для реальной экономии топлива (определение Nissan)

Тот факт, что привод и ДВС полностью разделены, эффективно используется рабочая точка для наилучшей экономии топлива в пределах допустимого диапазона для различных потребностей. К ним относятся: мощность, управляемость, шум, выбросы, нагрев, обогрев салона, отрицательное давление в тормозной системе, защита компонентов и диагностика, для этого VCM рассчитывает целевую производительность для каждого компонента. В результате e-POWER работает с максимальной экономией топлива (около 2400 об / мин и 70 Нм), с чрезвычайно высокой частотой по сравнению с другими автомобилями этого класса.

4.3 EV-бесшумность

Чтобы обеспечить бесшумность, подобную электромобилью, область вождения в режиме электромобиля, то есть работа от одной только литий-ионной батареи, была определена таким образом, чтобы охватить диапазон от низких до средних скоростей, в котором автомобили часто используются. Кроме того, его определение шире, чем у других гибридных транспортных средств (рис. 9).

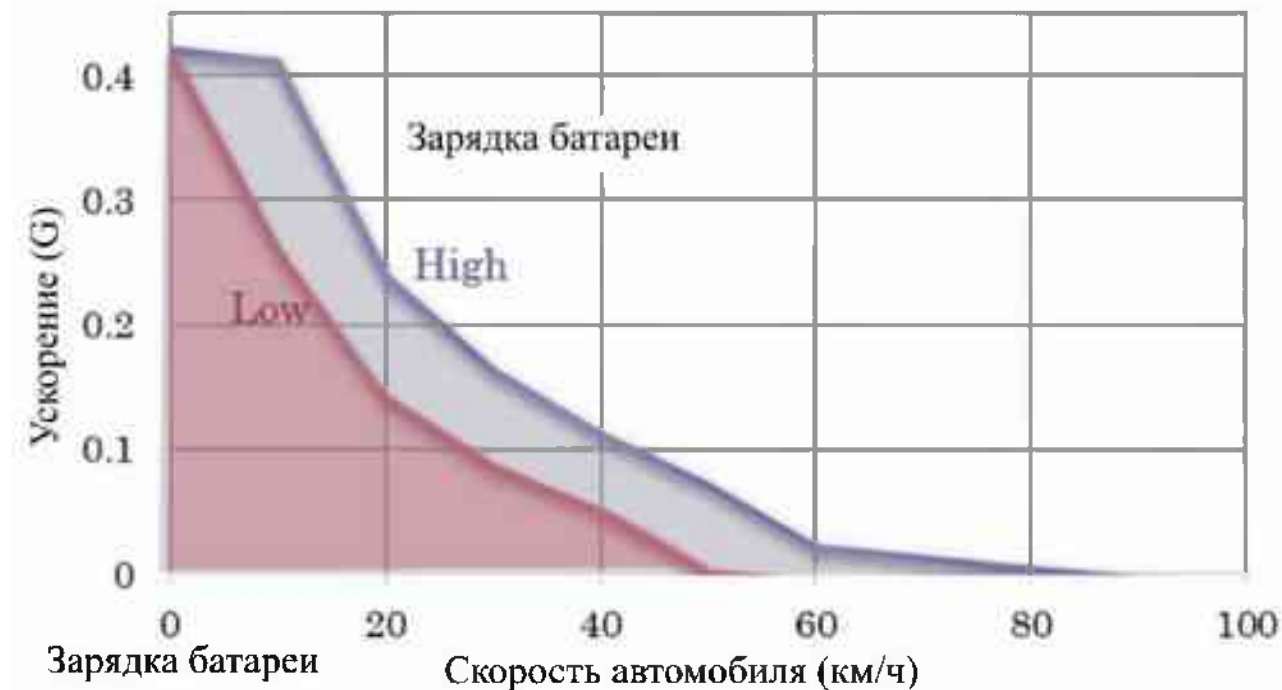


Рис. 9 Объем режима электромобиля зависит от скорости, ускорения и уровня заряда батареи

Более того, в области высоких скоростей движение в EV-режиме продолжается как можно дольше, когда уровень заряда аккумулятора (SOC) высокий. Когда SOC падает, генерируется энергия для зарядки литий-ионного аккумулятора до такой степени, что шум двигателя не становится слишком заметным.

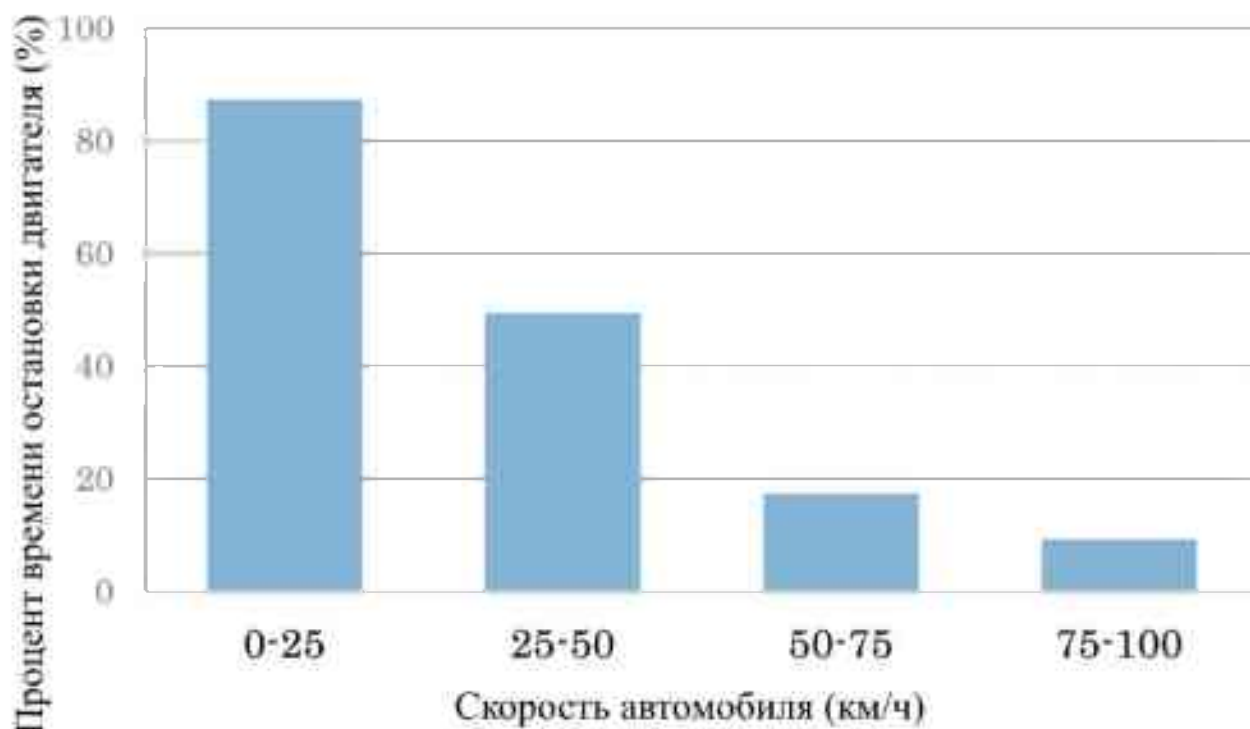


Рис. 10 Соотношение времени остановки двигателя (EV time) в каждом диапазоне скоростей автомобиля

На рис.10 показана доля движения в EV-режиме в каждом диапазоне скоростей транспортного средства для типичных режимов движения, используемых клиентами в мире, включая вождение по городу, горам, перегруженным дорогам и высокоскоростным дорогам, а также в других ситуациях. Вождение в EV-режиме составляет значительную часть времени вождения, примерно 90% на скоростях ниже 25 км/ч и примерно 50% в диапазоне от средних до высоких.

4.4 Обороты двигателя, подходящие для различных дорожных ситуаций

На рис. 11 показана целевая частота вращения двигателя, рассчитанная для соответствия скорости и ускорению транспортного средства.

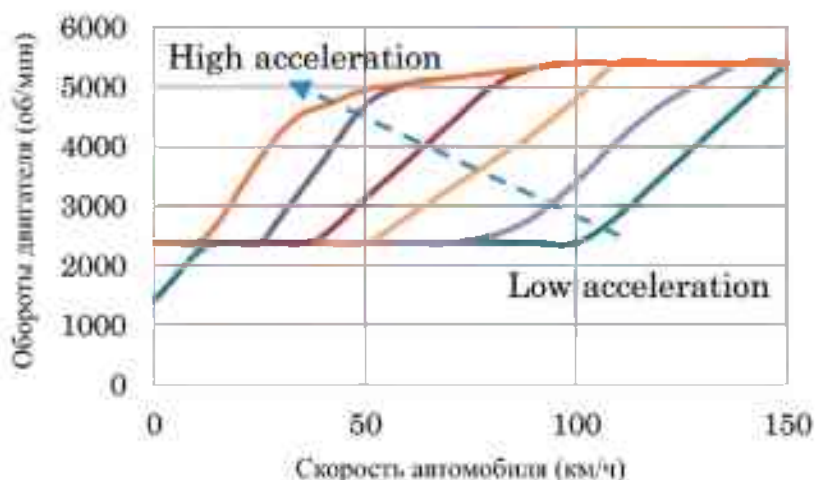


Рис. 11 Целевая частота вращения двигателя

Во всех диапазонах скоростей транспортного средства частота вращения двигателя рассчитана таким образом, чтобы она оставалась максимально близкой к 2400 об/мин для экономии топлива. Когда водитель сильно нажимает на педаль акселератора, обороты двигателя повышаются, увеличивая ускорение автомобиля. Кроме того, в диапазоне высоких скоростей, где для ускорения требуется большая мощность, частота вращения двигателя поддерживается на высоком уровне для подготовки к следующему событию ускорения.

5. Привод e-POWER новые ощущения от вождения

Был установлен новый привод - электромотор, используемый в качестве единственного источника движущей силы e-POWER. Режим, получивший название e-POWER Drive, сочетает в себе новую мощную систему рекуперации энергии, помощь при движении на уклоне, контроль предотвращения скольжения на поверхностях с низким коэффициентом сцепления и другие функции. В следующих разделах объясняются процедуры управления и их влияние в этом режиме вождения.

5.1 Новый стиль вождения, обеспечиваемый e-POWER Drive

Примерно 90% реального вождения можно выполнять в режиме e-POWER Drive, просто нажимая на педаль акселератора. Это требует предоставления следующих двух элементов:

1. Крутящий момент торможения, создаваемый водителем при нажатии на педаль акселератора, должен быть рассчитан на замедление транспортного средства.
2. Должно быть легко контролировать замедление, пока автомобиль не остановится.

Что касается первого элемента крутящего момента замедления, эффективно используется гибкость конструкции, которая является одной из сильных сторон силовой установки электродвигателя.

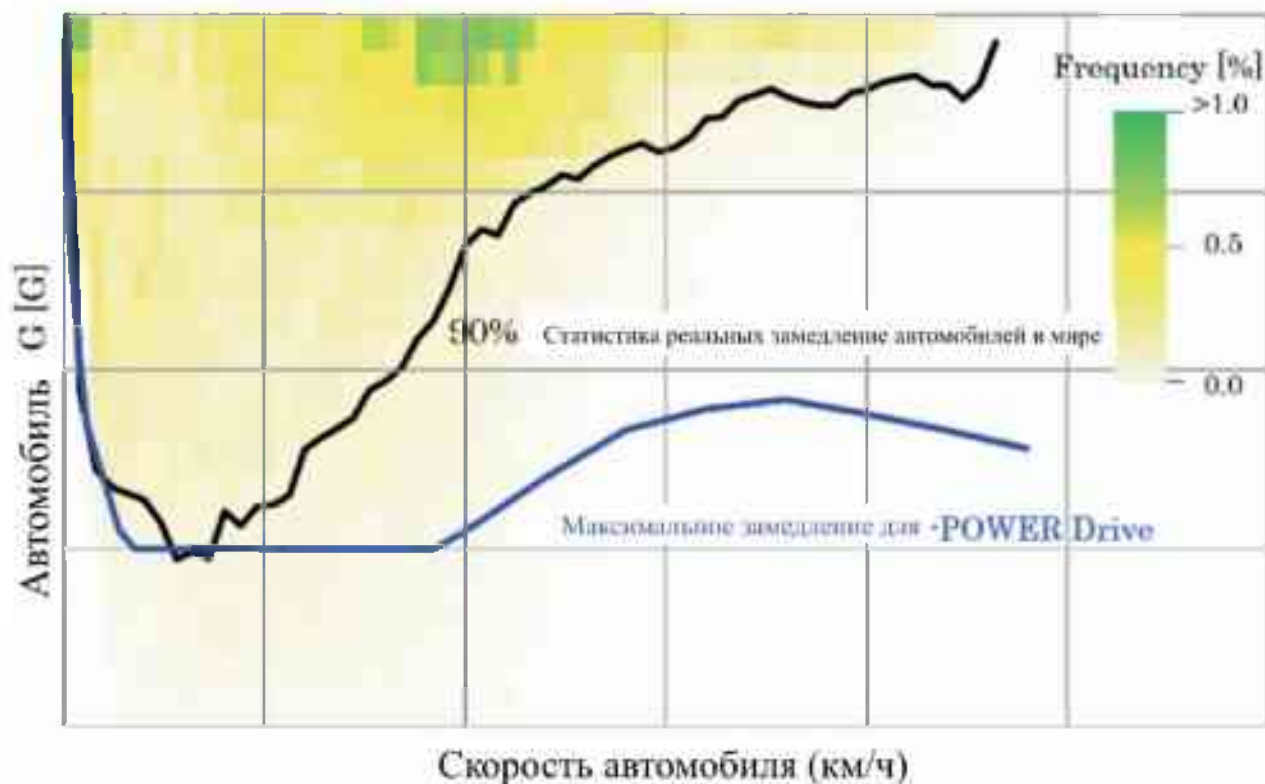


Рис. 12 Реальная частота замедления и характеристика замедления G на режимах e-POWER Drive

Как показано на рис. 12, это позволяет охватить более 90% случаев замедления, которые происходят при реальном вождении. В результате, нажатие только на педаль акселератора обеспечивает достаточное замедление, тем самым уменьшая необходимость перекидывать ногу на педаль тормоза для ее нажатия при замедлении транспортного средства.

Что касается второго элемента легкого управления замедлением, был проведен анализ действий водителей при замедлении с помощью педали акселератора. Результаты выявили три модели поведения водителей, на которых было сосредоточено внимание. Один из них - движение голеностопного сустава для создания небольшого ускорения при следовании за движущимся впереди автомобилем. Другой вариант - это нажатие педали акселератора движения колена для замедления, например, при остановке на перекрестках. Третий - снять ногу с педали акселератора, чтобы замедлить движение, когда расстояние до идущего впереди автомобиля слишком мало. Как показано на рис. 13, эти режимы работы сочетаются с требуемым водителем замедлением для обеспечения легкого управления замедлением с помощью e-POWER Drive за счет нажатия одной педали акселератора, аналогично замедлению транспортного средства с ДВС путем нажатия на педаль тормоза.

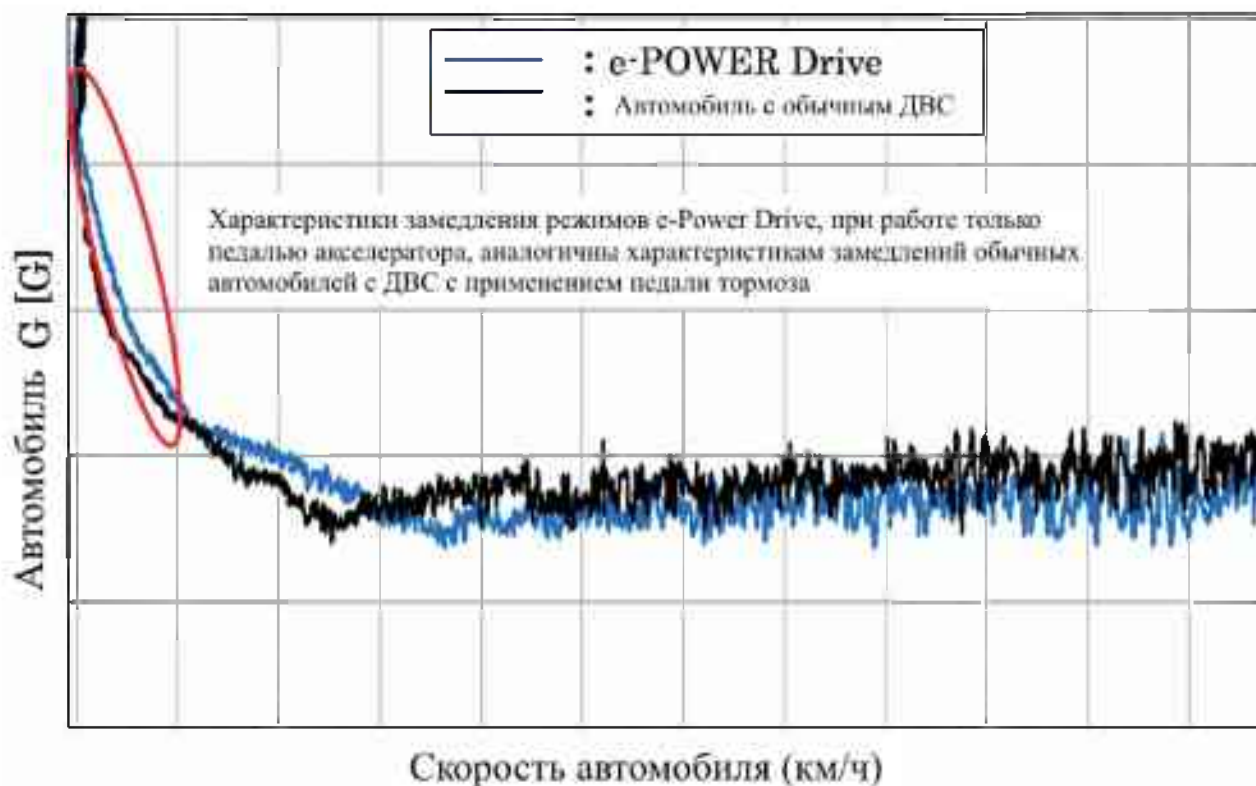


Рис. 13 Профили замедления

Нейтральное положение педали акселератора при ускорении 0 км/ч было разработано на основе концепций, указанных ниже. Этим достигается три цели: легкое управление ускорением/замедлением, легкость вождения на постоянной скорости и небольшое чувство усталости при продолжении нажатия на педаль акселератора.

