

УДК 629.33.03-83; 629.34.03-83

ГИБРИДНЫЙ ПРИВОД ДЛЯ КАЛИНЫ

Л.А.Скрипко, к.т.н. / ГТУ «МАДИ»

Увеличение парка частных автомобилей и необходимость в улучшении их экологических и экономических показателей заставляют производителей искать пути применения альтернативных источников энергии и создавать на их основе иные типы приводов. Среди них известны электромобили, работающие на тяговых аккумуляторах, автомобили на топливных элементах, электромобили на солнечных батареях, перспективные, но пока экзотические автомобили, запасующие кинетическую энергию в виде сжатого воздуха и прочие. Реальную же конкуренцию традиционному автомобилю сегодня готовы составить лишь так называемые гибриды, что подтверждается их серийным производством. Сразу следует заметить, что единственным источником энергии на гибриде по-прежнему остается двигатель внутреннего сгорания (ДВС), а электрическая составляющая привода, включающая аккумуляторную батарею, электродвигатели и систему управления, призвана лишь устранить некоторые недостатки традиционного автомобиля.

Принципиально построение схемы гибридного привода имеет большое число решений. Среди них последовательные, параллельные и смешанные. В свою очередь, схемы могут содержать планетарные редукторы и традиционные коробки передач, аккумуляторные батареи и батареи конденсаторов, электродвигатели постоянного или переменного тока, работать по системе стоп-старт или содержать энергоемкую тяговую аккумуляторную батарею, обеспечивающую долговременное движение автомобиля на электротяге. Каждое решение имеет свои преимущества и недостатки, однако, конечной целью является снижение расхода топлива и выбросов вредных веществ автомобилем. Существует мнение, что гибридный привод является только промежуточным звеном в эволюции автомобиля к электромобилю и даже называют работу по созданию гибридов не имеющей смысла и тупиковой. С таким мнением можно согласиться, если бы была видна перспектива создания дешевой, легкой и энергоемкой аккумуляторной батареи или автономного источника электроэнергии на борту. Кроме того, пусть и быстрый, но все же необходимый заряд аккумулятора и создание в городе необходимой инфраструктуры делает сомнительным массовое использование электромобиля в ближайшие десятилетия. Производство же гибридного автомобиля — это уже реализованная задача.

В гибриде нет необходимости заряжать аккумулятор от внешнего источника, так как электроэнергия выра-

батывается за счет работы ДВС в паре с генератором. Аккумуляторная батарея в гибриде служит источником энергии лишь на определенных режимах движения автомобиля и, что более важно, накапливает рекуперативную энергию при торможении автомобиля. В чем же основной недостаток традиционного автомобиля и ДВС, который навел на мысль создания более дорогостоящего гибрида? Для наглядной иллюстрации обратимся к многопараметровой характеристике современного ДВС, которая показывает зависимость удельного расхода топлива от мощности ДВС, а значит от режима движения автомобиля.

Для удобства пояснения координатами характеристики выбраны момент и обороты ДВС. Как следует из рис. 1, удельные расходы топлива сильно зависят от этих параметров. Так, зона минимально возможного удельного расхода топлива (255-300 г/кВтч) находится в районе максимальной мощности ДВС. В зонах же холостого хода и низких моментов удельный расход топлива максимален и составляет 600–800 г/кВтч. Эти зоны задействуются ДВС при движении на малой скорости, на остановках и разгонах с малым ускорением. Необходимо понимать, что удельный расход топлива является неким КПД, который характеризует эффективность работы ДВС. Например, если мы измерим расход топлива автомобиля в литрах на 100 км пробега, то увидим значительную разницу при работе ДВС в экономичных зонах и в зонах с высоким удельным расходом.

