

УДК 629.3+504

ОСОБЕННОСТИ КОНВЕРСИИ АВТОМОБИЛЯ С ДВС В ГИБРИДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ

Хаким Мауш, аспирант, В.Я. Двадненко, доц., к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Изложены подходы к решению задачи снижения стоимости подзаряжаемого гибридного автомобиля путем конверсии автомобиля с ДВС. Рассмотрены принципы функционирования и компоновки гибридной силовой установки малобюджетного подзаряжаемого гибридного автомобиля.

Ключевые слова: подзаряжаемый гибридный автомобиль, гибридная силовая установка, вентильный электрический двигатель, аккумуляторные батареи, система управления.

ОСОБЛИВОСТІ КОНВЕРСІЇ АВТОМОБІЛЯ З ДВЗ В ГІБРИДНИЙ АВТОМОБІЛЬ

Хаким Мауш, аспірант, В.Я Двадненко, доц., к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Викладено підходи до вирішення задачі зниження вартості гібридного автомобіля, що підзаряджується, а також принципи функціонування і компоновка гібридної силової установки малобюджетного гібридного автомобіля.

Ключові слова: гібридний автомобіль, що підзаряджується, гібридна силова установка, вентильний електричний двигун, акумуляторна батарея, система управління.

FEATURES CONVERSION CAR WITH THE ENGINE IN A HYBRID CAR

Hakim Maouche, post graduate student,
V. Dvadenko, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU

Abstract. Approachs to decision of task plug-in hybrid car cost lowering and also principles of functioning and arrangement of hybrid power setting of littlebudgetary plug-in hybrid car.

Key words: plug-in hybrid car, hybrid power setting, brushless electric motor, storage batteries, control system.

Введение

В настоящее время для улучшения экономических и экологических характеристик широко применяют в автомобилях тяговый электропривод. С точки зрения экологии очевидно, что электропривод позволяет достигнуть хороших результатов. Однако с точки зрения экономики не все так просто. Автомобили с электроприводом, т.е. электромобили, гибридные автомобили и подзаряжаемые гибридные автомобили, имеют более

дешевую стоимость километра пробега, одновременно имеют и существенно более высокую первоначальную стоимость по сравнению со стоимостью эквивалентного автомобиля с ДВС. В результате, при эксплуатации, более дешевая стоимость километра пробега может не покрыть разницу в первоначальной стоимости между автомобилем с электроприводом и обычным автомобилем. Это обстоятельство снижает спрос и замедляет процесс внедрения тягового электропривода в автомобилестроении. Улучшить

ситуацию можно, если снизить стоимость автомобиля с электроприводом. Один из путей такого снижения – это путь конверсии обычного автомобиля в автомобиль с электроприводом. Малый расход углеводородного топлива и лучшие экологические параметры при эксплуатации в городских условиях можно получить, если значительную часть пути, связанную с неэкономичными режимами работы ДВС, такой автомобиль будет проходить на электроприводе, за счёт дешевой энергии взятой из электрической сети при зарядке тягового аккумулятора. Эта энергия существенно дешевле энергии полученной из бензина, особенно если зарядка от сети осуществляется в ночное время. В этом случае необходима конверсия обычного автомобиля в подзаряжаемый гибридный автомобиль, который может иметь расход бензина в несколько раз меньший по сравнению с обычным автомобилем. Варианты конверсии автомобиля с ДВС в электромобиль или в обычный гибридный автомобиль на наш взгляд окажутся и дороже, и не так привлекательны для пользователя. Действительно, электромобиль требует дорогие комплектующие: тяговый аккумулятор большой емкости и достаточно мощный электродвигатель. При этом у него пробег на одной зарядке меньше, а время зарядки больше, чем пробег между заправками и время заправки соответственно у обычного автомобиля. Это делает электромобиль неконкурентоспособным в глазах большинства потребителей. Конверсия в гибридный автомобиль с энергией только из углеводородного топлива не может обеспечить существенного снижения расхода бензина и поэтому не является привлекательной.

Анализ литературы

В последние годы появилось много работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных гибридным автомобилям. Обзор таких публикаций можно найти в [1]. В работе [2] проведен анализ причин, не позволяющих пока подзаряжаемым гибридным автомобилям и электромобилям занять достойное место на автомобильном рынке. Одной из основных причин названа высокая стоимость гибридных, подзаряжаемых гибридных автомобилей и электромобилей. В работе [3] приведен более сложный критерий, учитывающий стоимость 1 км пробега, что делает подзаряжаемые гибридные автомобили несколько более привлекательными,

но также отмечена слишком высокая первоначальная стоимость таких автомобилей.

