

УДК 629.3+504

О.П.Смирнов, В.Я.Двадненко, А.В.Колесніков

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

СХЕМНІ РІШЕННЯ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ НА ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛІ

В роботі розглянуто питання створення гібридної силової установки на базі легкового автомобіля з механічною коробкою передач. Проведено теоретичне та практичне дослідження тягових режимів роботи електричного двигуна у складі гібридної силової установки автомобіля. Гібридний автомобіль, гібридна силова установка, електричний двигун, акумуляторні батареї, система керування, перетворювач напруги.

Ключові слова: *гібридна силова установка, електричний двигун.*

Постановка проблеми

Для поліпшення екологічної безпеки великих міст необхідно створювати нові екологічно чисті автомобілі. Парк автомобілів з електричним приводом, тобто електромобілів й гібридних автомобілів, у всьому світі збільшується швидкими темпами. Сучасні серійні гібридні автомобілі є дуже складними високотехнологічними виробами, виготовлення й обслуговування яких є непростим завданням. Тому в даному дослідженні розглянемо задачу конверсії звичайного легкового автомобіля в гібридний з мінімальною витратами, а також розглянемо нові можливості такого автомобіля, що з'явилися після його переобладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На сьогоднішній час усі виробники автотранспортних засобів поділяють пильну увагу створенню екологічно чистих транспортних засобів. Гібридний автомобіль – це перехідний етап між звичайним транспортним засобом з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) до автомобіля з електроприводом. Звичайно гібридний автомобіль не є екологічно чистим на 100 %, але викиди шкідливих речовин в міському циклі руху в порівнянні з існуючими автомобілями знижується в 5...10 разів. Для створення гібридних автомобілів крім двигуна внутрішнього згорання використовуються альтернативні екологічно чисті силові установки, наприклад, криогенні двигуни на рідинному азоті, пневматичні двигуни, маховичні двигуни, та ін., але як правило застосовуються тягові електричні двигуни вентильного типу. В якості додаткового джерела енергії використовуються водневі паливні елементи, суперконденсатори, маховики та ін., але як правило застосовуються високовольтні літій-іоні, нікель-металгідридні або свинцево-кислотні акумуляторні батареї [1-2].

Постановка завдання

Основною ціллю дослідження – є підвищення паливної економічності та екологічної безпеки автотранспортних засобів за рахунок створення схемних рішень побудови гібридної силової установки легкового автомобіля з електричним приводом та акумуляторними батареями. Дане дослідження є логічним продовженням робіт авторів в галузі створення екологічно чистих транспортних засобів та систем керування гібридними силовими установками автомобіля [1-6].

В роботі розглянути результати дослідження проведеного на кафедрі Автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, яке пов'язане з обладнанням базового транспортного засобу тяговим електричним двигуном вентильного типу, системою керування гібридною силовою установкою, блоком високовольтних свинцево-кислотних акумуляторних батарей та системою їх заряду від стаціонарної електричної мережі. В якості базового транспортного засобу використовується легковий автомобіль ЗАЗ-110550 з типом кузова «пікап».

Обґрунтування схемних рішень щодо створення гібридної силової установки автомобіля

Основною задачею даного дослідження є створення гібридної силової установки та встановлення її на серійний базовий автомобіль. В результаті такої конверсії створюється такий гібридний автомобіль, який задовольняє сучасним вимогам і має істотно кращі характеристики по витраті вуглеводневого палива і екологічним параметрам, в порівнянні з базовим автомобілем до конверсії. Крім того, такий конвертований автомобіль, на відміну від серійних гібридних автомобілів, достатньо просто зробити з одного боку з взаємодіючими силовими установками (ДВЗ і електропривод), а з другого боку залишити їх здатними працювати автономно. Це дозволить, наприклад,

при будь-якому несправному блоці в системі електропривода користуватися автомобілем як звичайним автомобілем з ДВЗ, і відповідно, навпаки, при несправному ДВЗ користуватися ним як електромобілем.

При проведенні дослідження треба приділити особливу увагу мінімізації витрат, пов'язаних з такою конверсією. Основний внесок в підвищення ціни сучасного гібридного автомобіля в порівнянні із звичайним автомобілем вносять:

- блок акумуляторних батарей з інвертором,
- тяговий електричний двигун,
- система керування,
- система заряду від стаціонарної електричної мережі.

Спочатку проведемо обґрунтування, аналіз та вибір акумуляторних батарей для такого автомобіля. Основні критерії вибору розташуємо в наступній послідовності:

- вартість і доступність,
- простота експлуатації,
- число циклів заряд-розряд,
- питома енергоємність,
- час заряду.