Технические характеристики автомобилей подтверждают этот вывод и приводят достаточно большую разницу расхода топлива в городе, где ДВС не использует всей своей мощности, и за городом. При этом разница составляет до 50% в зависимости от класса автомобиля и мощности его ДВС. Именно поэтому при использование мощных спортивных автомобилей в городе, где сложно использовать весь потенциал ДВС, расходы топлива весьма существенны. Проанализировав многопараметровую характеристику можно также понять, почему современные автомобили оснащаются коробками передач с 6-7 ступенями. Возможность частого переключения передач позволяет при разгоне быстро получить высокий момент ДВС и работать в экономичной области. Остановимся на том, по какому принципу при движении автомобиля, задействуется тот или иной момент ДВС и от чего он зависит. Момент, развиваемый ДВС, определяется степенью нажатия на педаль акселератора, а момент сопротивления движению, подведенный (приведенный) к ДВС, – техническими параметрами автомобиля (массой, КПД и т. п.) и передаточным отношением от колес к ДВС, то есть номером передачи.

Разница в моментах ДВС и моменте сопротивления определяет интенсивность разгона. Например, на первой передаче приведенный момент сопротивления будет минимальный, а это значит, что разница между моментами ДВС и сопротивления максимальна. Как результат, и разгон автомобиля в этом случае максимален. Это подтверждается тем, что для получения максимального ускорения водители как можно дольше не переключаются на высшую передачу, то есть работают в зоне минимального приведенного момента сопротивления.

Изучив характеристику ДВС, нетрудно убедиться, что при таком стиле езды расход топлива будет намного выше, нежели при частом переключении передач. Чтобы наглядно это проиллюстрировать, промоделируем движение автомобиля с реальными техническими характеристиками и выберем в качестве образца автомобиль ВАЗ 1118 Калина. На рис. 1 приведены два варианта разгона этого автомобиля с использованием штатного ДВС и коробки передач. Моделирование осуществим в городском цикле SAE227C, который характеризуется разгоном до 48 км/ч за 18 секунд и затем движением с постоянной скоростью. Из графика хорошо видно, что