- Усилие на педали акселератора, обеспечивающее устойчивую позу водителя при ускорении.
- Достаточный угол педали акселератора для контроля замедления.
- Сохранение естественного угла педали акселератора при нажатии на педаль акселератора.

Для дальнейшего повышения привлекательности в e-POWER Drive также были включены система помощи при движении на уклоне, подавление скольжения на поверхностях с малым коэффициентом скольжения и управление скольжением.

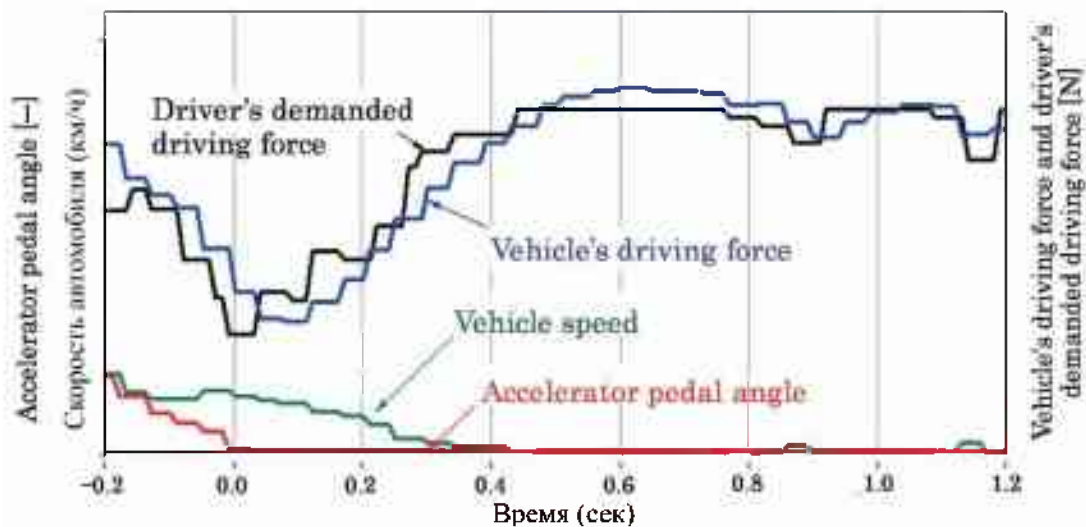
5.2 Различные функции управления, поддерживающие e-POWER Drive

5.2.1 Управление подъемом на уклоне

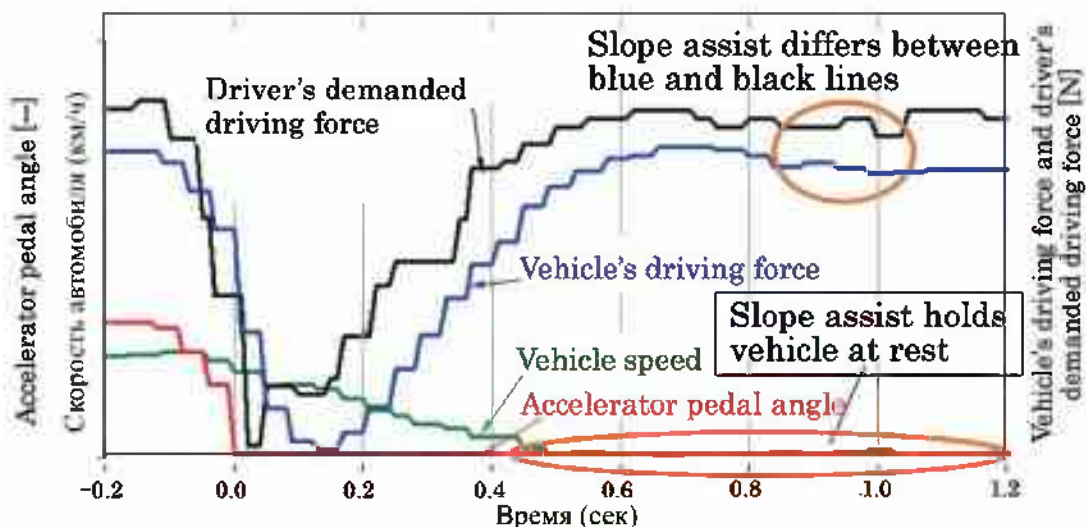
Система управления движущей силой постоянно обнаруживает изменяющуюся информацию о дорожном покрытии, оценивает уклон, на этой основе и обеспечивает компенсацию крутящего момента. Эта особенность называется контролем на уклоне. Эта система позволяет управлять автомобилем так же

на спусках и подъемах, как и на ровной дороге работая лишь педалью акселератора. Система эффективно работает при спуске до 3%.

На *рис. 14* показано действие этой системы помощи при спуске. Результаты на (a) показывают, что требуемая водителем движущая сила и движущая сила транспортного средства совпадают, в результате чего скорость транспортного средства равна нулю, и транспортное средство останавливается. Эти результаты относятся к полному отпуску педали акселератора на ровной дороге. Напротив, результаты в (b) относятся к полному отпуску педали акселератора на спуске -2%. Благодаря системе помощи при спуске движущая сила транспортного средства была меньше, чем требуемая водителем движущая сила (из-за согласования крутящего момента с уклоном), что привело к нулевой скорости транспортного средства.



(a) Ровная дорога



(b) Спуск 2%

Рис. 14 Экспериментальные результаты для эффекта помощи при уклоне

5.2.2 Контроль противоскольжения с дорожными покрытиями с малым коэффициентом сцепления - μ

Режим e-POWER Drive обеспечивает больший крутящий момент при движении накатом, чем Nissan LEAF, поэтому система управления была улучшена для поддержания устойчивости на дорожных покрытиях с низким μ . В частности, как показано на *рис. 15*, предыдущая система ограничивала крутящий момент выбегом в соответствии со скоростью скольжения. В режиме e-POWER Drive используется эталонная модель для изменения крутящего момента выбегом даже при той же скорости скольжения, чтобы она соответствовала изменению скорости скольжения. Как показано на *рис. 16*, эта улучшенная процедура управления обеспечивает стабильное замедление даже в случаях, когда замедление больше, чем у Nissan LEAF.

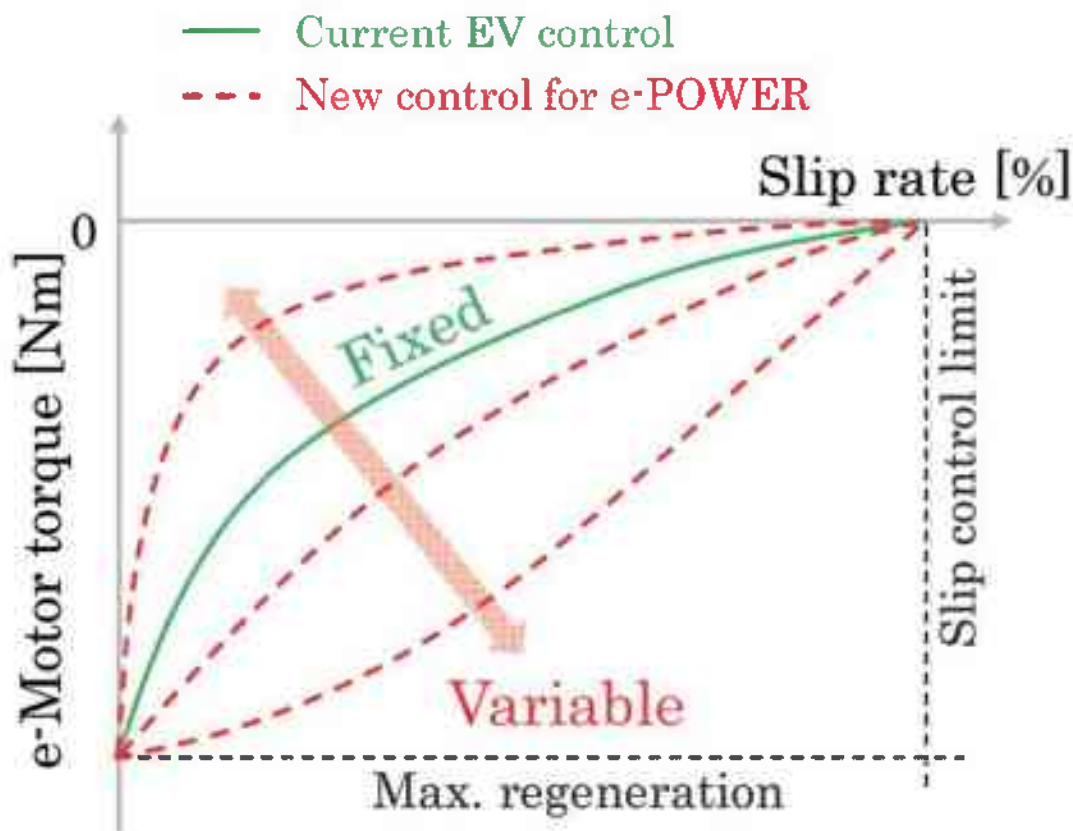


Рис. 15 Характеристика момента скольжения-выбегом

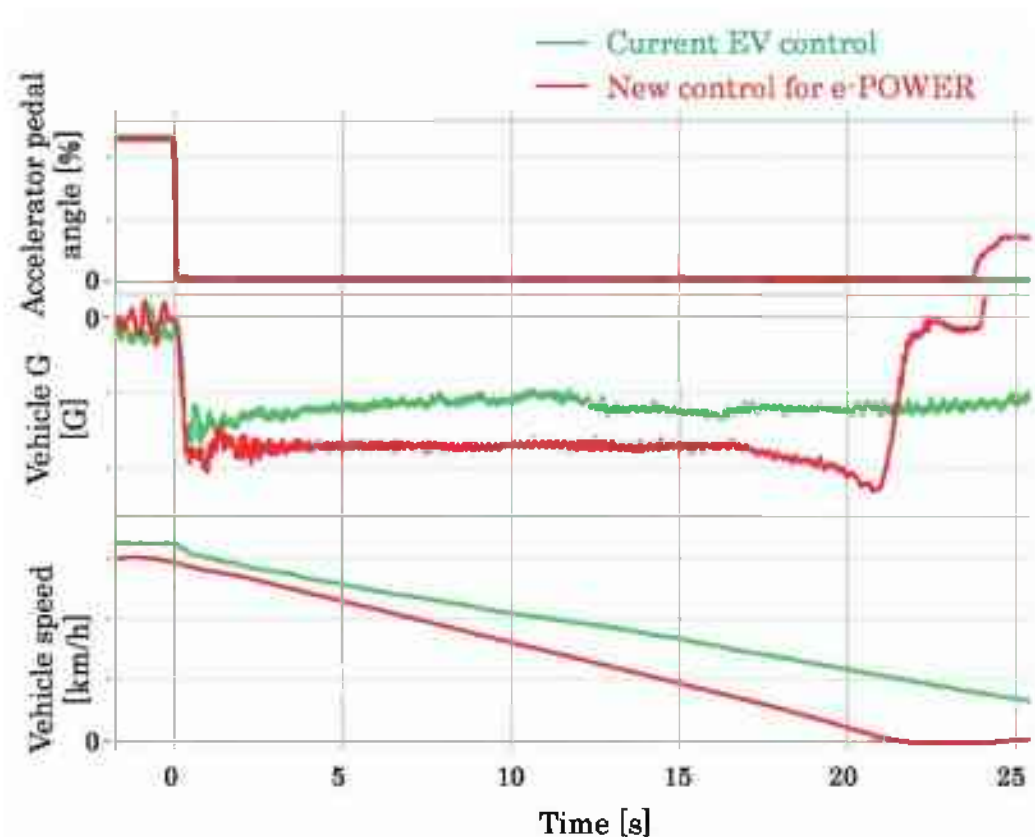


Рис. 16 G-профиль замедления на поверхности с малым μ

5.2.3 Управление скольжением

Повторное ускорение/замедление незначительным срабатывание педали акселератора вызывает зарядку/разрядку аккумуляторной батареи. Внимание было сосредоточено на повышение экономии топлива за счет устранения этих крошечных преобразования энергии. В частности, система обнаруживает стремление к небольшому замедлению при движении с постоянной скоростью, например, при следовании за предыдущим автомобилем, на основе операционные данные водителя и данные о транспортном средстве и делает крутящий момент двигателя 0 Нм. Этот контроль уменьшает зарядку/разрядку аккумулятора, а также подавляет ненужное замедление, что приводит к улучшенному топливной экономии. Этот имеет эффект повышения экономии топлива за счет примерно 3-4% при реальной езде по городу по сравнению с с этим без контроля. На рис. 17 показан разница в частоте увеличения 0-Нм электромотора крутящий момент с без контроля скольжения.

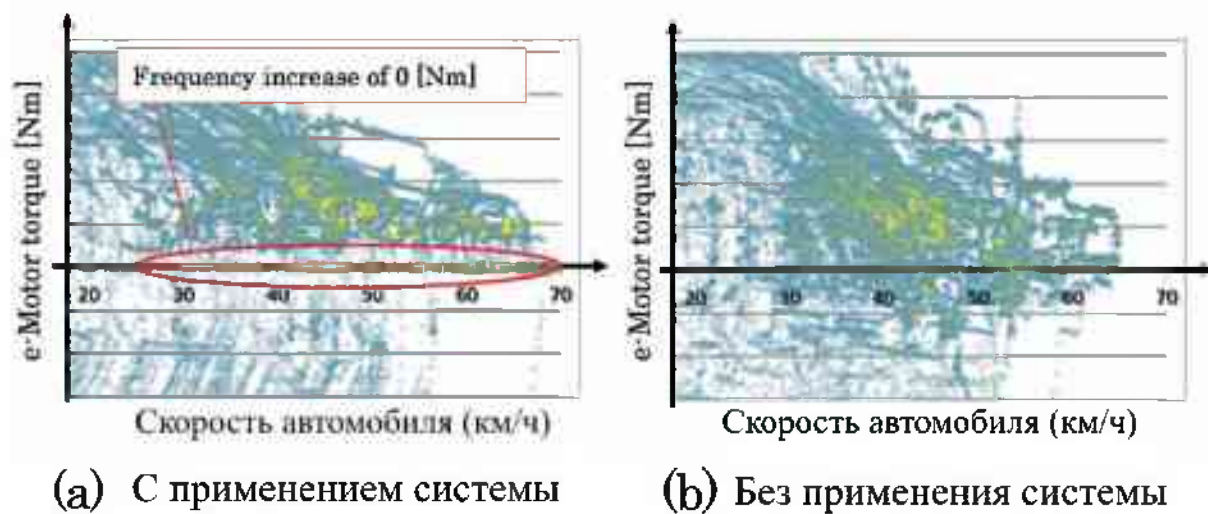


Рис. 17 G-профиль замедления на поверхности с малым μ

6. Заключение

Система e-POWER была разработана и реализована на новом Note с целью дать возможность большому количеству автолюбителей получить удовольствие от вождения на основе электропривода. С этой целью система привода имеет ту же структуру системы управления, технологию управления что и Nissan LEAF. Кроме того, режим e-POWER Drive, облегчающий вождение простым нажатием педали акселератора, дает новые ощущения от вождения благодаря легкому управлению ускорением/замедлением автомобиля.

Описание составных частей гибридного силового агрегата нового поколения «e-POWER».

В этой статье описывается силовой агрегат e-POWER. Этот силовой агрегат требует компактности, невысокой стоимости и высокой эффективности, безопасности, конкурентоспособности по сравнению с другими компактными HEV. Стоимость электродвигателя (e-Motor) была снижена на с использованием редкоземельных магнитов. Диаметр генератора был уменьшен за счет использования тонкостенного корпуса. Инвертор имеет две инверторные функции в одном компактном корпусе, что достигается за счет модульной структуры. Этот силовой агрегат обеспечивает мощные ходовые качества, выдающееся качество.

1. Введение

e-POWER была разработана как технология электрификации, которая составляет одну из основных задач Nissan в будущем. В ноябре 2016 года в Японии поступил в продажу Nissan Note с новым электрифицированным силовым агрегатом. Продолжая технологии электромобиля Nissan LEAF, этот электрифицированный силовой агрегат представляет собой недорогую высокоэффективную систему, которая применима к компактным автомобилям.

2. Силовой агрегат.

2.1 Обзор

e-POWER представляет новую электрифицированный силовой агрегат, который был разработан для достижения как отличных ходовых качеств электромобилей и в отличие от электромобилей не требует зарядки. Конфигурация системы e-POWER показана на *рис. 1*. Система e-POWER включает в себя два двигателя, один для приведения в движение транспортного средства, а другой - для использования в качестве генератора.

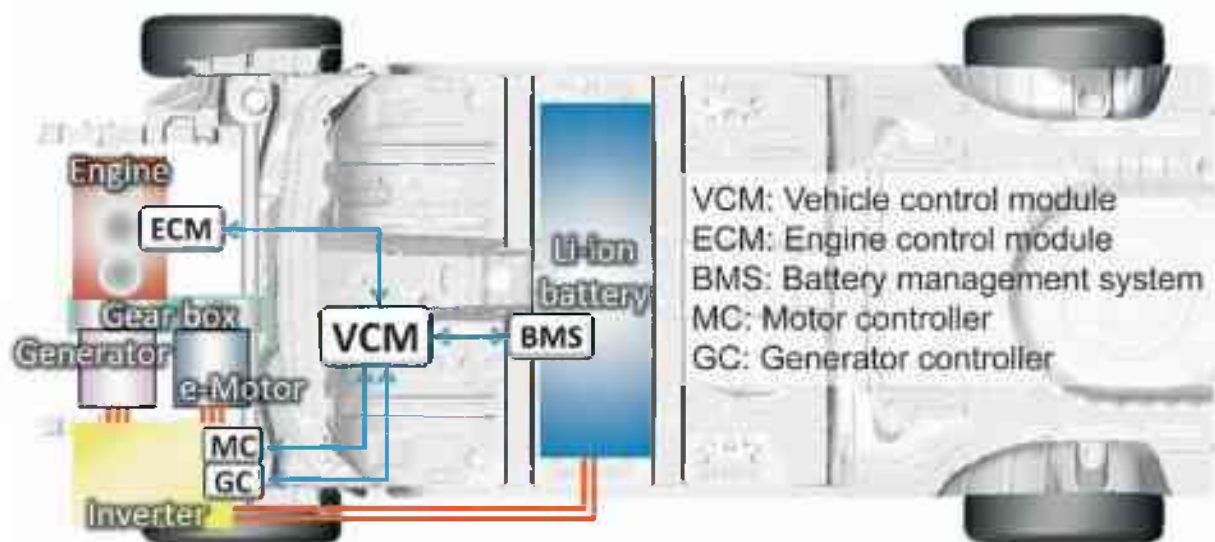


Рис. 1 Конфигурация системы e-POWER

Внешний вид установки показан в разрезе на *рис. 2*. Силовая установка системы e-POWER установлена в моторном отсеке в передней части автомобиля. Он состоит из приводного двигателя (электродвигателя), который функционирует как источник движущей силы транспортного средства, и ДВС, которые работают как генератор, инвертора.