Цель работы

Цель работы – выбор варианта конверсии обычного автомобиля в подзаряжаемый гибридный, который позволит обеспечить относительно невысокую стоимость такого автомобиля, малый расход топлива, улучшенную экологическую безопасность и простое управление в городских условиях эксплуатации.

Основные этапы конверсии автомобиля

Для достижения поставленной цели рассмотрим основные пути снижения цены наиболее дорогостоящих составляющих подзаряжаемого гибридного автомобиля. Это собственно автомобиль, включающий все необходимые узлы и системы (кузов, ДВС, трансмиссию и т.д.), тяговая аккумуляторная батарея, электродвигатель, тяговый инвертор, электронная система управления.

Для подзаряжаемого гибридного автомобиля в качестве базового имеет смысл взять недорогой автомобиль с механической коробкой передач (МКПП). Под подзаряжаемым гибридным автомобилем мы понимаем автомобиль, в котором, как правило, старт с места и движение на малой скорости (до 30-40 км/час) производится на электроприводе за счет энергии тяговой аккумуляторной батареи, и только на высокой скорости движение автомобиля производится с помощью ДВС. ДВС, как правило, не работает на холостом ходу и не работает, когда автомобиль движется с помощью электропривода. Низкую стоимость подзаряжаемого гибридного автомобиля, мы считаем, можно достигнуть, если сохранить возможность использования его и как обычного автомобиля с МКПП, без электропривода. В этом случае можно использовать относительно маломощный электропривод. Это в свою очередь позволит не только снизить стоимость электропривода, но и применить более дешевый тяговый аккумулятор с невысокой допустимой мощностью разряда и относительно небольшим запасом электроэнергии. При этом меньше окажется и вес автомобиля за счет меньшего веса тягового электрооборудования, следовательно, меньшим будет и удельный расход энергии таким автомобилем. Проблемы, свя-

занные с малой мощностью электропривода и малой запасенной энергией в тяговом аккумуляторе в таком автомобиле вполне преодолимы. В случае необходимости преодолеть крутой подъем, рыхлый песок или снег (что требуется сравнительно редко) можно воспользоваться ДВС и режимом обычного автомобиля. Динамика разгона на таком сравнительно маломощном электроприводе в подавляющем большинстве случаев оказывается вполне достаточной в городском движении. Это обусловлено тем, что при старте с места крутящий момент электропривода принимает максимальное значение с нулевых оборотов и действует непрерывно, в то время как другие участники движения на обычных автомобилях, как правило, не реализуют при старте полностью мощность ДВС и, кроме того, теряют время на переключение передач. Кроме того в городских условиях в плотном потоке обычно и не требуется высокой динамики разгона, поскольку ее определяют автомобили с наименьшими значениями ускорения. В случае необходимости обеспечить при старте максимальное ускорение в таком гибридном автомобиле достаточно переходить с электропривода на движение с использованием ДВС при сравнительно малой скорости автомобиля и производить дальнейший разгон с переключением передач, раскручивая ДВС до высоких оборотов.

Несмотря на высокую стоимость литий-ионных тяговых аккумуляторов, фактически они являются лучшим типом аккумуляторов для подзаряжаемого гибридного автомобиля минимальной стоимости. Обусловлено это совокупностью их параметров, прежде всего большой удельной энергией и мощностью заряда и разряда, большим числом циклов заряд-разряд, допустимостью глубокого разряда, широким диапазоном рабочих температур и т.д. Запасенная энергия тягового аккумулятора подзаряжаемого гибридного автомобиля определяет максимальный дневной пробег автомобиля в гибридном режиме, поскольку основным источником энергии ТАБ является зарядка от сети и вспомогательным источником - режим рекуперации. После того, как запасенная энергия будет израсходована, автомобиль остается полноценным транспортным средством и может продолжить движение на ДВС в режиме обычного автомобиля. Зарядка ТАБ от энергии ДВС в таком автомобиле, как правило, не целесообразна, поскольку в этом случае расход бензина