Момент ДВС, Н.м

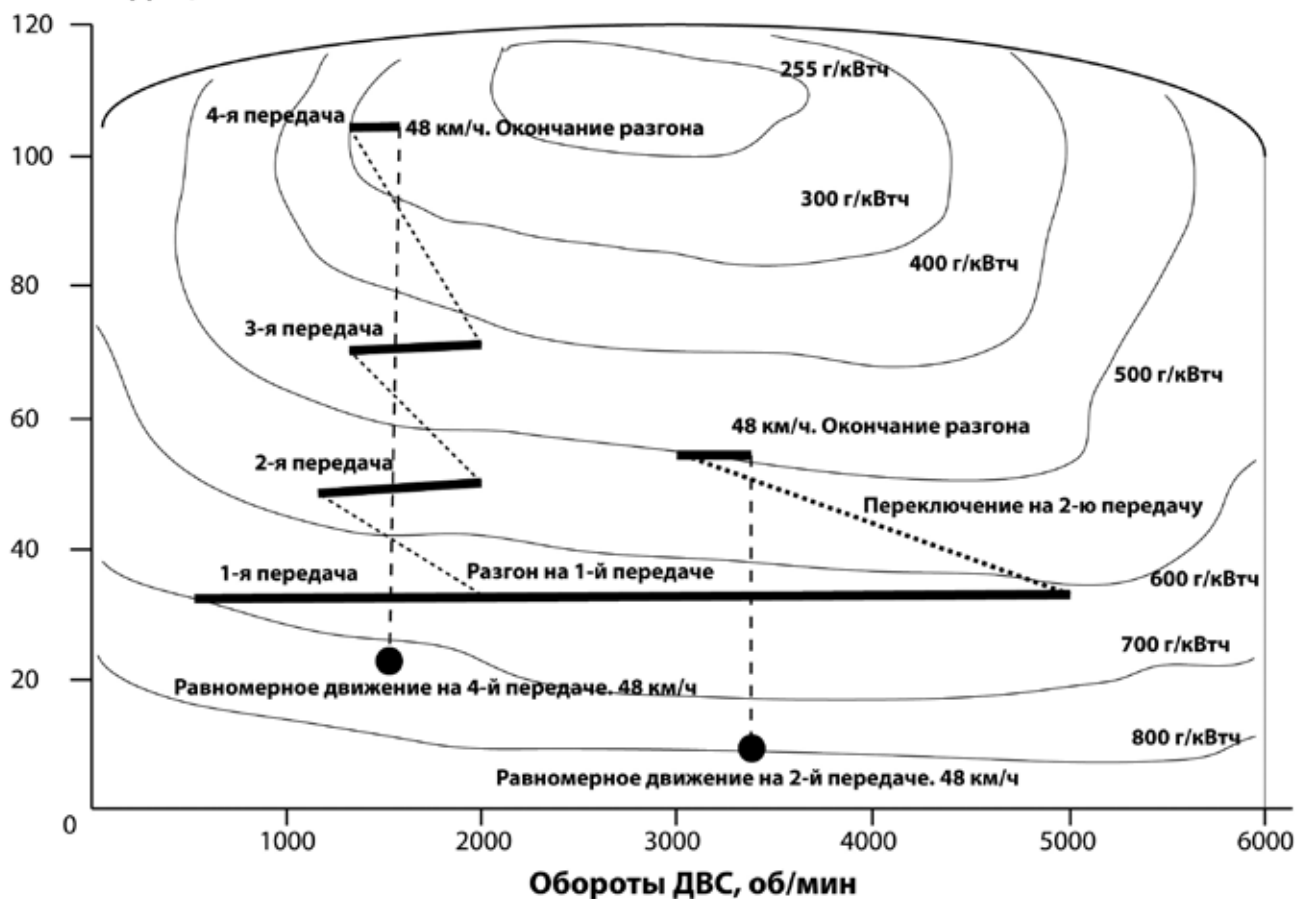


Рисунок 1. Многопараметровая характеристика ДВС ВАЗ 1118 Калина

если разгон осуществлять только на первой передаче, то на всем его протяжении момент ДВС составит около 30 Нм. Во втором случае разгон осуществлялся при переключении передач с первой по четвертую при оборотах ДВС 2000 об/мин. Приведенный момент сопротивления при этом меняется и он тем выше, чем выше номер передачи. Еще раз повторим, что интенсивность разгона зависит от разницы момента, развиваемого ДВС, и момента сопротивления. Поэтому чем более высокую передачу выбирает водитель, тем самым увеличивая момент сопротивления на ДВС, тем больший момент требуется и от ДВС.

Таким образом, повышая передачу, водитель вынужден одновременно сильнее давить на газ, иначе разгон прекратится. На характеристике видно, что разгон с большим моментом ДВС более экономичен, поэтому добиться минимального расхода топлива можно только за счет частого переключения передач. В итоге, выбирая оптимальный номер передачи и интенсивность нажатия на педаль газа, можно непосредственно влиять на расход топлива. В автомобилях, оборудованных автоматическими коробками передач, этот выбор происходит независимо от водителя, а алгоритм переключения заложен при проектировании автомобиля. Водитель может лишь выбирать между экономичным и спортивным режимами, жертвуя в первом случае динамикой, а в последнем — расходом топлива.

Описанные выше рассуждения свидетельствуют, что сократив время работы ДВС в зоне высоких удельных расходов топлива, то есть при низких моментах, можно значительно повысить экономичность автомобиля. То есть идеальным вариантом было бы всегда работать с моментами ДВС, близкими к максимальным значениям. Итак, возникает идея использовать в неэкономичных областях ДВС альтернативный источник энергии, то есть решить проблему путем создания гибридного привода, который исключит основной недостаток традиционного автомобиля и ДВС. Самым доступным вариантом для этой цели сегодня признан электропривод, так как он достаточно хорошо изучен и уже созданы все компоненты, используемые в его составе.