Рис. 2 Внешний вид e-POWER

Энергия, производимая электромотором, подается на редуктор (передаточное число: 7,388), а затем через приводной вал на колеса. Генератор соединен с ДВС через шестерню, увеличивающую скорость (передаточное число: 0,6). Генератор и электродвигатель, через инвертор соединены трехфазным жгутом проводов. Обмен энергией между аккумулятором, генератором и электромотором происходит через инвертор. На *рис. 3* показан поток электроэнергии. В условиях низкой нагрузки, например, для запуска ДВС и движения на низкой скорости, аккумулятор подает питание на электродвигатель (синяя стрелка), и энергия генератор-ДВС не генерируется. В условиях большой движущей силы, например, для мощного ускорения, электромотор приводится в движение энергией генератора и энергией от батареи (оранжевые стрелки). Если уровень заряда (SOC) аккумулятора падает, когда автомобиль находится в состоянии покоя, энергия, вырабатываемая генератором, используется для зарядки аккумулятора (розовая стрелка).

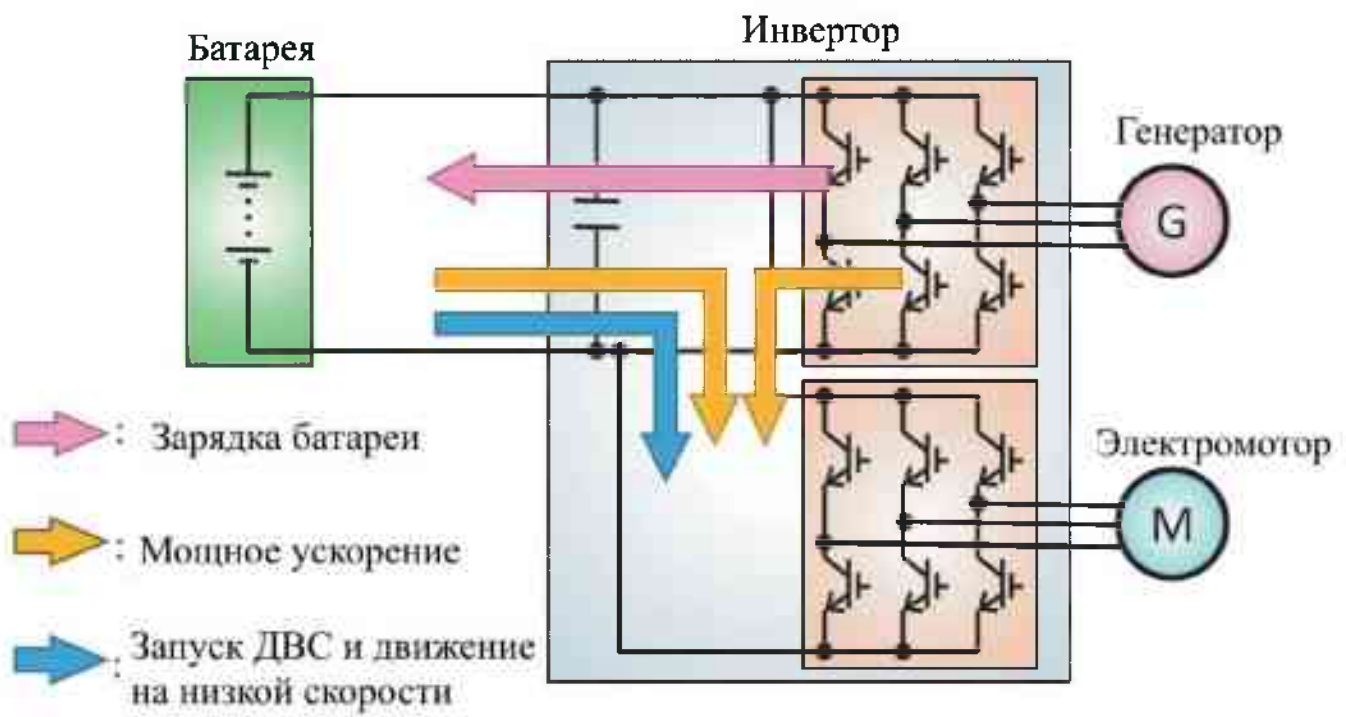


Рис. 3 Поток энергии системы

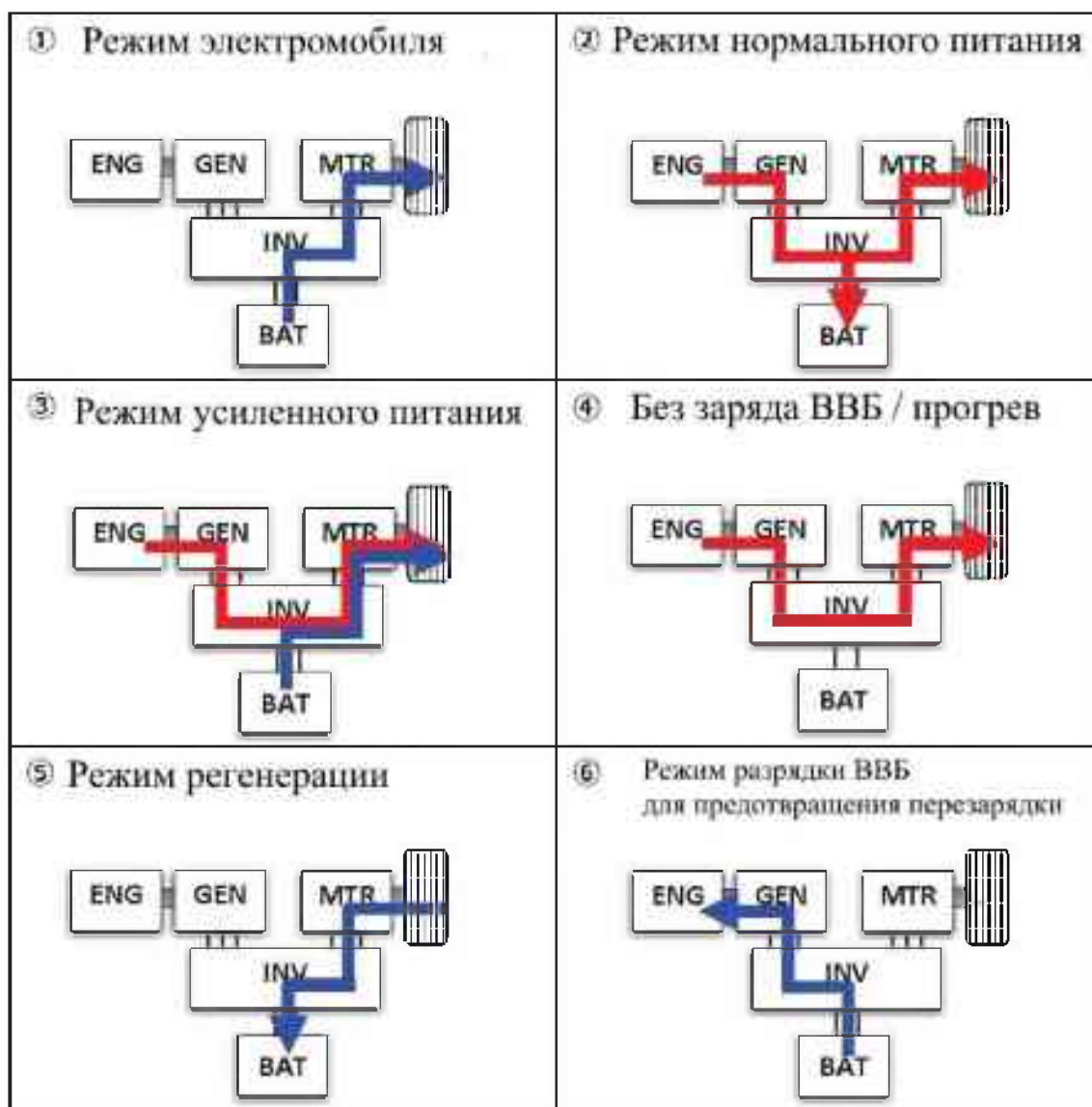


Рис. 4 Режимы работы системы

Работа системы e-POWER состоит из следующих шести режимов: рис.4 иллюстрирует каждый режим. Режимы с 1 по 5 являются основными, а режим 6 является вспомогательным.

1. ДВС остановлен, движение осуществляется только за счет энергии высоковольтной батареи (ВВБ).
2. Транспортное средство приводится в движение мощностью, генерируемой ДВС, а избыточная мощность используется для зарядки ВВБ.
3. Автомобиль ускоряется за счет генерируемой мощности как ДВС, так и ВВБ.
4. Транспортное средство приводится в движение мощностью, генерируемой ДВС.
5. Двигатель остановлен, при замедлении электродвигатель регенерирует энергию и через инвертор заряжает ВВБ.
6. ДВС вращается генератором для разряда ВВБ (для создание отрицательного давления в тормозной системе и предотвращение перезарядки аккумулятора).

На *рис. 5* показаны выходные характеристики N-T электродвигателя. Электромотор развивает максимальный крутящий момент 254 Нм и максимальную мощность 80 кВт, что соответствует уровню мощности электромотора Nissan LEAF. В более легком Nissan Note - это дает такие же или даже более высокие показатели мощности.

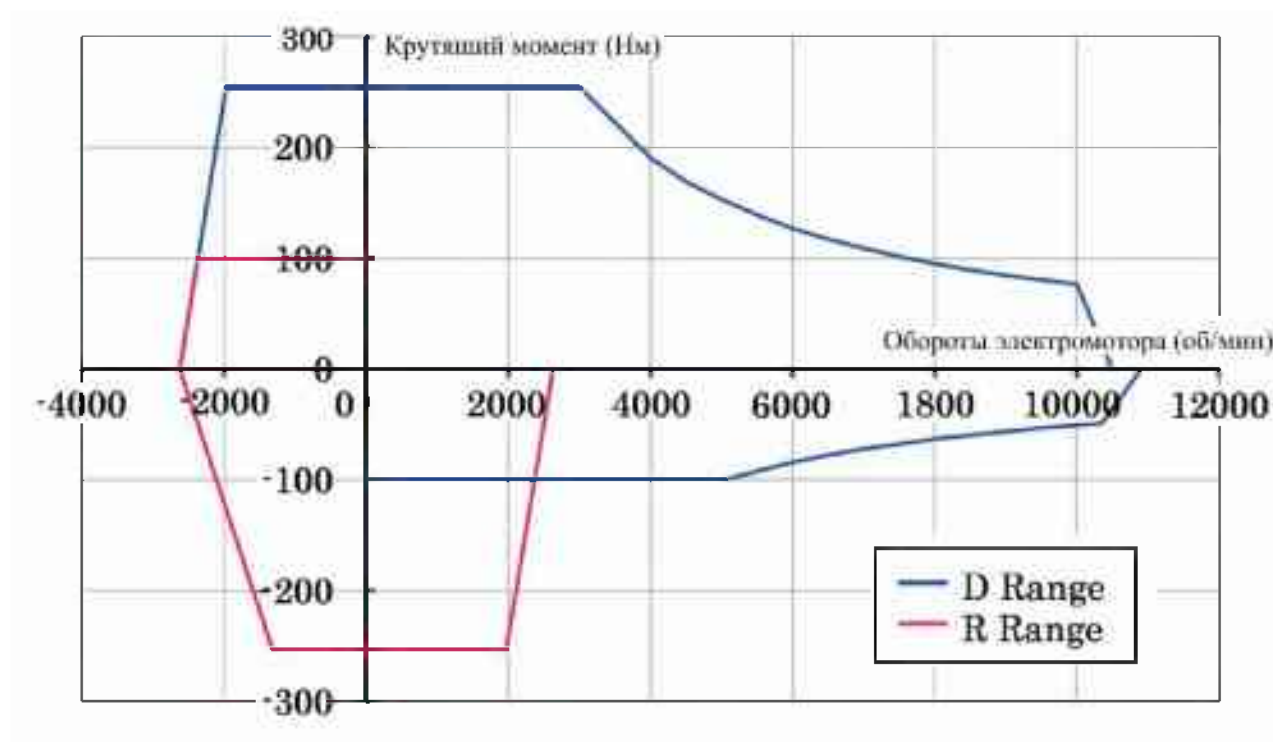


Рис. 5 Карта N-T для электромотора

На *рис. 6* показан комбинированный КПД электродвигателя и инвертора. КПД около 96% достигается в наиболее эффективной рабочей точке, а средний КПД более 92% достигается в режиме испытаний JC08 в Японии.

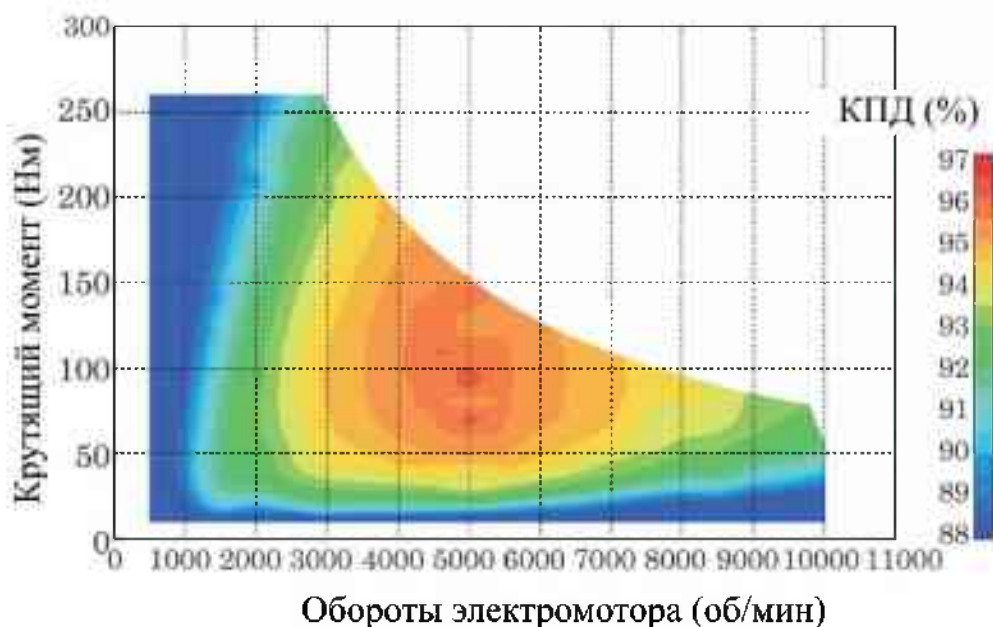


Рис. 6 Комбинированная эффективность электромотора и инвертора

3. Электромотор

3.1 Обзор

Как и электродвигатель Nissan LEAF, электродвигатель системы e-POWER был разработан и изготовлен на предприятии Nissan. Внешний вид электродвигателя показан на *рис.7*, а его основные характеристики перечислены в *таб.1*.



Рис. 7 Электродвигатель EM57

Max. torque	254 Nm
Max. power	80 kW
Max. speed	10500 rpm
Outer dimensions	260 mm dia. × 290 mm (L)
Mass	52.3 kg

Таб. 1 Технические характеристики электромотора

3.2 Снижение использования тяжелых редкоземельных элементов

Тяжелые редкоземельные элементы диспрозий (Dy) и тербий (Tb) добавляются к неодимовым магнитам, используемым в автомобильных электродвигателях, с целью обеспечения коэрцитивной силы при высоких рабочих температурах. Однако, поскольку тяжелые редкоземельные элементы подвержены количественному риску и риску, связанному с неравномерным региональным распределением, желательно максимально сократить используемые элементы. Поэтому размер зерна неодимовых магнитов, используемых в электродвигателе, был меньше, чем у предыдущих магнитов, а также тяжелые редкоземельные элементы распределены только на границе раздела магнитных зерен. Эти меры позволили заметно сократить количество используемых тяжелых редкоземельных элементов, сохранив при этом коэрцитивную силу, равную той, что использовалась у предыдущих магнитов. На *рис. 8* представлены микрофотографии сравнения размеров зерен. Это изменение уменьшило количество используемых тяжелых редкоземельных элементов более чем на 50% по сравнению с предыдущими магнитами, что способствовало значительному снижению затрат.

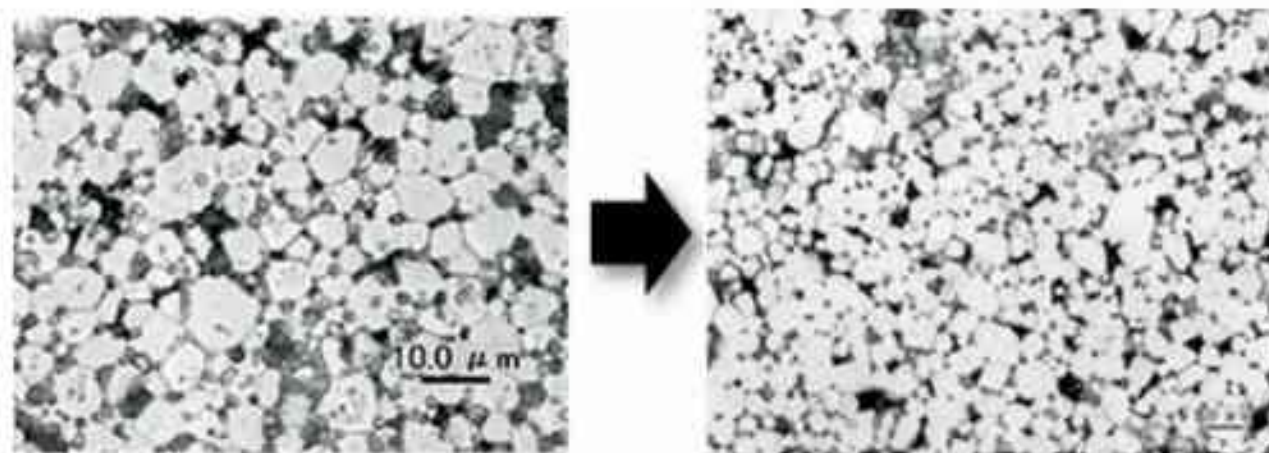


Рис. 8 Сравнение размера магнитного зерна

4. Генератор

4.1 Обзор

На *рис. 9* показан внешний вид генератора, адаптированного для e-POWER, а в *таб. 2* перечислены его основные характеристики. Генератор способен производить энергию, необходимую e-POWER для обеспечения максимальной мощности системы. Кроме того, он также работает как стартер для ДВС.