Достатню енергоємність і кількість циклів заряд-розряд мають літій-іонні акумуляторні батареї. Але велика вартість літій-іонних акумуляторних батарей не дозволяє створити дешевий гібридний автомобіль, тому нами обрані свинцево-кислотні акумуляторні батареї. Не зважаючи на досить невелику питому енергоємність та великий час заряду свинцево-кислотних акумуляторних батарей, для концепції створення гібридної силової установки автомобіля із зовнішнім зарядом від стаціонарної електричної мережі, такі батареї цілком придатні, оскільки дуже великої ємності тут ї не вимагається, а часу для зарядження, яке проводиться переважно в нічний час, цілком достатньо для повного заряду. Такий підхід дозволить знизити сумарну собівартість енергії, що запасається у гібридній силовій установці, з бензину та з електричної мережі і понизити експлуатаційні витрати, особливо при невеликому денному пробігу в міському циклі руху.

Оскільки електроенергія в гібридної силової установки отримана від стаціонарної електричної мережі, та вона має більш низьку вартість, ніж електроенергія, отримана з вуглеводневого палива, тому гібридний автомобіль повинен заряджати тягову акумуляторну батарею від стаціонарної електричної мережі. В цьому випадку, особливо при застосуванні ефективних акумуляторних батарей, можливими стають поїздки на такому автомобілі на короткі відстані тільки на електротязі, тобто в режимі електромобіля, наприклад поїздка на такому автомобілі на роботу і назад на відстань 10...15 км. Ця можливість також підвищує споживацькі якості такого автомобіля, зокрема, стає можливою експлуатація такого автомобіля як на звичайних дорогах у вигляді гібридного автомобіля, так і в закритих приміщеннях (складах) у вигляді електромобіля.

Для сумісного економічного використання енергії отриманої з бензину і енергії, яка запасена у блоку акумуляторних батарей з електричної мережі, застосований наступний підхід. Припустимо, що автомобіль виїхав з гаража або стоянки із зарядженими акумуляторними батареями. Поки енергія в акумуляторах, ДВЗ працює тільки в режимах, коли має місце мала питома витрата палива, тобто при порівняно швидкому русі автомобіля на високих передачах. При цьому ДВЗ не працює на малих швидкостях руху та на низьких передачах.

Під час розгону або рівномірного руху транспортного засобу, ведучі колеса отримують момент через диференціал напряму від електричного двигуна, який при цьому через порівняно низькі швидкості економно витрачає електроенергію. Дуже важливо для зниження витрати палива також те, що при такому підході не потрібен режим холостого ходу ДВЗ, також не потрібен вельми неекономічний процес початку руху автомобіля після зупинки на енергії ДВЗ. Особливо це важливо при русі в заторах. Інтелектуальна система управління повинна зробити для водія управління цим автомобілем таким же простим, як і звичайним автомобілем.

Через порівняно невелику кількість енергії запасеної у блоку свинцево-кислотних акумуляторних батарей розробленого гібридного автомобіля, доцільно мати відносно невеликий внесок електричної енергії в загальну енергію, що витрачається автомобілем. При цьому доцільно виключати неекономічні режими роботи ДВЗ, а саме: холостий хід, старт з місця, інтенсивний розгін автомобіля. Розгін автомобіля на електротязі при звичайному режимі руху повинен відбуватися тільки до деякої, відносно невеликої швидкості. Потім необхідно запустити ДВЗ, подальший набір швидкості і рух здійснювати на ДВЗ, як в звичайному автомобілі.

Для реалізації обраної концепції необхідно додати в звичайний базовий автомобіль також сучасний, але недорогий електропривод і низку електронних систем керування, що забезпечують максимальну ефективність гібридної силової установки за рахунок оптимального використання запасеної електричної енергії у блоку акумуляторних батарей та енергії бензину у баку автомобіля. Спочатку звернемо увагу на те, що тяговий електричний двигун найкращим чином пристосований для початку руху і розгону автотранспортного засобу, на відміну від ДВЗ, який в цих умовах працює неефективно.

Стосовно розробленої концепції створення недорогого гібридного автомобіля, сформулюємо ряд вимог до тягового електроприводу:

- електропривод повинен бути порівняно недорогим. Цій вимозі сприяє те, що він повинен бути невеликої потужності;
- для здешевлення акумуляторної батареї і блоку інвертора бажано, щоб тяговий електричний двигун був порівняно низьковольтним;
- електричний двигун повинен мати достатньо високий момент, а значить бути багатополосним. Багатополосність робить його низькооборотним, що усувається не дуже високою напругою живлення. Рішення цієї проблеми може бути вирішено двоохзоновим регулюванням електричного двигуна;
- оскільки у тягового електродвигуна є кінематичний зв'язок з колесами, то при русі автомобіля важливо мати електропривод з мінімальним опором обертанню у відключеному стані, що зменшить втрати при русі на ДВЗ.