При конструировании гибридного привода возникает вопрос как в расчете самих технических параметров, так и в создании алгоритма управления ДВС, аккумулятора и электродвигателей. Комбинируя варианты совместной работы этих компонентов, можно найти большое множество решений. Вопрос заключается в оптимальном выборе технических характеристик и системы управления, а именно: какой привод осуществляет разгон автомобиля и обеспечивает равномерное движение, сколько электродвигателей использовать и на каких режимах, какова должна быть минимальная емкость аккумулятора и максимальная мощность ДВС, на какие напряжения следует рассчитывать систему

и многое другое. Отчеты зарубежных производителей, например, упоминают, что движение до скорости 20-25 км/ч в гибридах осуществляется за счет электротяги, а затем за счет работы ДВС или комбинации приводов. Логичным объяснением этого является то, что этот алгоритм позволяет начать использование ДВС сразу в зоне с высокими моментами и избежать неэкономичных зон.

В настоящей статье приводится одно из решений схемы гибридного привода, особенностью которого является применение планетарного редуктора и батареи конденсаторов. Подобная схема реализована на автомобиле Тойота Приус, однако вместо аккумуляторной батареи предлагается использовать конденсатор, специально разработанный в России для гибридного привода. Расчет проводился для автомобиля Калина с использованием его стандартных механических узлов и параметров. Схема содержит ДВС, планетарный механизм, два электродвигателя и батарею конденсаторов (рис. 2).

Использование конденсаторов вместо привычных аккумуляторных батарей мотивировано их высокой удельной мощностью и высоким КПД при заряде и разряде. Эти характеристики позволяют эффективно использовать конденсаторы как при разгоне автомобиля, так и при рекуперативном торможении. Известно, что существенным недостатком конденсаторов является их низкая удельная энергоемкость. Так, конденсаторы, рекомендуемые для гибридных схем, имеют удельную энергию 1,5 Втч/кг, что в 20 раз ниже энергоемкости кислотных батарей и в 60 раз ниже литий-ионных. Этот недостаток ограничивает применение конденсаторов в электроприводе. Например, расстояние, преодолеваемое Калиной с гибридным приводом при питании электродвигателя только от конденсаторов, составляет 2-4 км.

Учитывая ограниченный лимит по емкости конденсатора, алгоритм работы схемы построен таким образом, чтобы использовать конденсатор только в качестве буфера энергии — заряжаясь от генератора при остановке и за счет рекуперативного торможения, он отдает ровно такое же количество энергии при разгоне. Этот режим работы конденсатора принято называть работой с «нулевым» балансом энергии. Причем емкости конденсаторов достаточно для разгона автомобиля до определенной скорости, а затем движение осуществляется традиционно с использованием мощности штатного ДВС. Поясним алгоритм работы схемы, используя основные параметры городского графика движения: стоянка, разгон, равномерное движение, торможение (или выбег и торможение). Рассмотрим отдельно алгоритмы работы схемы, приведенной на рис. 2, в каждом из режимов.

При повороте ключа зажигания, система управления приводит во вращение ротор электрической машины



М1. За счет того, что «корона» планетарного редуктора нагружена моментом сопротивления качению, ротор М1 обеспечивает вращение «водила» и пуск ДВС. После пуска, мощность работающего ДВС через «водило» передается на «солнце» и далее на ротор М1, что позволяет заряжать конденсатор. Максимальный момент, который может развивать ДВС в это время, определяется моментом сопротивления качению (момент на «короне»), который, в свою очередь, зависит от массы автомобиля и наличия дополнительной тормозной системы. При этом мощность ДВС определяется степенью заряженности конденсатора. Так, при полном заряде конденсатора, ДВС и М1 работают на холостом ходу. Если же напряжение конденсатора ниже заданного уровня, ДВС работает с максимально допустимым моментом. Разгон автомобиля происходит за счет работы электродвигателя М2. Передача момента с ротора М2 на колеса приводит к разгону автомобиля и потреблению энергии конденсатора. Увеличение частоты вращения колес одновременно увеличивает частоту вращения «короны». Так как частота вращения ДВС определена на уровне 750 об/мин, то разгон «короны» приводит к снижению частоты вращения «солнца». Наглядной иллюстрацией этого является рисунок 3, где показаны частоты вращения «короны», «солнца» и «водила» при разгоне.