Как и в электродвигателе, был применен синхронный двигатель со встроенным магнитом для достижения компактных размеров и высокой производительности. Подобно магнитам электродвигателя, кристаллические зерна магнитов были сделаны более мелкими, чтобы уменьшить использование тяжелых редкоземельных элементов, что способствовало снижению стоимости.



Рис. 9 Генератор

Max. torque	108 Nm
Max. power	55 kW
Max. speed	10000 rpm
Outer dimensions	210 mm dia. × 240 mm (L)
Mass	30.2 kg

Таб. 2 Технические характеристики генератора

4.2 Меры по сокращению размеров системы

На *рис.10* показан вид сбоку системы установленной в моторном отсеке. Чтобы установить систему на компактный автомобиль Nissan Note, внешний диаметр генератора был минимизирован за счет использования тонкостенного корпуса с водяным охлаждением, а внешний диаметр составляет 210 мм по отношению к диаметру статора 180 мм. Целью здесь было сократить межосевое расстояние между генератором и электродвигателем. Расстояние между центрами электромотора было сокращено примерно на 240 мм, чтобы удовлетворить требования к компоновке.

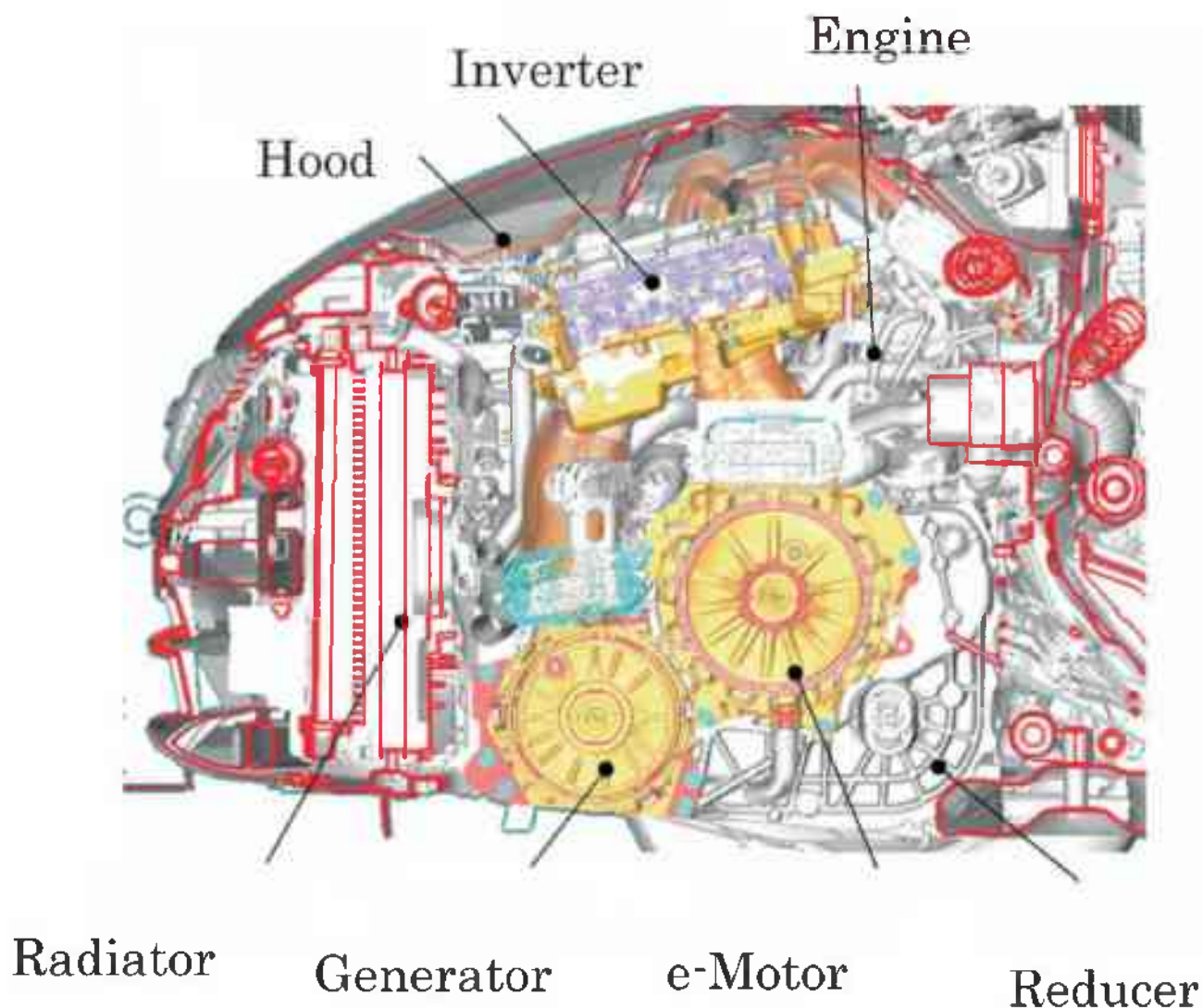


Рис. 10 Разрез моторного отсека

5. Инвертор

5.1 Обзор

Внешний вид инвертора показан на *рис. 11*, а его основные характеристики перечислены в *таб. 3*. В этом инверторе используются силовые модули новой конструкции. Инвертор, используемый в Nissan LEAF, имеет конструкцию с непрямым водяным охлаждением, в которой он прикреплен к алюминиевому радиатору, в котором каналы охлаждающей жидкости проходят через изоляционный лист. Инвертор e-POWER имеет конструкцию с прямым водяным охлаждением, в котором радиатор силовых модулей непосредственно погружен в охлаждающую воду. Эта структура снижает тепловое сопротивление силовых полупроводников охлаждающей жидкости, позволяя уменьшить площадь охлаждения силовых модулей более чем на 50%. Две инверторные функции объединены в одном корпусе, чтобы добиться почти такого же размера и массы, как у инвертора Nissan LEAF.

Кроме того, характеристики полупроводников были улучшены, индуктивность была уменьшена, а схема возбуждения была оптимизирована для соответствия напряжению.



Рис. 11 Инвертор

Max. output current	356 Arms (30 s)
	144 Arms (60 min)
Power source voltage	240-344 V
Outer dimensions	422×406×204 mm
Mass	16.9 kg

Таб. 3 Технические характеристики инвертора

5.2 Управление двигателем

В режиме e-POWER Drive, электродвигатель используется для создания большой рекуперации, поэтому крутящий момент двигателя часто переключается между положительными и отрицательными знаками. Это делает необходимым подавить возникновение удара, вызванного люфтом редуктора.

Поэтому прежний контроль вибрации был улучшен, и была построена новая система контроля с учетом люфта. В результате даже в режиме e-POWER Drive достигается плавное и мощное ускорение.

На *рис. 12* сравниваются формы волны продольного ускорения транспортного средства, когда крутящий момент был введен для переключения из режима регенерации в режим привода e-POWER. Результаты показывают, что уровень вибрации улучшился после изменения знака значения.

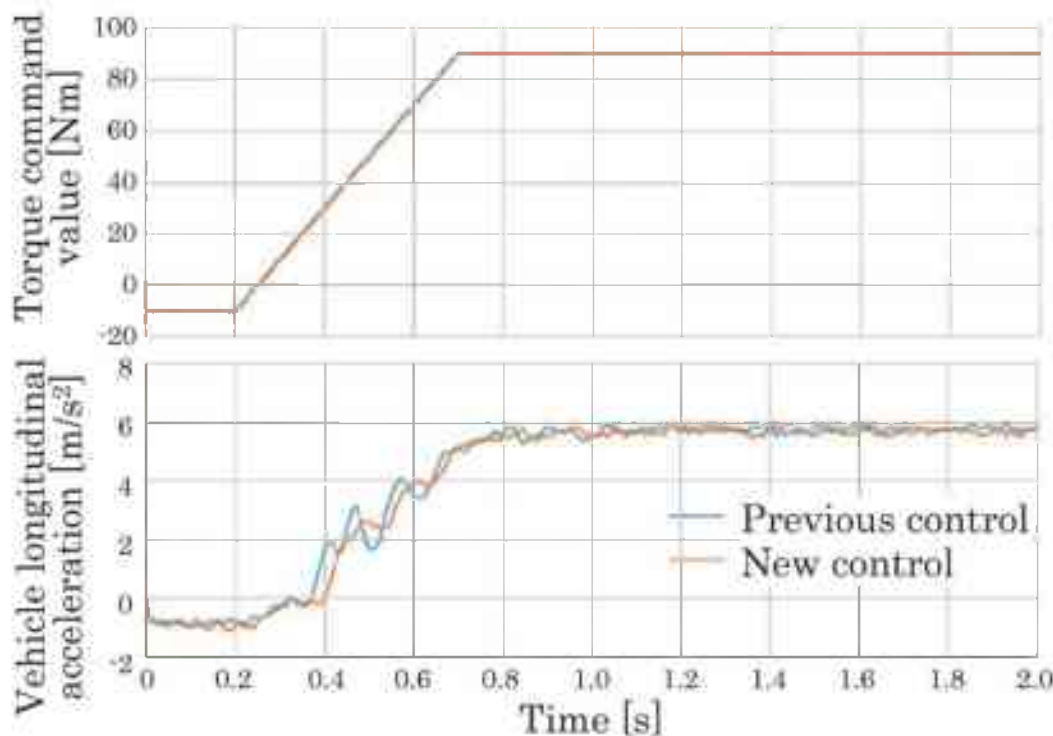


Рис. 12 Улучшение люфта амортизатора

6. Заключение

В этой статье описана силовая установка, разработанная для системы e-POWER, установленной на Nissan Note, для обеспечения максимального крутящего момента 254 Нм, максимальной мощности 80 кВт в качестве движущей силы и 55 кВт в качестве генерируемой мощности. Все компоненты силовой установки воплощают в себе технологии достижения требуемых технических характеристик в широком диапазоне дорожного движения, при разумной себестоимости.

Литий-ионный аккумулятор для e-POWER

Nissan разрабатывает экологические технологии, направленные на достижение «нулевых выбросов» в окружающую среду. e-POWER который сочетает в себе двигатель для выработки энергии и передовую систему моторного привода Nissan, отточенную благодаря использованию на Nissan LEAF, является одной из таких экологических технологий. В этой статье описывается разработка литий-ионного аккумулятора для e-POWER.

1. Введение

Система e-POWER состоит из ДВС, приводного двигателя (e-Motor), генератора, инвертора, коробки передач и литий-ионной (Li-ion) аккумуляторной батареи. Она обеспечивает бесшумную работу и плавное, мощное ускорение, которое может обеспечить только система электропривода. Литий-ионный аккумулятор в этой системе служит для хранения электроэнергии, регенерированной двигателем и генерируемой генератором, и подачи ее на электродвигатель. Ключевым моментом для обеспечения бесшумности и повышения экономии топлива с помощью системы e-POWER является снижение частоты запуска двигателя. В связи с этим требуется, чтобы литий-ионный аккумулятор имел более высокий уровень заряда / разряда, чем аккумуляторы, использовавшиеся в предыдущих гибридных транспортных средствах. Важным фактором для обеспечения этих требуемых характеристик заряда/разряда является конструкция системы охлаждения литий-ионной батареи.

В этой статье описываются характеристики, компоновка и система охлаждения компактной литий-ионной аккумуляторной батареи большой мощности, разработанной для системы e-POWER.

2. Обзор литий-ионного аккумулятора для e-POWER

2.1 Расположение аккумуляторной батареи в автомобиле

Аккумулятор e-POWER установлен под передними сиденьями. Такая компоновка была выбрана для обеспечения простора и простоты использования без ущерба для пространства на задних сиденьях и объема багажного отделения в ограниченном внутреннем пространстве компактного автомобиля. Аккумулятор был уменьшен, чтобы его можно было установить в ограниченном пространстве под передними сиденьями. Следовательно, аккумуляторную батарею можно установить на модели, отличные от e-POWER, просто внося минимальные изменения в детали кузова.

Кроме того, под передними сиденьями находятся силовые элементы для защиты пассажиров при столкновении. Размещение аккумуляторной батареи в этой области, окруженной силовыми элементами кузова транспортного средства, обеспечивает

структуру, которая может уменьшить повреждение аккумуляторной батареи в случае столкновения. Компоновка аккумуляторной батареи в автомобиле показана на *рис.1*.

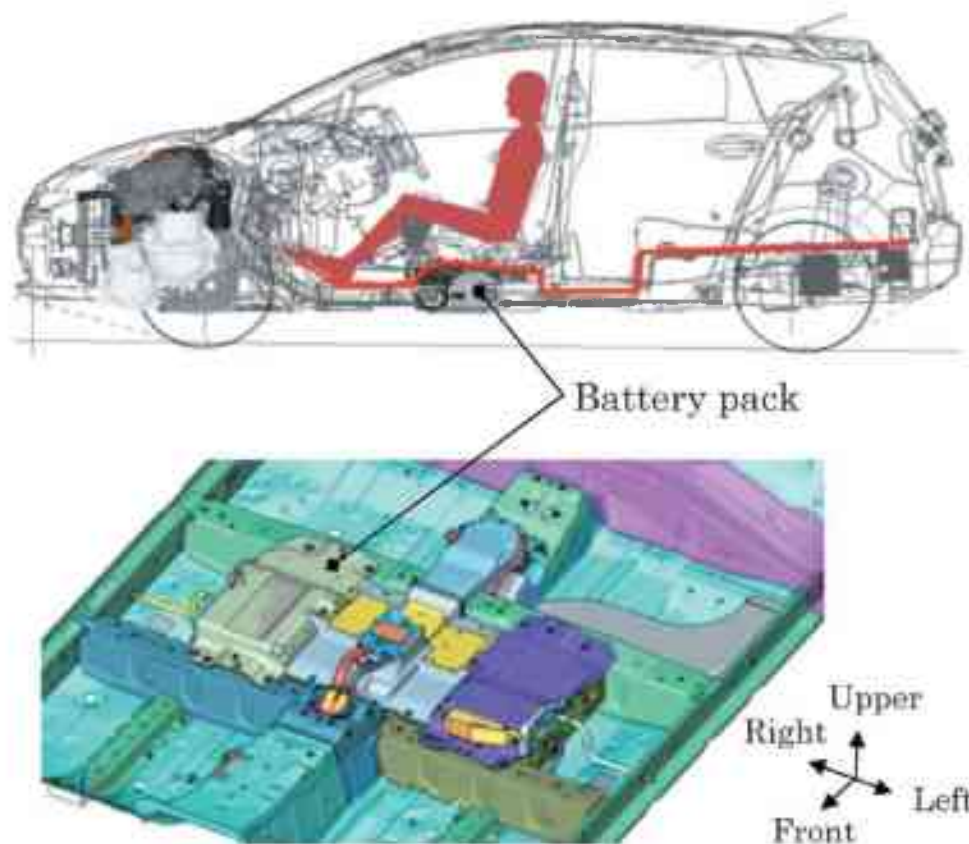


Рис. 1 Расположение аккумуляторной батареи в автомобиле

2.2 Аккумулятор

Литий-ионная аккумуляторная батарея e-POWER состоит из четырех модулей, соединенных последовательно. Каждый модуль состоит из 20 элементов, соединенных так же последовательно. Для создания соединений между ячейками в модулях была принята новая технология сварки. Всего имеется 80 элементов, номинальным напряжением 292 В. Внутренняя часть имеет двухуровневую структуру, на нижнем уровне расположены модули аккумулятора, на верхнем уровне расположены вспомогательные устройства (система управления аккумулятором, распределительная коробка, сервисный переключатель, преобразователь постоянного тока). Такая компоновка позволила уменьшить размер аккумуляторной батареи.

В батарейном отсеке пылезащитные и водонепроницаемые блоки отделены по требованию к прочности и жесткости.

Корпус состоит из двух частей: пластикового корпуса и металлического каркаса, что обеспечивает большую гибкость компоновки.

Item		Description
Cell	Structure	Prismatic type
	Nominal capacity	5 Ah
Module	Number of cells	20 cells in series
Pack	Number of modules	4 modules in series
	Nominal voltage	292 V
	Total energy	1.47 kWh
	Weight*	41 kg

*without DC-DC converter

Таб. 2 Основные характеристики аккумуляторной батареи

В таб. 1 перечислены основные характеристики аккумуляторной батареи, а архитектура аккумуляторной батареи показана на рис. 2.