Не повною мірою підходящим для даного гібридного автомобіля є вживаний в сучасних гібридних автомобілях вентильний двигун з постійними магнітами на роторі, оскільки він малодступний, дорогий, і не допускає двоохзонове регулювання. Крім того, такий двигун характеризується порівняно високим опором обертанню у відключеному стані через перемагнічування феромагнітного сердечника статора в полі постійних магнітів, що обертаються.

Крім того, для гібридних автомобілів можна застосовувати асинхронні двигуни з частотним керуванням і вентильно-індукторні двигуни із зубчатим феромагнітним ротором, що мають мінімальні втрати на обертання у відключеному стані. Але асинхронні двигуни при малій потужності мають низький пусковий момент. Вентильно-індукторні двигуни для гібридного автомобіля (електромобіля) поки знаходяться у стадії розробки.

Для створення електроприводу, який добре задовольняє поставленим вимогам, на нашу думку, підходить трифазна синхронна електрична машина змінного струму з електромагнітним збудженням доповнена необхідними датчиками і електронними блоками керування для роботи в режимі вентильного двигуна. Було ухвалено рішення розробити відповідну систему керування і провести дослідження вентильних двигунів на основі недорогих автомобільних синхронних трифазних генераторів змінного струму, що серійно випускаються. При цьому бралися до уваги наступні переваги застосування автомобільних генераторів:

- істотне здешевлення електропривода, завдяки використанню готової конструкції з відносно невисокою ціною;
- можливість зменшення опору обертанню при непрацюючому вентильному двигуні шляхом відключення обмотки збудження (при русі гібридного автомобіля тільки за рахунок ДВЗ);
- керування швидкістю обертання в широкому діапазоні при порівняно низькій напрузі живлення, яке забезпечується можливістю двоохзонового регулювання;
- достатньо простий метод рекуперації енергії при гальмуванні автомобіля, оскільки гальмівний момент можна регулювати невеликим струмом обмотки збудження.

Слід зазначити також недоліки такого вентильного двигуна:

- витрата електроенергії на живлення обмотки збудження, що приводить до невеликого зниження ККД (на декілька відсотків);
- наявність щіткового вузла;
- деякий нагрів ротора.

Перший недолік неусувний, але він зменшується при використанні більш потужних електричних машин. Другий недолік є неістотним, тому як щітки передають малий струм без якої-небудь комутації, вносять дуже малий опір обертанню і, як показує досвід експлуатації автомобільних генераторів, служать тривалий час без обслуговування. Нагрів ротора також не створює помітних проблем, оскільки потужність, що витрачається на збудження порівняно мала.

Для проведення експериментальних досліджень вентиляльних електродвигунів для гібридного автомобіля був розроблений та побудований гальмівний випробувальний стенд (рис. 1).



Рис. 1. Гальмівний випробувальний стенд

В гальмівному стенді використаний гальмівний диск, скоба і ШРУС від автомобіля ВАЗ 2108, які здатні розсіювати потужність в декілька десятків кВт протягом 1...3 хв. В результаті порівняних випробувань різних трифазних синхронних електричних машин для привода гібридного автомобіля нами був обраний генератор Г290, який при потужності 4,5 кВт має ККД 85%. Механічна характеристика вентиляльного електричного двигуна на базі Г290 при живлючої напрузі 72 В та максимальному струмі 150 А наведена на рис. 2.

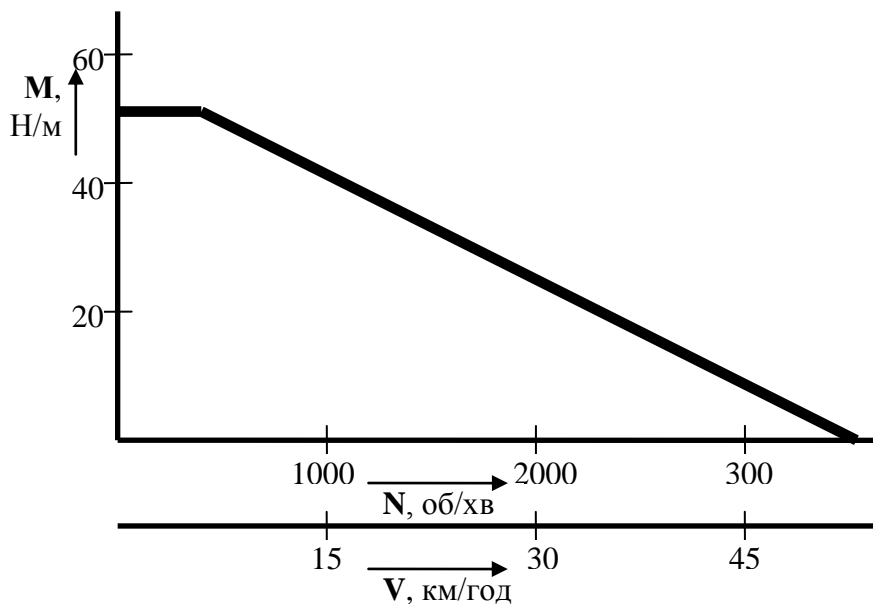


Рис. 2. Механічна характеристика вентиляльного електропривода

На рис. 2 по осі абсцис оберти на хвилину вентиляльного електропривода збігаються з відповідної швидкістю руху гібридного автомобіля у км/год.