Как следует из рисунка, разгон автомобиля приводит к росту скорости вращения «короны» и, в конце концов, к обгону «коронной» «водило». Это приводит к замедлению и, в конце концов, к остановке «солнца». Если продолжать разгон автомобиля в таком режиме, то «солнце» начало бы вращаться в обратную сторону. Используя в математической модели гибрида параметры Калины, получаем, что «солнце» перестает вращаться при скорости порядка 30 км/ч. В этот момент необходимо заблокировать «солнце» муфтой В1, что не приведет к ощутимому удару или толчку в трансмиссии, так

как «солнце» уже остановилось естественным образом. То есть для водителя процесс блокирования «солнца» останется незаметным. Далее система управления увеличивает момент ДВС, а момент электродвигателя М2 снижает до нуля. То есть при 30 км/ч происходит переключение мощности с электротяги на тягу от ДВС. Дальнейший разгон происходит, как и в традиционном автомобиле, за счет работы ДВС. Лишь в случае задания водителем максимального ускорения, М2 продолжает помогать ДВС, передавая мощность на колеса.

Описанный алгоритм реализовывает включение ДВС уже в зоне высоких моментов и тем самым гарантирует избежание неэкономичных областей работы. Можно говорить, что за счет электропривода включение ДВС соответствует примерно 3-й передаче традиционной КПП. При достижении скорости равномерного движения необходимая мощность по-прежнему обеспечивается ДВС, а рекуперативное торможение — за счет работы М2 в режиме генератора и накопления энергии в конденсаторе.

Моделирование движения автомобиля показало возможность использования предложенных параметров гибрида для обеспечения движения автомобиля и обеспечения «нулевого» баланса энергии. Конденсатор при этом не разрядился полностью при разгоне, а накопленная энергия не достигла максимума в каком-либо из режимов. Расчеты показывают, что еще одним существенным преимуществом гибридного привода и, в частности, применения конденсаторов, является возможность эффективного сохранения энергии при торможении автомобиля. Не нужно объяснять, что энергия, накопленная при торможении, в конечном итоге позволяет сократить расход бензина при разгоне автомобиля. Рассчитано, что в данной схеме при КПД рекуперации более 60% возможно полное отключение ДВС на стоянке, так как энергия рекуперации компенсирует разряд