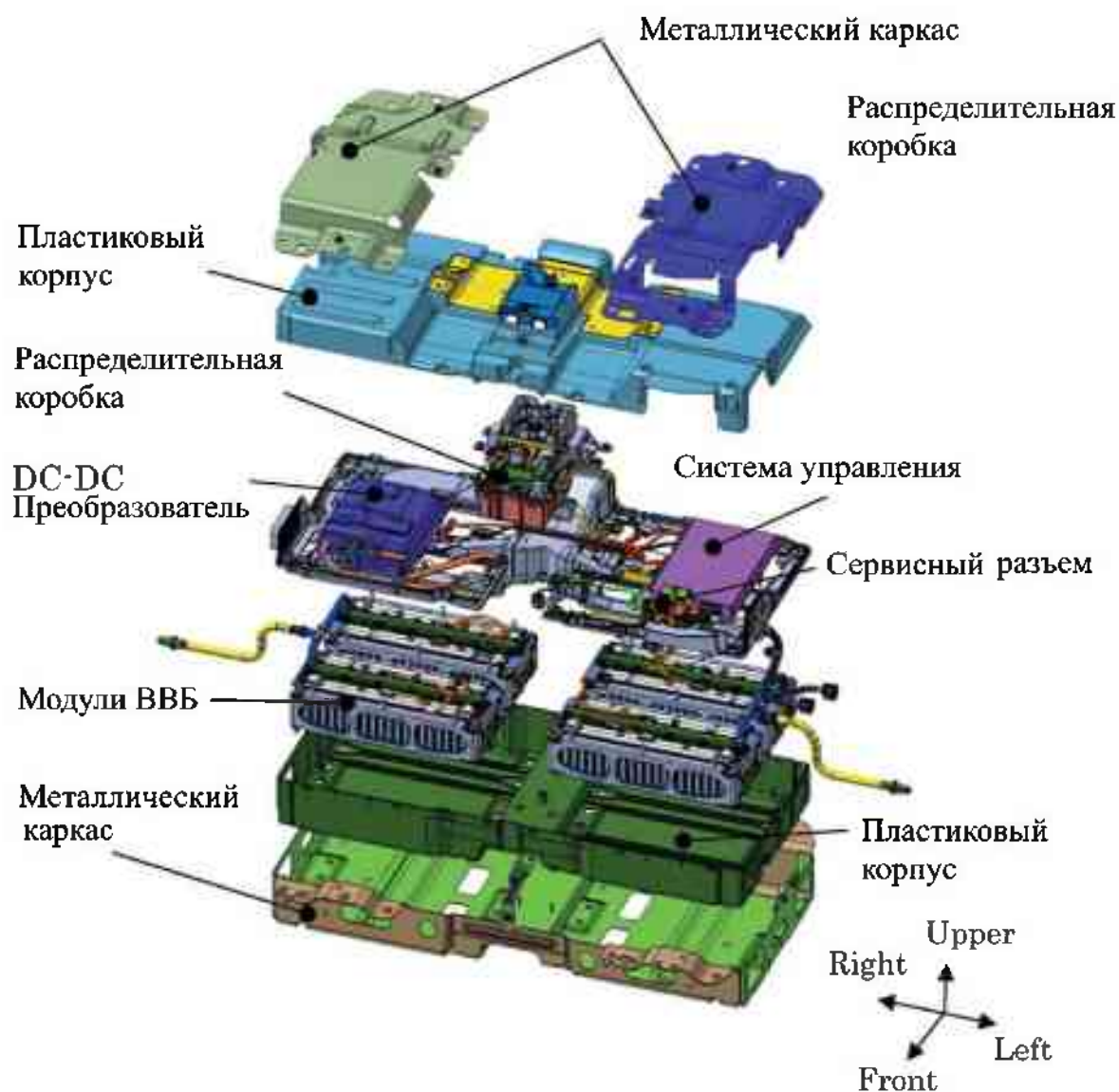


Рис. 2 Архитектура аккумуляторного блока

3. Конструкция системы охлаждения аккумуляторной батареи.

Система охлаждения батареи состоит из охлаждающего вентилятора батареи, впускных отверстий для охлаждающего воздуха и выпускного канала. Вентилятор с отрицательным давлением нагнетает воздух в аккумуляторную батарею через впускные отверстия под передними сиденьями для охлаждения аккумуляторных батарей и преобразователя DC/DC, затем воздух выходит через выпускной канал.

Архитектура системы охлаждения аккумуляторной батареи показана на *рис. 3*, а воздушный поток внутри аккумуляторной батареи показан на *рис. 4*.



Рис.3 Архитектура системы охлаждения аккумулятора

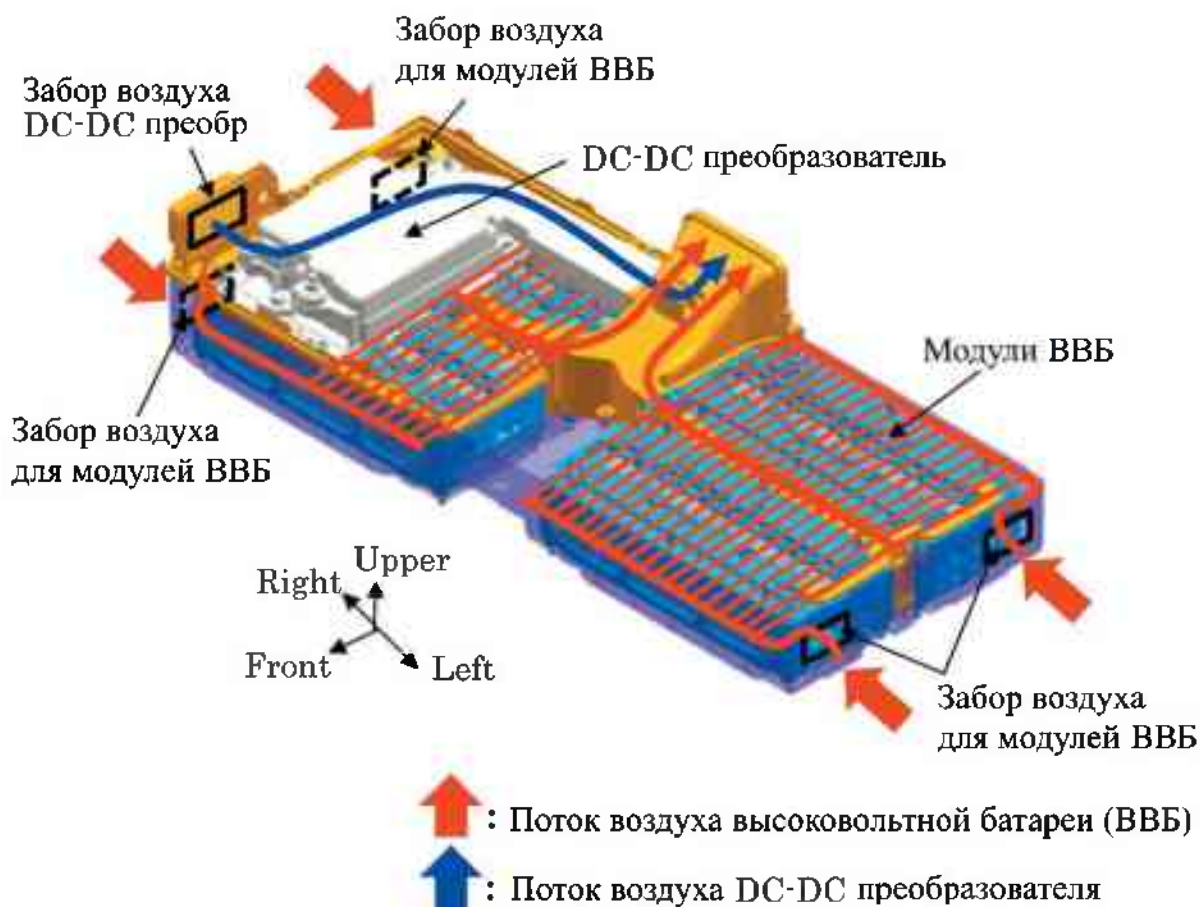


Рис. 4 Поток воздуха в аккумуляторном блоке

Охлаждающий воздух, подаваемый через два впускных отверстия на левой и правой сторонах аккумуляторной батареи, проходит между элементами внутри модулей;

затем потоки объединяются и выводятся через выпускной канал в задней части аккумуляторной батареи.

Как упоминалось ранее, конструкция охлаждения батареи является жизненно важным аспектом системы e-POWER. Если модули не охлаждаются должным образом и температура элементов повышается до высокого уровня, аккумулятор не сможет полностью обеспечить зарядку/разрядку. Система охлаждения аккумуляторной батареи e-POWER оснащена четырьмя впускными отверстиями для охлаждающего воздуха, так что холодный воздух из салона автомобиля подается отдельно на каждый из четырех модулей. Такая конструкция обеспечивает эффективное охлаждение каждого из модулей, тем самым гарантируя, что литий-ионный аккумулятор может удовлетворительно обеспечивать характеристики заряда/разряда, необходимые для системы e-POWER.

Кроме того, вентилятор охлаждения аккумулятора регулируется на оптимальной скорости в зависимости от температуры элемента и фоновых шума автомобиля. Это обеспечивает выдающуюся бесшумность одновременно с отличными характеристиками зарядки/разрядки литий-ионного аккумулятора. Принцип управления скоростью вентилятора охлаждения показан на *рис. 5* в зависимости от температуры аккумулятора и допустимого уровня шума.

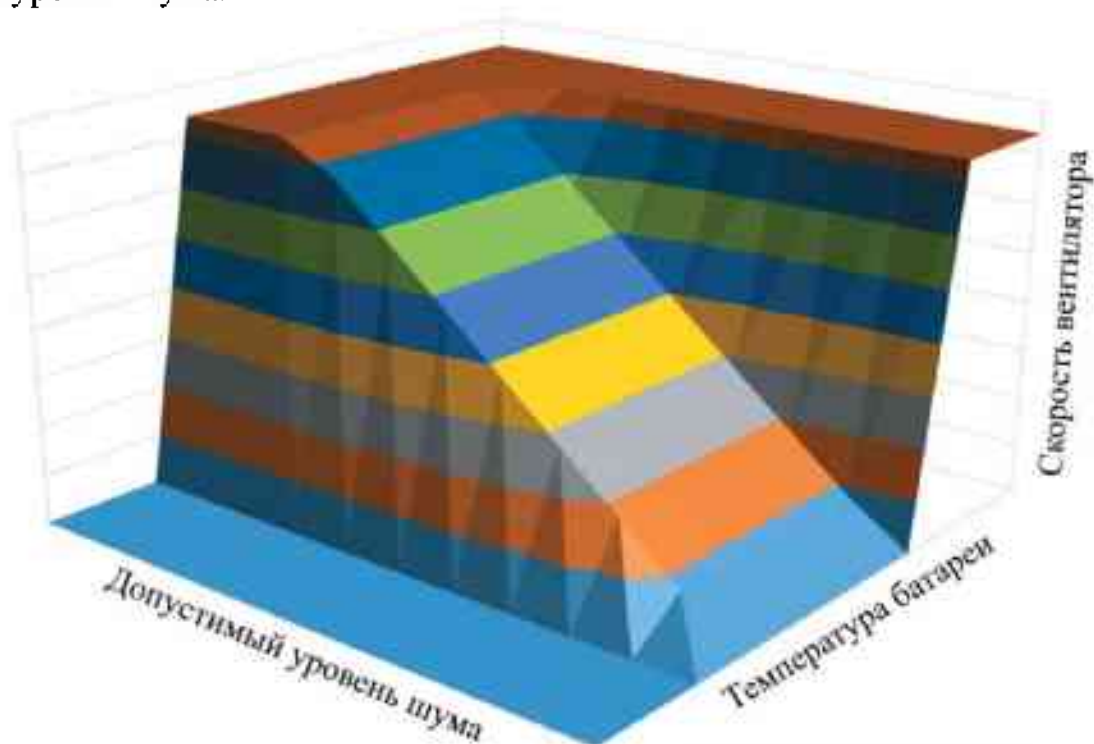


Рис. 5 Концепция управления вентилятором охлаждения

Средняя эффективная мощность литий-ионного аккумулятора у показана на *рис. 6* для различных схем вождения, включающих разные нагрузки двигателя.

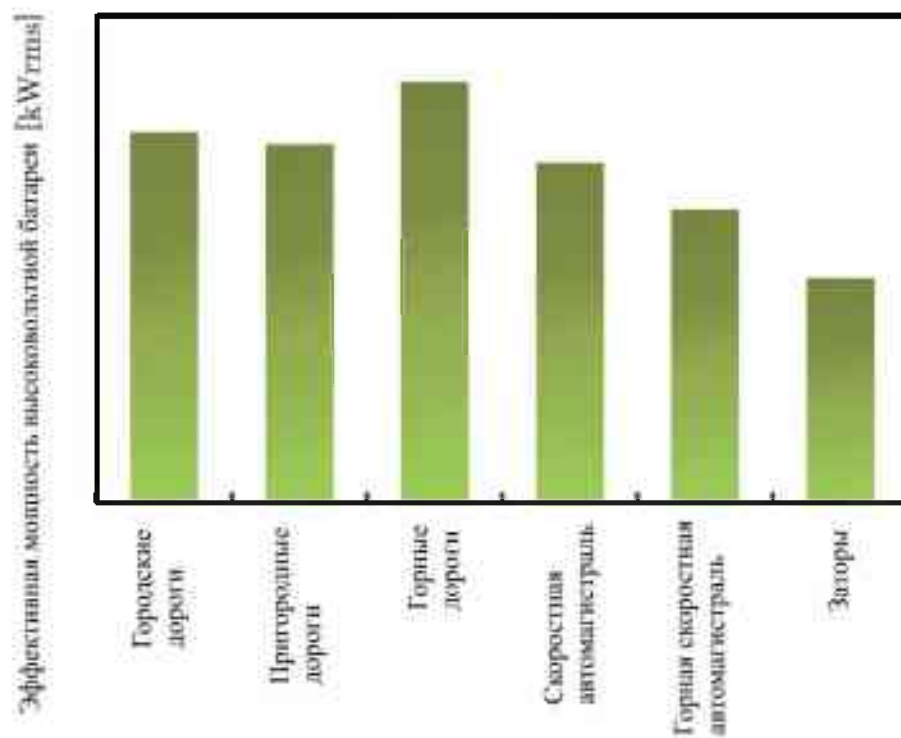


Рис. 6 Средняя эффективная мощность литий-ионного аккумулятора в различных дорожных условиях

От литий-ионного аккумулятора требуется высокий уровень заряда/разряда для снижения частоты запуска двигателя в системе e-POWER. Количество тепла, выделяемого литий-ионным аккумулятором, определяется уровнем мощности и частотой зарядки/разрядки. По этой причине движение по горным дорогам с частыми ускорениями/замедлениями является режимом движения, при котором средняя эффективная мощность литий-ионной батареи становится самой высокой. Система охлаждения аккумулятора была успешно спроектирована для обеспечения как заданной бесшумности, так и производительности заряда/разряда даже при таком типе вождения.

На *рис. 7* показана температура элемента, измеренная во время движения по горной дороге, где средняя эффективная мощность литий-ионной батареи является максимальной, как показано на *рис. 6*. Температура элемента повысилась сразу после начала движения по горной дороге, а поскольку каждый модуль был эффективно охлажден, видно, что не было большой разницы температур между ячейками и температура элемента достигла состояния насыщения.

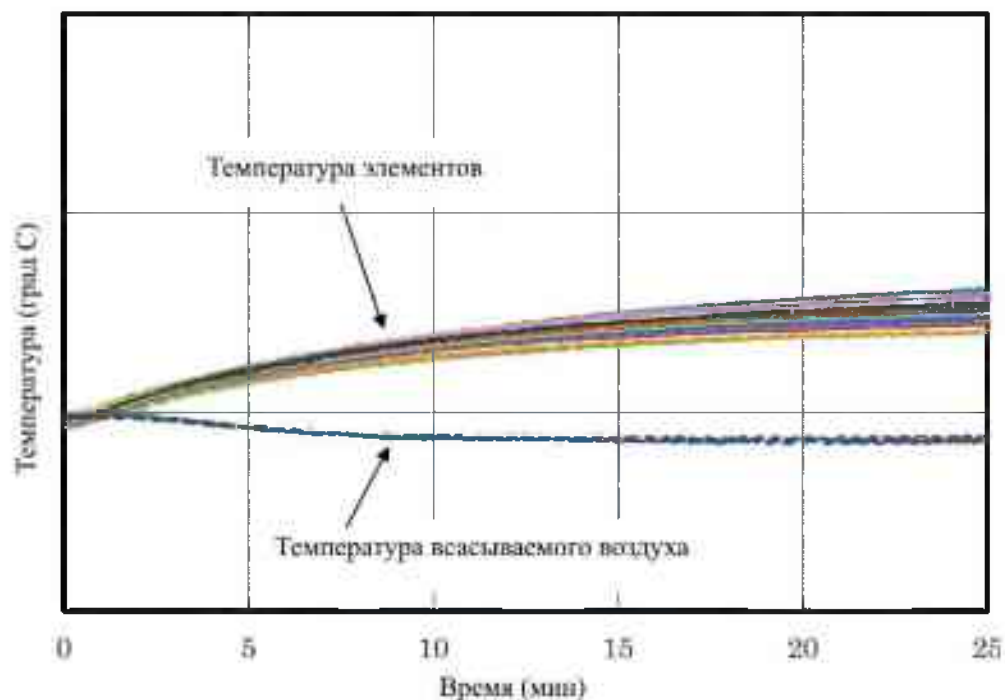


Рис. 7 Измерение температуры элементов при вождении по горной дороге

Этот охлаждающий эффект, наблюдаемый при движении по горной дороге, был также подтвержден в различных других дорожных ситуациях. Поскольку температура элемента поддерживается должным образом, литий-ионный аккумулятор может демонстрировать максимальную производительность.

4. Вывод

Просторность и простота использования нового компактного автомобиля Note удалось сохранить за счет размещения под передними сиденьями нового компактного литий-ионного аккумулятора высокой мощности, разработанного для системы e-POWER. Как описано здесь, температура аккумулятора оптимально поддерживается во всех типах дорожных ситуаций, чтобы литий-ионный аккумулятор работал с максимальной производительностью.

Двигатель HR12DE для e-POWER

Для силовой установки e-POWER был разработан новый небольшой 3-х цилиндровый бензиновый двигатель объемом 1,2 л (HR12DE), который является источником питания системы. Этот двигатель обеспечивает низкий расход топлива и удовлетворяет потребности e-POWER за счет повышения теплового КПД, снижения насосных потерь и механического трения.

1. Введение

На японском рынке малолитражных автомобилей существуют строгие требования к экологическим характеристикам, таким как низкий уровень выбросов выхлопных газов, что объясняется повышенным вниманием к проблемам окружающей среды. Чтобы ответить на такие требования рынка, Nissan выпустил Nissan LEAF и другие электромобили (EV), стремясь достичь нулевого уровня выбросов за счет электрификации транспортных средств. Новый силовой агрегат e-POWER был представлен на рынке как одна из технологий электрификации Nissan.

e-POWER представляет собой совершенно новый силовой агрегат с чисто электрической системой привода, в которой мощность для приведения в движение транспортного средства вырабатывается за счет работы ДВС, а не за счет внешней зарядки. Эта система предназначена для того, чтобы позволить многим людям испытать отличные ходовые качества электромобилей. ДВС не связан напрямую с приводами, а служит источником для выработки электроэнергии. Генерируемая энергия используется для зарядки литий-ионного (Li-ion) аккумулятора и иногда подается непосредственно на приводной двигатель (электродвигатель) для приведения в движение транспортного средства.

e-POWER предъявляет к двигателю следующие требования.

1. Выходная мощность для выработки электроэнергии, должна быть достаточной для удовлетворения энергетических потребностей e-POWER.

2. Приемлемая экономия топлива и показатели выбросов.

3. Компактный размер в виде интегрированной трансмиссии.

Двигатель HR12DE был разработан специально для использования в производстве электроэнергии, чтобы соответствовать этим требованиям, предъявляемым e-POWER.