Для заряду блоку АКБ нами передбачені три засоби роботи системи інтелектуального керування зарядом високовольтних акумуляторів, а саме;

- заряд АКБ від стаціонарної електричної мережі під час стоянки автотранспортного засобу;
- заряд АКБ під час руху гібридного автомобіля;
- заряд АКБ в режимі рекуперації гібридного автомобіля (система швидкісного заряду).

На усіх засобах зарядка здійснюється для кожного з 12 вольтових АКБ окремо, оскільки АКБ з'єднані послідовно, використані шість окремих гальванічне розв'язаних інтелектуальних зарядних пристроїв (ІЗП). Заряд АКБ від стаціонарної електричної мережі здійснюється з використанням наступного алгоритму. Спочатку стабілізується зарядний струм на рівні $0.1 \cdot C$, де C – ємність АКБ, якщо напруга на клеммах не перевищує 14.5 В, що є напругою циклічного заряду. Вибір струму $0.1 \cdot C$ обумовлений збільшенням терміну використання АКБ. При досягненні ЕРС 14.5 В на клеммах АКБ ІЗП стабілізує цю напругу для подальшого заряду. Струм заряду при цьому буде знижуватися. При досягненні струму до $0.03 \cdot C$ ІЗП починає роботу у режимі буферного заряду (стабілізація напруги 13.8 В). Заряд АКБ під час руху гібридного автомобіля здійснюється на слабко навантаженому ДВЗ (рівномірний рух на невеликій швидкості або руху під ухил). Заряд здійснюється як і у першому засобу, лише обмеження струму починається на рівні $0.2 \cdot C$.

Заряд АКБ в режимі рекуперації гібридного автомобіля здійснюється також аналогічно, але потребує подальшого збільшення порога обмеження струму до $0.3 \cdot C$. Це значення є максимально припустимою для використаних АКБ. Конструктивно тяговий електропривод для гібридного автомобіля розташований у під капотом та здійснює безпосередній привід ведучих коліс автомобіля (рис.3).



Рис. 3. Розташування гібридної силової установки на автомобілі ЗА3-110550

Система електронного керування гібридної силової установки забезпечує оптимальний взаємозв'язок роботи вентильного електропривода та мікропроцесорної системи керування ДВЗ. Експериментальні дослідження розробленого гібридного автомобіля показав наступні технічні характеристики:

- витрата палива у режимі гібридного автомобіля в міському руху складає біля 4 л. на 100 км,
- запас ходу у режимі електромобіля складає 20 км.

Висновки. Таким чином, розроблені схемотехнічні та конструктивні рішення показали можливість створення гібридної силової установки на базі передньоприводного автомобіля з ДВЗ та механічною коробкою передач. Такий гібридний автомобіль задовольняє сучасним вимогам і має істотно кращі характеристики по витраті вуглеводневого палива і екологічним параметрам, в порівнянні з базовим автомобілем.

1. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі. Наукове видання: Монографія // О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнатов, А.В. Колесніков// – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
2. Бажинов А.В. Концепція створення екологічно чистого автомобіля // О.В. Бажинов, О.П. Смирнов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля. Луганськ, 2006. - №7.- С. 15-19.
3. Смирнов О.П. Синергетичний підхід до створення силової установки автомобіля // О.П. Смирнов // Вестник ХНАДУ / Сб. научн. тр. Харьков: РИО ХНАДУ. – 2007. – Вып. 37. – С. 131-133.
4. Смирнов О.П. Обоснование использования вентильных электрических машин в гибридных силовых установках автомобилей. // О.П. Смирнов, В.И. Калмиков // Автомобильный транспорт / Сб. научн. тр. Харьков: РИО ХНАДУ. – 2007. – Вып. № 21. – С. 31-33.
5. Смирнов О.П. Аналіз схемних рішень побудови автомобіля з гібридною енергетичною установкою. // О.П. Смирнов // Вестник ХНАДУ / Сб. научн. тр. Харьков: РИО ХНАДУ. – 2006. – Вып. № 32. – С. 41-43.
6. Бажинов А.В. Разработка тягового электропривода гибридного автомобиля // А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, А.В. Колесніков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник/ АДІ ДонНТУ. – 2009. – Вип. № 1(8). - С. 125-128.