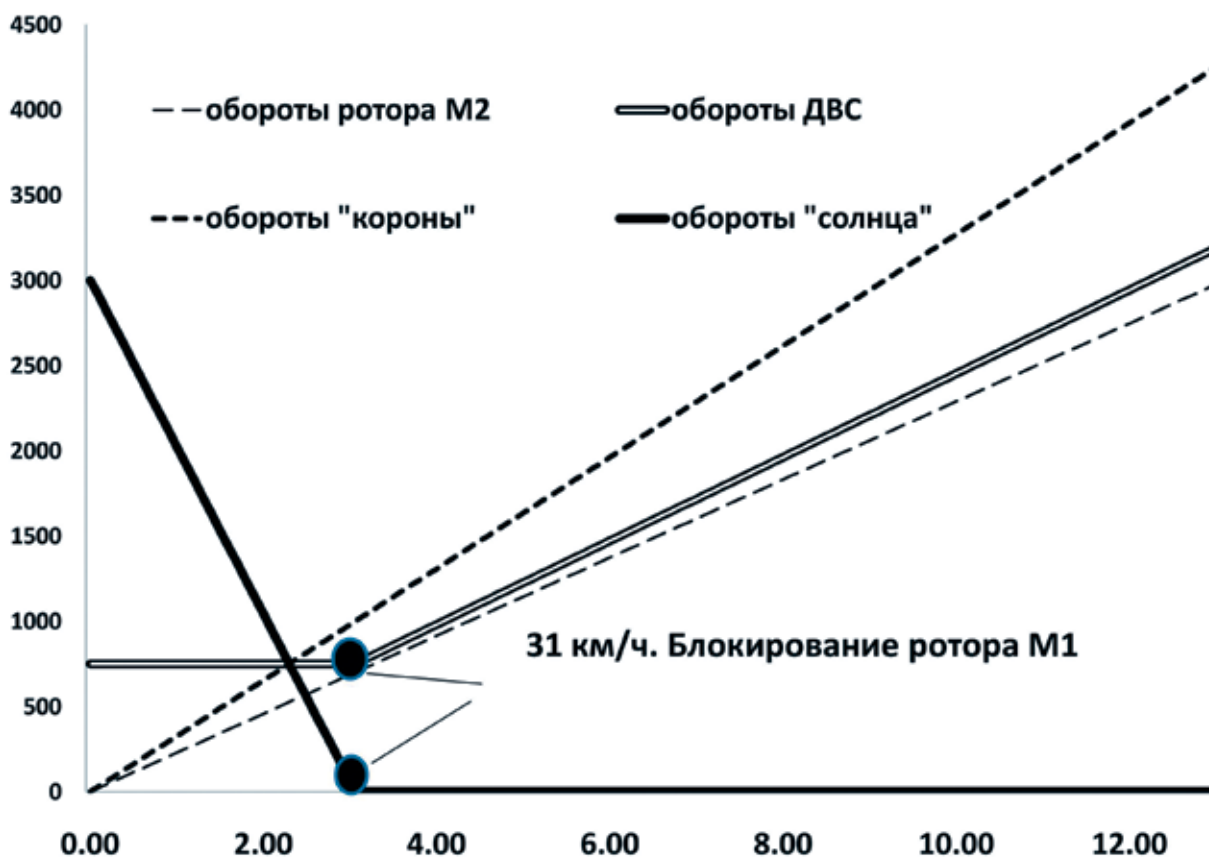


Рисунок 3. Обороты шестерен планетарного редуктора при разгоне автомобиля

конденсатора при разгоне. Запас же кинетической энергии, которая потом преобразуется в рекуперативную, обеспечивается лишь за счет энергии, отданной ДВС на разгоне. Необходимо также учесть, что при создании гибрида и в частности по предложенной схеме, выключение ДВС на остановках не совсем желательно. Это связано с высокой степенью износа ДВС при частом пуске. С другой стороны, работа ДВС в режиме холостого хода нежелательна из-за неэффективного расхода топлива. Поэтому при остановках автомобиля, если это позволяет степень заряженности конденсатора, предлагается принудительно вращать вал ДВС с помощью M1, которая переводится в режим двигателя. Хотя это несколько снижает эффективность схемы, но увеличивает ее надежность.

Еще раз можно отметить, что высокий КПД заряда и разряда современных конденсаторов позволяет использовать последние вместо аккумуляторных батарей и является их главным преимуществом. Кроме того, емкость конденсатора не зависит от температуры и практически не снижается от времени работы, что делает их применимыми на весь срок службы автомобиля. Подводя итоги расчетов, хочется еще раз подчеркнуть основные достоинства предлагаемой схемы. Во-первых, она

достаточно проста для реализации. Во-вторых, снижение расхода топлива ожидается за счет работы ДВС в зоне высокой экономичности, но что самое важное — конденсаторы позволяют запастись энергиею торможения с очень высоким КПД. Если в обычном автомобиле эта энергия сжигается в тормозных колодках, в гибриде она эффективно сохраняется. Нетрудно убедиться, что использование гибрида в городе, при высокой периодичности разгонов и торможений во много раз более эффективно эксплуатации обычного автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров К.М. Перспективы развития автомобилей с комбинированными энергетическими установками / В.Е. Ютт, Е.И. Сурин, К.М. Сидоров // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2009. — № 2. — С. 2 — 5.