2. Цели развития

2.1 Выбор двигателя

Электродвигатель, используемый для e-POWER, имеет такую же номинальную мощность, что и приводной двигатель Nissan LEAF. Ёмкость литий-ионного аккумулятора была выбрана для облегчения работы автомобиля от аккумулятора в типичных условиях вождения. С другой стороны, характеристики ускорения, равные характеристикам Nissan LEAF, были необходимы при движении по горной дороге и в других ситуациях, связанных с продолжительной работой при высокой нагрузке. Эта

цель может быть достигнута путем запуска двигателя для выработки энергии генератором для подачи дополнительной энергии на электродвигатель. Для этого максимальная мощность двигателя была установлена на уровне 58 кВт.

В качестве агрегата, способного обеспечить оптимальные уровни экономии топлива, выбросов, компактности, шума, вибрации, был выбран двигатель из 3-цилиндровой серии бензиновых двигателей объемом 1,2 л HR12, обеспечивающий требуемую максимальную мощность 58 кВт. Среди агрегатов этой серии двигатель HR12DDR с наибольшим потенциалом повышения термического КПД был выбран в качестве базового агрегата для разработки двигателя e-POWER.

2.2 Цели разработки двигателя

Помимо удовлетворения трех вышеупомянутых требований к двигателю e-POWER (т. е. мощность, выбросы, экономия топлива и компактность), для двигателя также были определены следующие цели развития.

- Работа в точке для максимальной экономии топлива для привода генератора.
- Оптимизация объема изменений с целью увеличения общего использования деталей и производственных мощностей с другими двигателями серии HR12.

3. Основные характеристики двигателя

Основные характеристики двигателей серии HR12 перечислены в *таб.1*, а внешний вид двигателя HR12DE показан на *рис. 1*. В ДВС к e-POWER улучшен тепловой КПД, степень сжатия 12:1, применен цикл Миллера, применены меры для снижения насосных потерь. Так же приняты меры для повышения экономии топлива, такие как рециркуляция охлажденных выхлопных газов (EGR), электрический водяной насос и электрический компрессор кондиционера.



Рис. 1 Внешний вид двигателя HR12DE

Поскольку ДВС был предназначен для системы e-POWER, которая включает в себя электродвигатель как основной привод колес, прямой впрыск топлива и нагнетатель, были демонтированы. Не были установлены стартер и генератор переменного тока, потому что генератор в e-POWER использоваться для запуска ДВС, а генерируемое напряжение может быть использовано для питания потребителей напряжением 12В через преобразователь постоянного тока DC/DC. В результате экономия топлива двигателя для e-POWER была оптимально улучшена.

Engine	e-POWER HR12DE	HR12DDR	HR12DE
Engine type	Inline 3 cylinder Aluminum with mirror bore coating	Inline 3 cylinder Aluminum with mirror bore coating	Inline 3 cylinder Aluminum with steel liner
Displacement [cc]	1198	1198	1198
Bore×stroke [mm]	78.0×83.6	78.0×83.6	78.0×83.6
Compression ratio	12.0:1	12.0:1	10.2:1
Max. power [kW/rpm]	58/5400	72/5600	58/6000
Max. torque [Nm/rpm]	103/3600-5200	142/4400	106/4400
Variable valve timing control	INT: Hydraulic EXH: Without	INT: Hydraulic EXH: Hydraulic	INT: Hydraulic EXH: Without
EGR system	Cooled EGR	EGR	EGR
Fuel injection	MPI Dual injection	DIG	MPI Single injection
Piston top ring/oil ring	DLC* coating	DLC* coating	DLC* coating
Valve lifter	DLC* coating	DLC* coating	No coat
Starter motor	Without	With	With
Water pump	Electric	Mechanical	Mechanical
A/C compressor	Electric	Mechanical	Mechanical
Alternator	Without	With	With
Accessory drive belt	Without	With	With

*Diamond-like carbon

Таб. 1 Технические характеристики двигателей

4. Используемые функции и основные технологии

4.1 Режимы работы двигателя e-POWER

Двигатель и приводной вал в новой силовой установке e-POWER не связаны механически, поэтому ДВС не имеет прямого отношения к движению автомобиля. Это позволило определить определенный уровень крутящего момента для каждой частоты вращения двигателя специально для требуемой выработки мощности *рис. 2*. Более того, когда двигатель работает, он в основном регулируется на определенной постоянной скорости в рабочей точке для обеспечения хорошего КПД. Частота остановки двигателя также была увеличена, что способствует достижению бесшумности и высокой экономии топлива, которые являются привлекательными особенностями e-POWER.

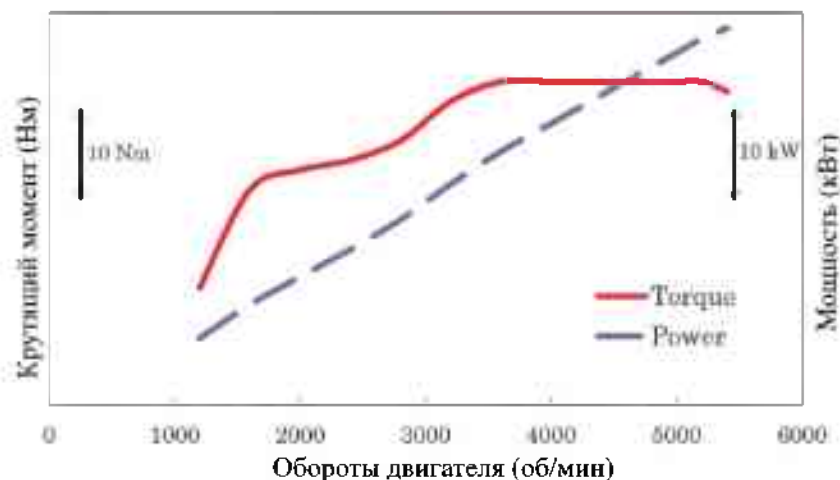


Рис. 2 Характеристики требуемого крутящего момента и мощности

4.2 Экономия топлива двигателя e-POWER

Электроэнергия, которая является движущим источником энергии для e-POWER, вырабатывается за счет сжигания топлива при вращении генератора, хотя она также вырабатывается за счет рекуперативного торможения. Следовательно, чтобы улучшить экономию топлива транспортного средства, было необходимо улучшить фундаментальную природу двигателя, который является единственным устройством, потребляющим топливо в этой силовой установке.

Были предприняты усилия по увеличению теплового КПД, что является основным техническим подходом к улучшению фундаментальной природы двигателя. С этой целью насосные потери и трение были уменьшены для снижения потерь энергии, что позволило достичь уровня расхода топлива, показанного на рис. 3. Двигатель HR12DE, разработанный для e-POWER, улучшает экономию топлива примерно на 6% по сравнению с двигателем HR12DDR в рабочей точке.

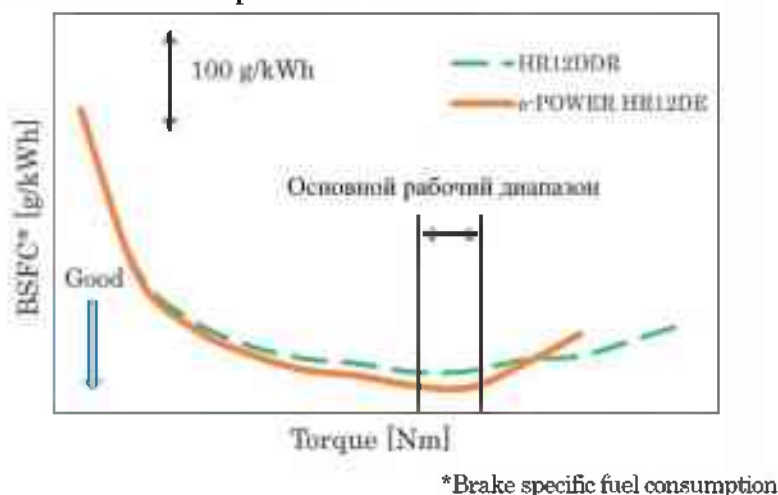
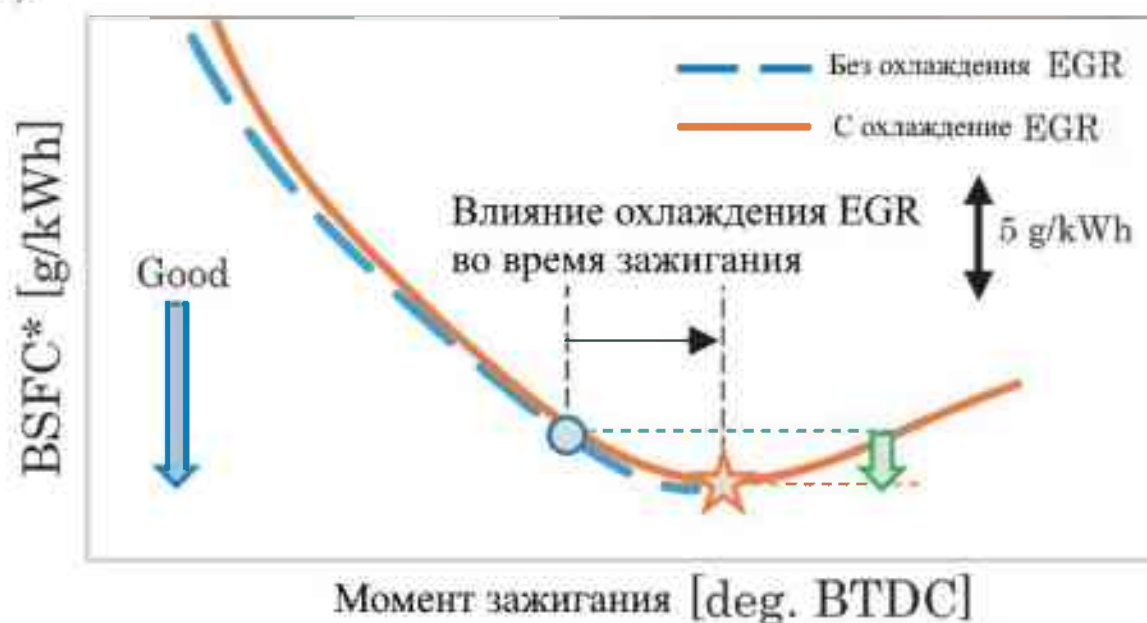


Рис. 3 Сравнение расхода топлива
(частота вращения двигателя: 2400 об / мин)

4.3 Технологии повышения теплового КПД

Для увеличения теплового КПД впускной канал и камера сгорания были спроектированы для оптимального статического коэффициента воздушного потока (C_v) и передаточного отношения, а также была принята такая же высокая степень сжатия, как у HR12DDR. Непосредственный впрыск топлива не применялся во избежание потерь от привода топливного насоса высокого давления. Другая причина заключается в том, что одна из особенностей e-POWER состоит в том, что мощность и крутящий момент, необходимые при низких оборотах двигателя, невелики. С другой стороны, сдвоенные форсунки были адаптированы для впрыска топлива вне цилиндров, чтобы улучшить стабильность сгорания за счет распыления топливного спрея.

Также было продолжено нанесение покрытия на зеркало для улучшения теплопроводности из камеры сгорания. В сочетании с охлаждающим эффектом, охлаждаемой системы рециркуляции отработавших газов, который был впервые применен в двигателях серии HR, он предотвращает детонацию даже при высокой нагрузке и тяжелых условиях рециркуляции отработавших газов. В результате была увеличена установка угла опережения зажигания для повышения термического КПД (рис. 4).



*Brake specific fuel consumption

Рис. 4 Влияние на расход топлива охлаждаемой системы рециркуляции ОГ

4.4 Технологии снижения насосных потерь

Подобно HR12DDR, цикл Миллера и управление фазами впускных клапанов (VTC) были приняты в качестве мер для снижения насосных потерь. Применение сложной системы рециркуляции отработавших газов охлаждаемой системой рециркуляции отработавших газов, используемой для подавления детонации, также способствует снижению насосных потерь.

4.5 Снижение трения

Скользящие части были усовершенствованы, чтобы уменьшить трение. Покрытие из алмазоподобного углерода (DLC) наносится на толкатели клапана, верхнее кольцо поршня и масляное кольцо поршня. В качестве другой меры ширина второго кольца поршня и основного подшипника была сужена, чтобы уменьшить площадь контакта. Кроме того, компрессор кондиционера был электрифицирован за счет высокого напряжения, генерируемого генератором. Поскольку высокое напряжение может быть понижено преобразователем DC/DC до более низкого напряжения для батареи 12 В, генератор переменного тока также был демонтирован. Дополнительно был электрифицирован водяной насос, что позволило снизить потери нагрузки. Ремень привода вспомогательных агрегатов также был снят с производства, поскольку в нем больше не было необходимости.

Эти меры снизили механическое трение примерно на 35% по сравнению с HR12DDR (рис. 5).

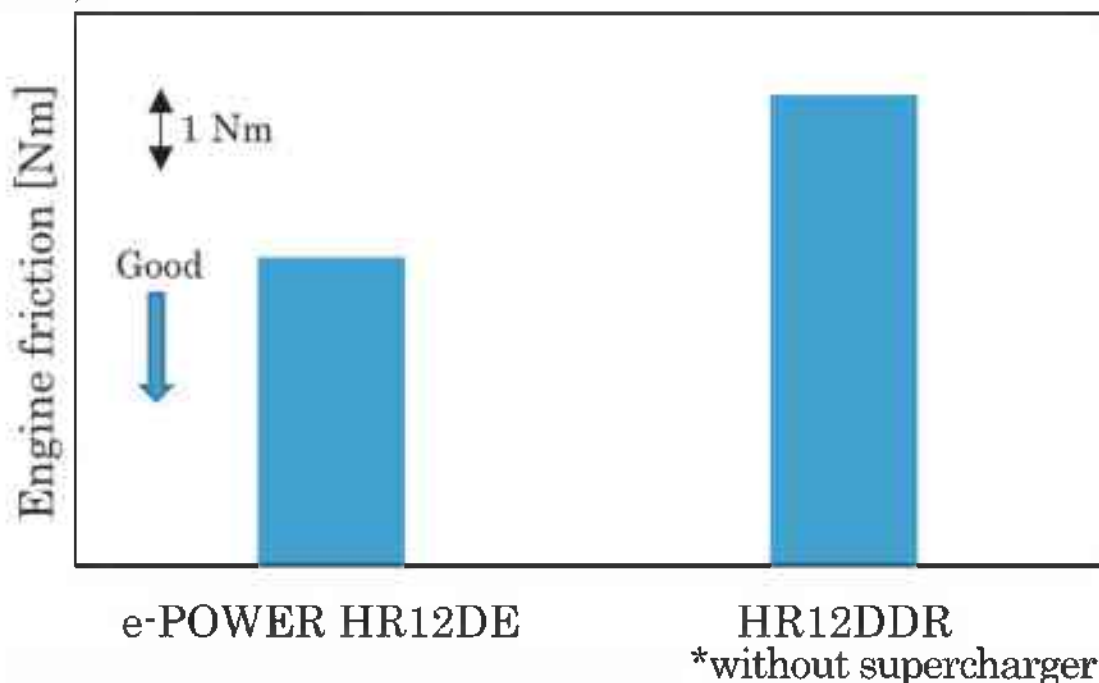


Рис. 5 Сравнение трения двигателя
(частота вращения двигателя: 2000 об / мин; 80 град. C)

4.7 Выхлопные газы

Хотя ДВС не приводит в движение автомобиль в системе e-POWER, энергия сгорания двигателя используется для выработки электроэнергии. Это означает, что выбросы выхлопных газов необходимо контролировать так же, как это необходимо для обычных транспортных средств с ДВС.

Как это было сделано ранее, эффективность контроля выбросов при запуске двигателя улучшается за счет замедления момента зажигания, чтобы ускорить, прогреть катализатора для более быстрого зажигания. Кроме того, поскольку ДВС и приводной

вал не связаны механически, оптимальная рабочая точка двигателя для выбросов может быть установлена независимо от скорости автомобиля.

С другой стороны, повторный запуск и остановка двигателя влияет на показатели выбросов, но двигатель в системе e-POWER работает реже, чем двигатель предыдущих гибридных автомобилей. После запуска двигатель управляется так, чтобы он работал на постоянной скорости, и зарядка аккумулятора продолжается эффективно.

Следовательно, чрезмерные выбросы выхлопных газов подавляются во время работы ДВС.

4.8 Управление двигателем

Вся силовая установка e-POWER контролируется модулем управления автомобилем (VCM). Управление движущей силой управления энергией осуществляется в любое время за счет оптимальной выработки электроэнергии. В частности, частота вращения и крутящий момент двигателя регулируются, как описано ниже.

1. Скорость двигателя устанавливается в соответствии со скоростью генератора, которая регулируется запросами от VCM.

2. Крутящий момент двигателя регулируется модулем управления двигателем (ECM) в соответствии с требованиями от VCM.

Одной из характеристик e-POWER является то, что он может гибко контролировать рабочую точку двигателя. В отличие от транспортных средств с приводом от ДВС, в которых движущая сила требуется на основе работы педали акселератора, двигателю необходимо точно отслеживать рабочую точку в соответствии с требованиями управления энергией, касающимися баланса электрической мощности. Следовательно, e-POWER требует более высокой точности крутящего момента и отклика, чем обычные автомобили с ДВС. Двигатель был оптимально откалиброван для обеспечения требуемой точности и отклика за счет полного использования стенда виртуального и реального моделирования (VRS).

5. Вывод

3-х цилиндровый бензиновый двигатель объемом 1,2 л, отличающийся высокой мощностью и экономией топлива, был разработан в качестве источника энергии в системе e-POWER. Этот двигатель обеспечивает высокую мощность и экологичность, которые достигаются моторным приводом, и олицетворяет привлекательность e-POWER. Новый двигатель HR12DE, основанный на двигателе HR12DDR, может обеспечить эти характеристики в результате выбора и улучшения характеристик двигателя, специально предназначенных для выработки электроэнергии.

Кроме того, управление частотой вращения двигателя и точность управления крутящим моментом и реакция были также улучшены, чтобы соответствовать точным требованиям к управлению электроэнергией. Ожидается, что высокоточная система контроля крутящего момента двигателя и управления энергопотреблением, разработанная для двигателя e-POWER, также будет способствовать повышению привлекательности транспортных средств в будущем.

Описание новой коробки передач для e-POWER

Мы разработали новую коробку передач, которая объединяет в одном корпусе две независимые зубчатые передачи, редуктор и мультипликатор. Он был спроектирован с меньшей шириной, чтобы его можно было установить в существующем компактном моторном отсеке. В нем используется система смазки, которая сочетает в себе низкий уровень шума, низкую стоимость конструкции, высокую долговечность и высокую эффективность.