на километр пути окажется сопоставим или большим, чем при движении в режиме обычного автомобиля. Связано это с потерями при преобразованиях механической энергии в электрическую и наоборот. Исключением может быть движение в заторах, в этом случае, из-за частых остановок, малых ускорений и малой скорости расход электроэнергии предельно малый, поэтому вполне для такого движения можно использовать электроэнергию, выработанную с помощью ДВС. Следовательно, учитывая высокую стоимость литий-ионных аккумуляторов, необходимо выбрать компромиссное значение емкости ТАБ, достаточной для среднестатистического дневного пробега в гибридном режиме. Если дневной пробег (пробег до очередной подзарядки) окажется по каким либо причинам большим, то тогда подзаряжаемый гибридный автомобиль может эксплуатироваться как обычный автомобиль только на ДВС и в этом режиме не будет иметь малого расхода топлива. Если окажется в суммарном пробеге подзаряжаемого гибридного автомобиля пробег в режиме обычного автомобиля сравнительно небольшим, малым будет и суммарный расход углеводородного топлива. Возможность пользоваться автомобилем, как в гибридном, так и в обычном режиме, а также в режиме электромобиля является фактором, повышающим надежность автомобиля.

В большинстве современных гибридных автомобилей применяют вентильные электродвигатели (ВЭД) на основе синхронных электрических машин, поскольку они хорошо работают в качестве тяговых, имеют наибольший к.п.д. и наименьшие вес и габариты, а также хорошо подходят для рекуперативного торможения. Синхронные электрические машины бывают с возбуждением от постоянных магнитов и с электромагнитным возбуждением. Обычно разрабатывают ВЭД на основе синхронной электрической машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами на роторе, такие ВЭД имеют более высокий к.п.д. и лучшие электрические характеристики. Однако такие электрические машины имеют высокую стоимость. Относительно недорогими и широко распространенными являются синхронные электрические машины с электромагнитным возбуждением, поскольку они применяются в качестве генераторов переменного тока, в том числе и в качестве автомобильных генераторов. Учитывая требование невысокой стоимости ав-

томобилей, мы выбрали для изготовления ВЭД дешевую синхронную электрическую машину с электромагнитным возбуждением (автомобильный генератор Г-290). Несмотря на несколько худшие значения к.п.д. ВЭД на основе синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением имеет и ряд важных преимуществ на наш взгляд компенсирующих снижение к.п.д. Для реализации этих преимуществ нужны соответствующие схемотехнические и программные решения, которые были реализованы как в электронном блоке управления ВЭД, так и в системе управления гибридным автомобилем в целом. Рассмотрим эти преимущества. При движении в плотном потоке, характерном для современного городского движения, водитель вынужден часто нажимать и отпускать педаль акселератора, приспособившись к движению транспортного потока. В режиме наката в отличие от ВЭД с постоянными магнитами на роторе, ВЭД с электромагнитным возбуждением имеет во много раз меньший тормозной момент в обесточенном состоянии (когда педаль акселератора отпущена, обесточена также обмотка возбуждения). Уменьшение тормозного момента, в связи с отсутствием магнитных потерь в ВЭД с электромагнитным возбуждением улучшает накат гибридного автомобиля при отпущенной педали акселератора и повышает эффективность использования запасенной кинетической и потенциальной энергий движущегося автомобиля. Свойство электропривода увеличивать момент при увеличении нагрузки во всем диапазоне оборотов позволяет, в отличие от ДВС, не применять коробку переключения передач. Однако в случае применения ВЭД с постоянными магнитами на роторе проявляется недостаток: ограниченные максимальные обороты при фиксированном напряжении питания. Для преодоления этого недостатка в гибридных автомобилях (Toyota Prius, Lexus RX400h) приходится устанавливать повышающий преобразователь постоянного напряжения, что удорожает силовую электронику или даже ставить вспомогательную двухступенчатую коробку передач (Lexus RX400h). Применение синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением, позволяет ввести двухзонное регулирование и решить проблему повышения максимальных оборотов без повышения питающего напряжения. Это достигнуто путем незначительного усложнения системы управления током обмотки возбуждения

ВЭД, в основном в части программного обеспечения, что мало сказывается на себестоимости гибридного автомобиля.

Кроме электронного блока управления ВЭД, необходимы также электронные блоки системы управления гибридным автомобилем, которые должны обеспечивать не только тяговый и генераторные режимы ВЭД, но и соответствующие условия работы тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ), в том числе в процессе рекуперации при торможении [4]. Режим рекуперации включается вместе с включением стоп-сигнала. Это включение происходит, как только педаль тормоза отходит от упора, поэтому рекуперация происходит не только при срабатывании тормозной системы, но и просто при отведении педали тормоза от упора, когда тормозная система еще не работает. В последнем случае происходит подтормаживание электродвигателем в режиме генератора, сходное с тем, которое имеет место при принудительном холостом ходе ДВС. В случае, когда ТАБ полностью заряжена, ВЭД в режиме генератора может быть нагружен на подогреватель охлаждающей жидкости ДВС, что поддерживает температурный режим ДВС и позволяет уменьшить нагрев тормозной системы [2]. Поскольку гибридный автомобиль использует интеллектуальное зарядное устройство, он может постоянно на стоянке быть подключенным к электрической сети. Это позволит ввести автоматический предпусковой подогрев от сети охлаждающей жидкости в ДВС к моменту выезда, либо с помощью таймера, либо путем передачи данных по сотовой сети. Это дополнительно снизит расход топлива и позволит зимой включать отопитель салона сразу после выезда.

Некоторые результаты экспериментальных исследований

Исследования проводились на гибридном автомобиле, созданном на базе автомобиля «Ланос-пикап» с двигателем внутреннего сгорания мощностью 52 кВт от автомобиля «Сенс».

В качестве тягового электропривода использовался ВЭД, изготовленный на основе автомобильного генератора Г-290. Номинальная мощность электродвигателя составила 7 кВт. Максимальная мощность – 15 кВт.

Система управления силовой установкой гибридного автомобиля обеспечивала закон управления, который упрощённо может быть описан следующим образом: старт с места, начало движения и разгон до скорости 30÷40 км/час, осуществляемые при помощи электротяги при наличии достаточного запаса энергии в ТАБ; движение при скорости большей 30÷40 км/час, либо при недостаточном запасе энергии в ТАБ, осуществляемое при помощи ДВС; в процессе торможения система управления стремилась к обеспечению рекуперации излишков кинетической и потенциальной энергии автомобиля, осуществляя подзарядку ТАБ. При недостатке электромагнитного тормозного момента ВЭД подключается гидравлическая система торможения автомобиля.

В процессе испытаний отмечалось удобство и простота вождения автомобиля, особенно при движении в городских пробках. Переучивания водителя для управления гибридным автомобилем не требуется.

Расход бензина в городском цикле движения в гибридном режиме уменьшился примерно в три раза по сравнению с движением без использования электропривода и составил около 4 литров на 100 км. При этом полного заряда тяговых литий-ионных аккумуляторных батарей (16 элементов WB-LYP90AH) достаточно для пробега по городу ориентировочно 100÷120 км. Стоимость электроэнергии приблизительно 0,07 грн/км. При движении в заторах расход топлива уменьшается, так как ДВС не работает, а расход электроэнергии заметно не возрастает, поскольку в этом режиме малы ускорения автомобиля и мал потребляемый ток. Удобство управления автомобилем улучшается, поскольку для движения в заторах на электротяге достаточно пользоваться только педалями акселератора и тормоза.

Пробег в режиме электромобиля составляет около 30 км. Пробег в режиме бензинового автомобиля – примерно соответствует пробегу базового автомобиля.

Время полной зарядки литий-ионной аккумуляторной батареи от бытовой электрической сети – 4÷6 ч.

Выводы

Применение предложенных принципов функционирования подзаряжаемого гибридного автомобиля, а также разработанных узлов и систем, позволяет не только улучшить его экономичность и экологическую безопасность, но и увеличить его ресурс и надежность при минимальном увеличении стоимости.

Использование для движения автомобиля электропривода позволяет его безопасно эксплуатировать внутри производственных помещений (склады, крупные магазины, заводские цеха и т.д.).

Литература

1. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнатов, А.В. Колесніков; під ред. О.В. Бажинова – Харків: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
2. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двадненко В.Я.]. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
3. Шмелёв Е.Н. Экологический транспорт в России – зачем? // Е.Н. Шмелёв // 75-я Международная научно-техническая конференция ААИ «Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками». Сборник материалов. – С. 6 – 15, 14.11 – 15.11.2011 – г. Гольяты, Россия – 2011.
4. Бажинов А.В. Система управления гибридной силовой установки с тяговым электроприводом на базе вентильного двигателя с электромагнитным возбуждением / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – 2010. – №7 (149). – С.61 – 66.

Рецензент: В.А. Богомолов, профессор, д.т.н. ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2013 г.