1. Введение

Для создания силового агрегата e-POWER была разработана новая коробка передач. Было необходимо удовлетворить определенные требования, чтобы обеспечить привлекательные характеристики электропривода.

В этой статье представлен технический обзор коробки передач *рис. 1*, разработанной специально для системы e-POWER, установленной на Nissan Note.

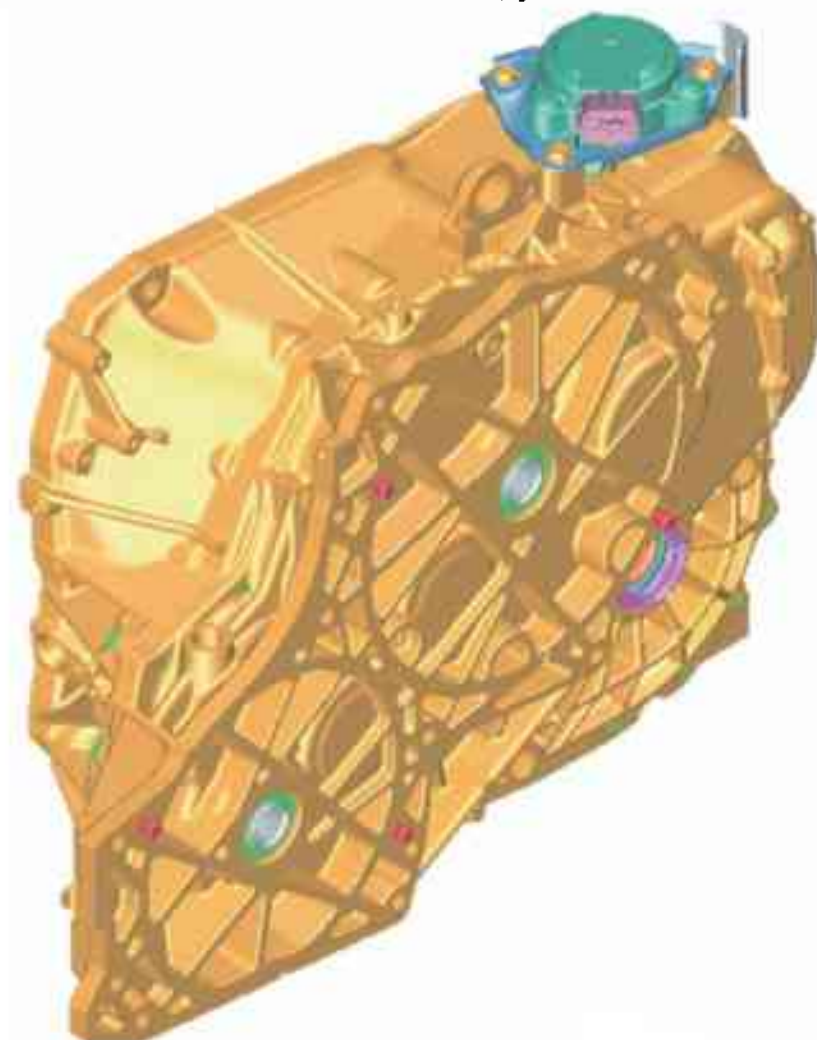


Рис. 1 Коробка передач для e-POWER

2. Цели разработки новой коробки передач

Следующие четыре цели разработки были определены и достигнуты для новой коробки передач e-POWER.

1. Общая структура должна обеспечивать компактную компоновку.
2. Технические характеристики редуктора и уровни шума, вибрации должны обеспечивать исключительную бесшумность.
3. Система смазки должна обеспечивать низкое трение и оптимальную смазку.
4. Система управления электрическим переключением передач должна обеспечивать новое ощущение от использования.

3. Обзор коробки передач и компактной конструкции.

Внешний вид трансмиссии e-POWER показан на *рис. 2*.

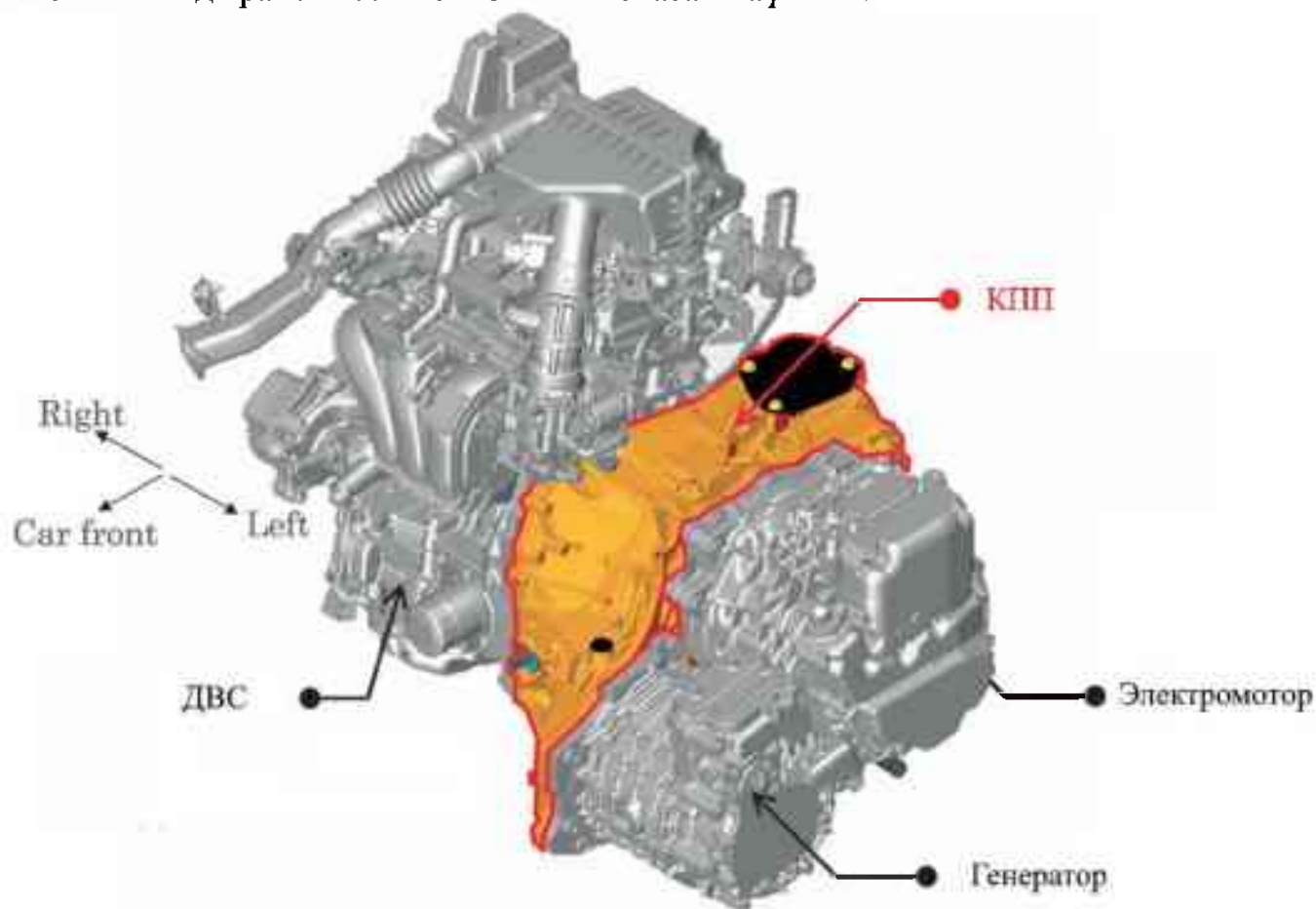
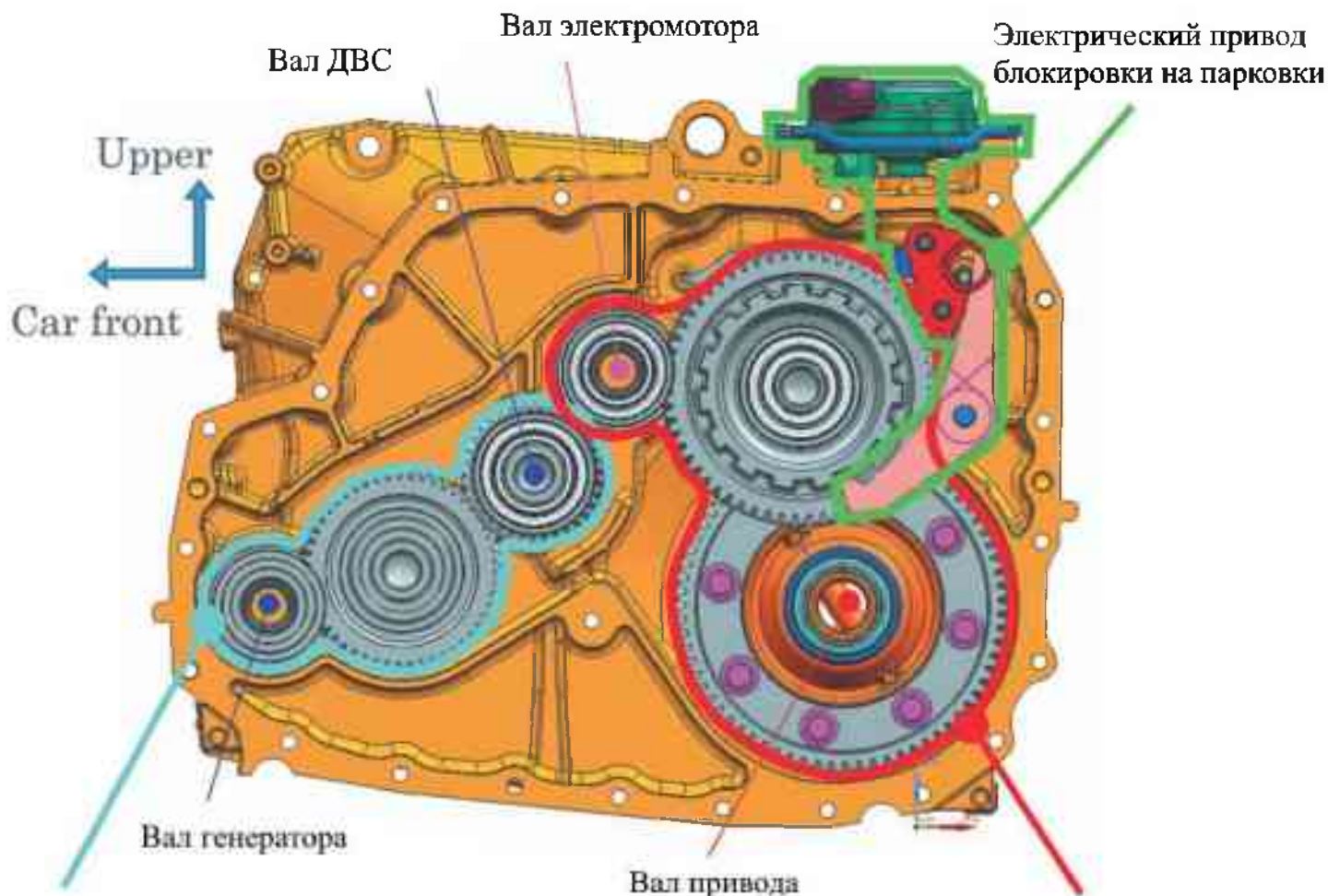


Рис. 2 Внешний вид силового агрегата e-POWER

Как показано на *рис. 3*, коробка передач состоит из трехвального двухступенчатого редуктора (передаточное число: 7,388) для передачи мощности электродвигателя на приводной вал и трехвального двухступенчатого мультипликатора (передаточное число: 0,6) для передачи мощности ДВС на генератор.



Multiplier (gear ratio: 0.6)

Редуктор (gear ratio: 7.388)

Рис. 3 Внутреннее устройство коробки передач

При разработке новой коробки передач необходимо было минимизировать ее ширину, чтобы расположить двигатель, коробку передач и моторы в один ряд в существующем моторном отсеке. Расстояние между подшипниками, было сокращено примерно на 30 мм по сравнению с редуктором, используемым на Nissan LEAF, и в качестве мультипликатора была принята промежуточная шестерня с двойным зацеплением. Эти меры сделали возможной желаемую компоновку (рис. 4).

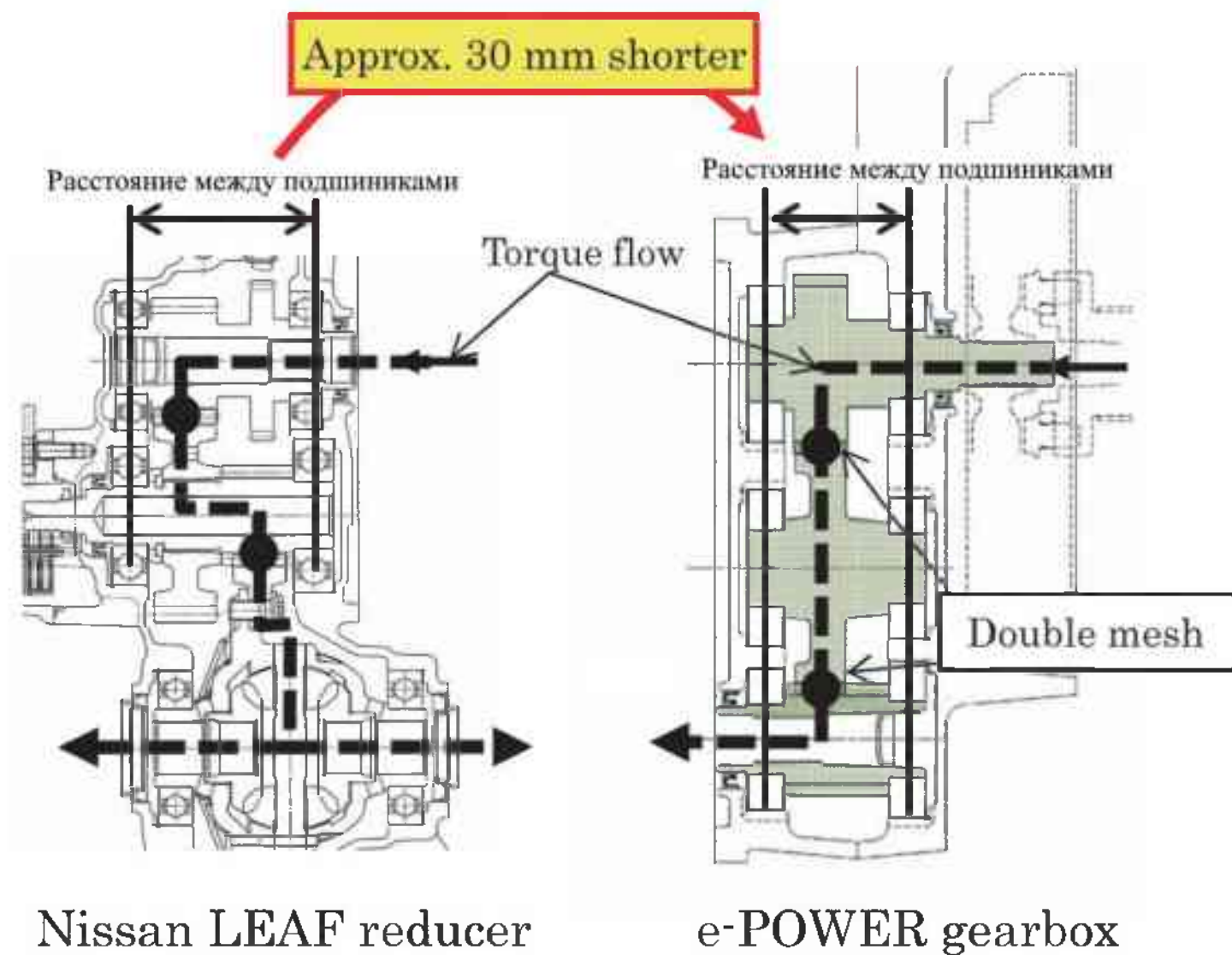


Рис. 4 Сравнение поперечных сечений зубчатых передач

4. Дизайн NVH для исключительной тишины

Чтобы обеспечить бесшумность, которая является одной из отличительных черт e-POWER, необходимо подавить шум ДВС во время выработки электроэнергии, в дополнение к подавляющему ощущению тишины во время движения на электродвигателе. Это требует подавления шума шестерен до низкого уровня. Чрезвычайно тихая коробка передач была успешно достигнута в результате применения ноу-хау в конструкции редуктора, полученного при разработке редуктора для Nissan LEAF, и эффективного использования технологии моделирования NVH. Основные характеристики редуктора и мультипликатора приведены в таб. 1 и 2 соответственно, а использованные методы объяснены ниже.

	Input	Main #1	Main #2	Final
Number of teeth	21	59	27	71
Total gear ratio	7.388			
Thickness of teeth	27.5	26.0	32.5	28.0
Outside dia.	61.9	159.6	76.9	191.0
Root circle dia.	48.8	146.3	63.6	178.1
Dia. of shaft	Φ30	Φ43	Φ35	—
Center distance (mm)	104.8		128.0	
Surface finishing	Honing	Grinding	Honing	Grinding

Таб. 1 Технические характеристики редукторов

	Input	Reduction	Output
Number of teeth	35	51	21
Total gear ratio	0.6		
Thickness of teeth	28.5	23.0	28.5
Outside dia.	82.2	115.6	51.3
Root circle dia.	71.1	104.5	40.6
Dia. of shaft	Φ32	Φ40	Φ32
Center distance (mm)	94.0		78.7
Surface finishing	Honing	Honing	Honing

Таб. 2 Технические характеристики мультипликатора

4.1 Оптимизация порядка построения

Поскольку коробка передач имеет две зубчатые передачи, шум зубчатых колес может усиливаться в тех случаях, когда их порядок зацепления мешает друг другу. Чтобы избежать этого, количество зубьев было выбрано таким образом, чтобы не возникало столкновения порядка зацепления, при сохранении требуемых передаточных чисел.

4.2 Обеспечение соотношения

Несмотря на то, что ширина коробки передач была уменьшена, максимальная ширина коробки передач была обеспечена, а характеристики коробки передач и передаточное отношение были установлены такими же, как у редуктора Nissan LEAF.

4.3 Применение финишной обработки поверхности зуба

Процесс чистовой обработки поверхности зуба был добавлен для всех поверхностей зуба после термообработки, чтобы повысить устойчивость к изменчивости шума зубчатых колес, вызванной массовым производством и ошибкой центровки, возникающей в результате уменьшения ширины зубчатого колеса. В результате были достигнуты технические характеристики коробки передач, сочетающие в себе прочность и долговечность, сопоставимую с характеристиками первичной шестерни в механической коробке передач, с бесшумностью высокоскоростной передачи *рис. 5*.

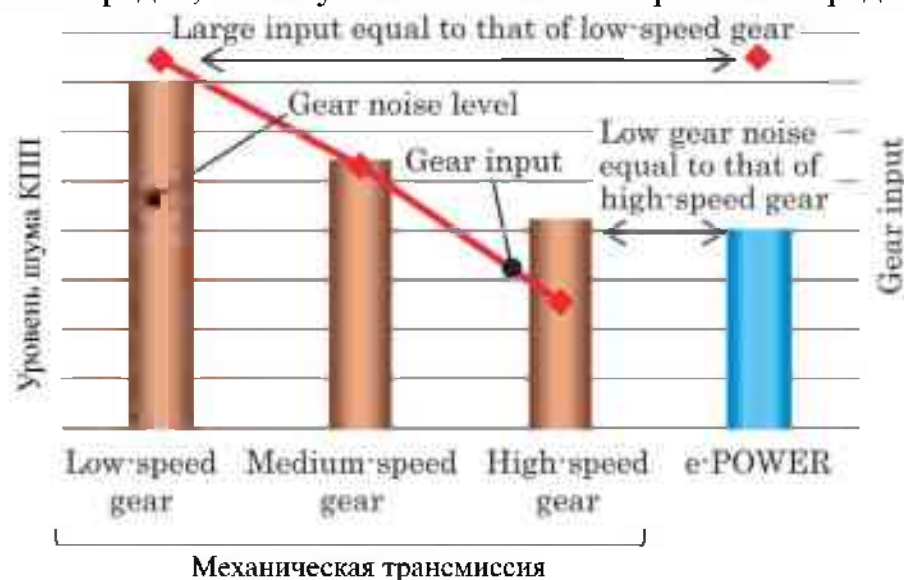


Рис. 4 Уровень шума редуктора

4.4 Шумовые характеристики силового агрегата

В результате проведения симуляции для всей трансмиссии была добавлена косынка оптимальной формы *рис. 6* для повышения жесткости соединения между ДВС и коробкой передач, а также для снижения уровня шумо-вибрационного шума самой коробки передач.

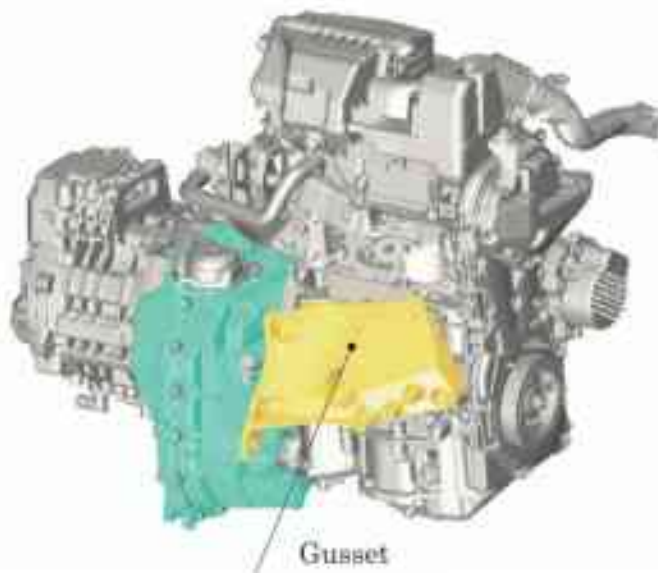


Рис. 5 Косынка для улучшения NVH

5. Низкое трение благодаря оптимальной конструкции системы смазки.

Коробка передач была разработана на основе следующей концепции системы, в которой разбрызгивание масла за счет вращения шестерен смазывает все части коробки передач.

1. Оптимальное сведение к минимуму количества масла для уменьшения потерь из-за вспенивания масла.

2. Прекращение работы масляного насоса для устранения потерь привода масляного насоса.

3. Оптимальное расположение ребер, чтобы масло надежно достигало самых высоких деталей.

4. Обеспечение смазывающей способности при совместной работе редуктора и мультипликатора во всех типах дорожных ситуаций.

5.1 Схема циркуляции масла

Масляные потоки были спроектированы на основе метода погружения, проточных каналов и метода разбрызгивания относительно компоновки каждой шестерни рис.7. Приоритет был отдан изучению трех пунктов: масляный контур 1 (часть А) для эффективного разбрызгивания масла в конечном зубчатом венце во время движения; масляный контур 2 (часть В) для эффективного перемешивания масла редуктором при выработке электроэнергии; и обеспечение проточных каналов (часть С) для циркуляции масла.

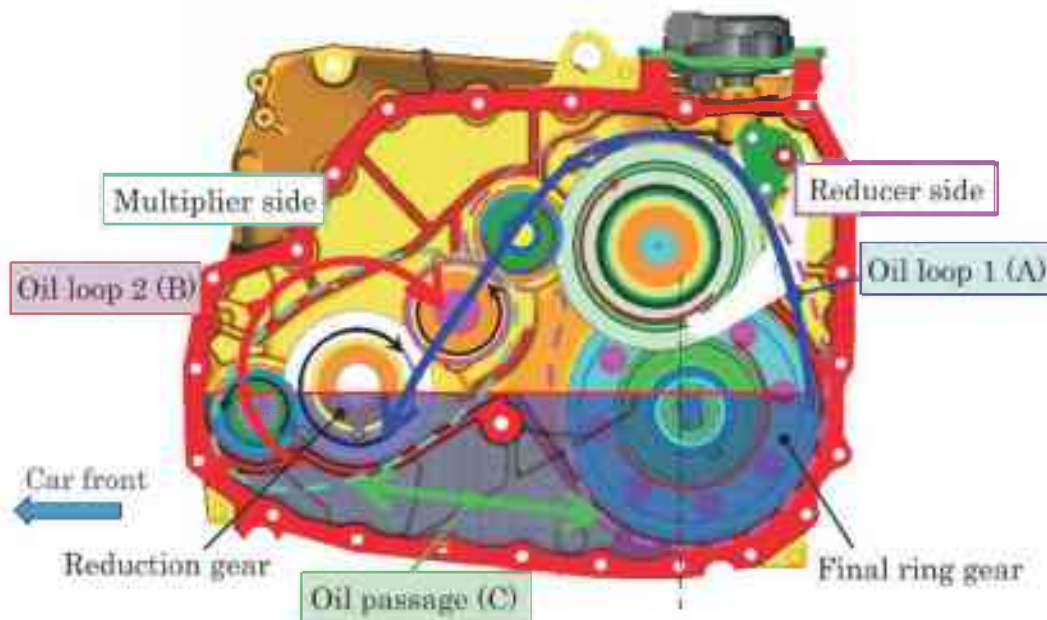


Рис. 7 Масляные потоки

Было определено размещение смазочных ребер (направляющих) для регулирования потока масла. Ребра были получены с помощью тонких ребер чугунного корпуса без добавления каких-либо дополнительных деталей рис. 8.

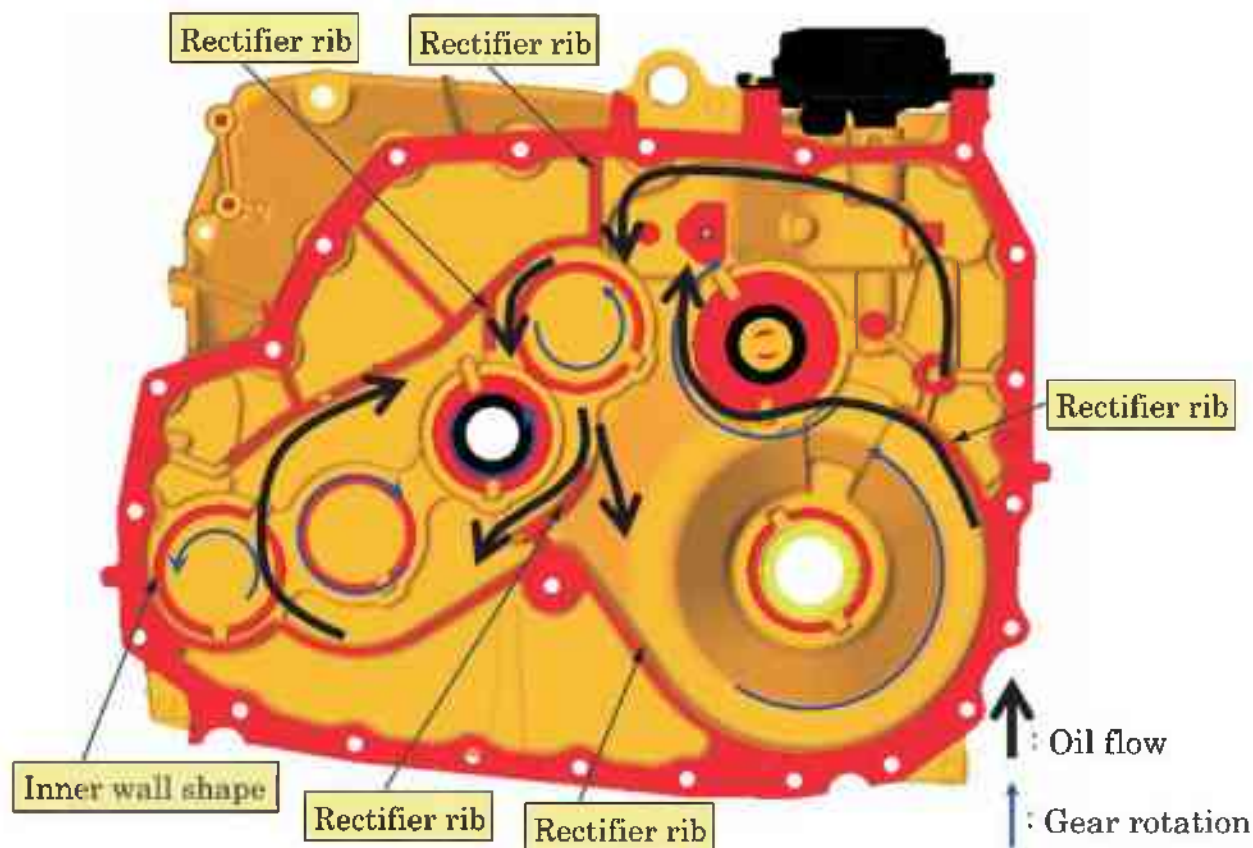


Рис. 8 Ребра для смазки

5.2 Определение приемлемого уровня масла для различных дорожных ситуаций

При проверке смазки внутри коробки передач необходимо учитывать ситуации, когда ДВС работает, когда транспортное средство находится в состоянии покоя, когда транспортное средство движется. Например, в положении транспортного средства, показанном на *рис. 9*, при движении в гору смазочное масло имеет тенденцию собираться на стороне редуктора и уменьшается вокруг шестерен мультипликатора. Были определены такие условия вождения, характерные для e-POWER, и определено минимально необходимое количество масла для обеспечения того, чтобы уровень масла был разбрызгнут шестернями в любой дорожной ситуации.

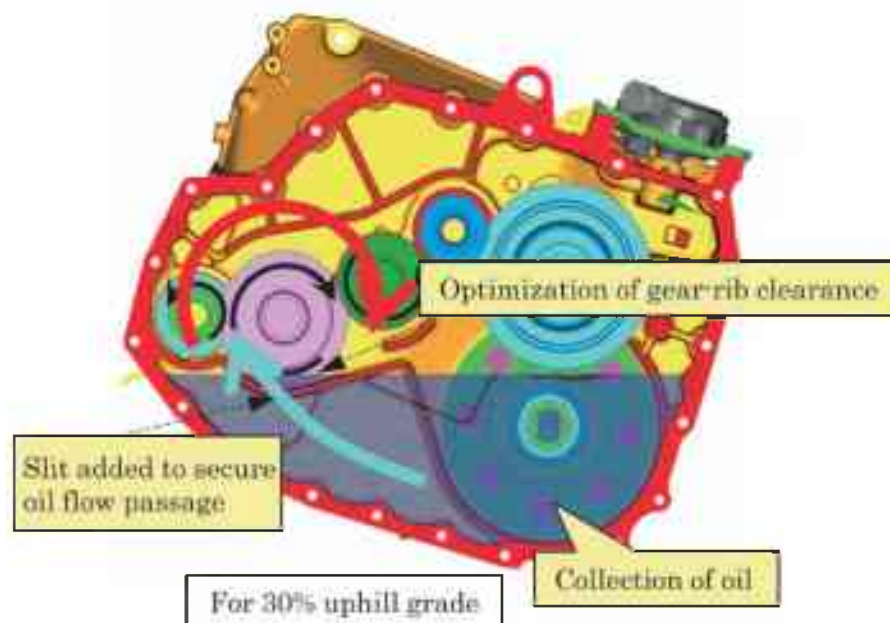


Рис. 9 Смазка при движении в гору

Это было достигнуто за счет установки подходящего зазора между шестернями и ребрами жесткости и добавления щели в верхней части ребер для фиксации масляных каналов. Эти и другие меры помогли снизить сопротивление вспениванию масла.

В результате трение в коробке передач было снижено примерно на 1% по сравнению с трением редуктора, используемого на Nissan LEAF, что способствует снижению расхода топлива *рис. 10*.

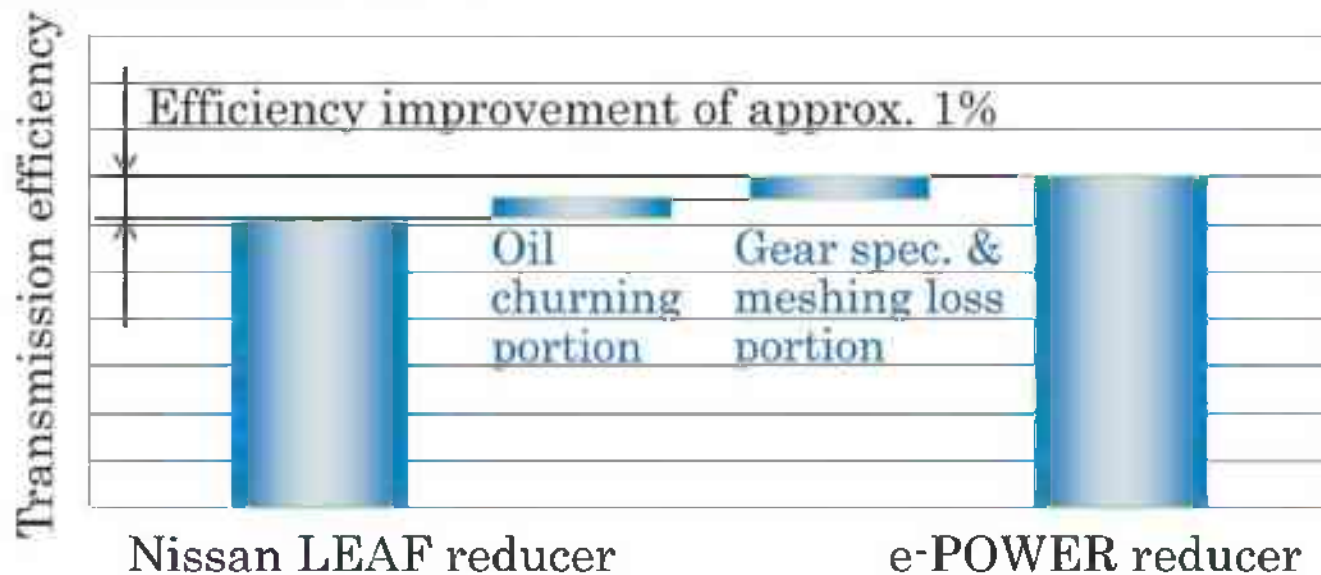


Рис. 10 Сравнение эффективности

6. Принятие системы управления переключением передач с электроприводом.

Система управления электрическим переключением, используемая на Nissan LEAF, была адаптирована для e-POWER *рис. 11*. Это электрическое управление обеспечивает новое ощущение от переключения, когда переключение осуществляется сразу же одним нажатием на рычаг. Кроме того, конструктивно это также способствует

более компактной компоновке и меньшему весу, поскольку устраняет необходимость в механическом тросе для переключения КПП. Пространство компоновки также было улучшено за счет интеграции модуля управления электрическим переключением передач с модулем управления автомобилем (VCM).

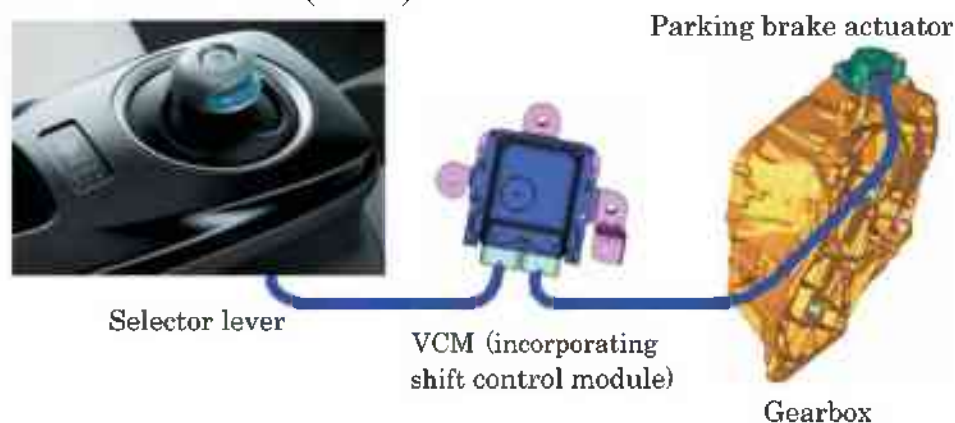


Рис. 11 Система управления электрическим переключением

7. Заключение

Следующие пункты были достигнуты благодаря разработке коробки передач e-POWER.

1. Две независимые зубчатые передачи, функционирующие как редуктор и мультипликатор, были компактно расположены между электродвигателем и ДВС.

2. NVH-характеристики, обеспечивающие превосходную бесшумность, были достигнуты за счет применения ноу-хау конструкции, полученной с коробкой передач Nissan LEAF, технологии моделирования NVH и процессов высокоточной обработки поверхности зубьев.

3. Была разработана недорогая система смазки с низкими потерями энергии, которая удовлетворяет условиям эксплуатации, характерным для e-POWER.

4. Более компактная коробка передач и новое ощущение переключения были достигнуты за счет применения электрической системы управления переключением.