

ОСОБЕНОСТИ В КОМПАНОВКАТА И ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕТО НА ХИБРИДНИ АВТОМОБИЛИ

Иван Миленов, Славчо Божков, Георги Тонков
milenov55@abv.bg, stbozhkov@vtu.bg, tonkov.smolyan@gmail.com

Висше транспортно училище "Тодор Каблешков"
ул. "Гео Милев" №158, 1574 София
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: електрозадвижване, компановка, хибридни автомобили

Резюме: Хибридният автомобил (ХА) използва енергия за своето движение, която се осигурява от ДВГ и акумулаторна батерия. Успоредно с това ХА, при определени режими, съхранява тази част от енергията, която се губи при конвенционалният автомобил, и може да я използва отново. В тази връзка компановката на ХА има съществено значение за неговата енергийна ефективност при различните режими на движение. Значително влияние върху компановката има електрозадвижването на ХА, което заедно с ДВГ осигурява неговата автономност. Понастоящем основните видове хибридни автомобили се подразделят на последователни хибриди, паралелни хибриди, смесени хибриди, плъг-ин хибриди, старт-стоп (мини) хибриди, независими хибриди. Различните видове ХА предполагат различна компановка и различно електрозадвижване. В съвременните ХА намират приложение електрозадвижвания с постояннотокови машини, електрозадвижвания със синхронни машини и електрозадвижвания с асинхронни машини. Видът на компановката и електрозадвижването на ХА определят неговите геометрични, конструктивни и експлоатационни параметри, като габарити, маса, брой места, полезен обем, разход на гориво, ниво на вредните емисии, пробег с електродвигател, пробег с ДВГ, комбиниран пробег, коефициент на полезно действие (КПД) и др. Тези параметри от своя страна определят приложението на ХА в конкретни условия на движение. Статията разглежда основни особености на компановката и електрозадвижването на хибридни автомобили и тенденциите в тяхното развитие.

Въведение

Терминът хибридни автомобили (ХА, HEV – Hybrid Electric Vehicle) се отнася за превозни средства с два или три различни типа източници на енергия, които осигуряват мощност за задвижващите колела [1]. Най-често срещаните хибридни превозни средства имат двигател с вътрешно горене (ДВГ), и електрозадвижване, състоящо се от един или повече електрически двигатели (ЕД) и акумулаторна батерия (АБ), която съхранява електрическата енергия, произвеждана от ЕД в режим на генератор (Г) и я

отдава към ЕД в режим на двигател. Управлението на работните режими на електрозадвижването се осъществява от контролер (К).

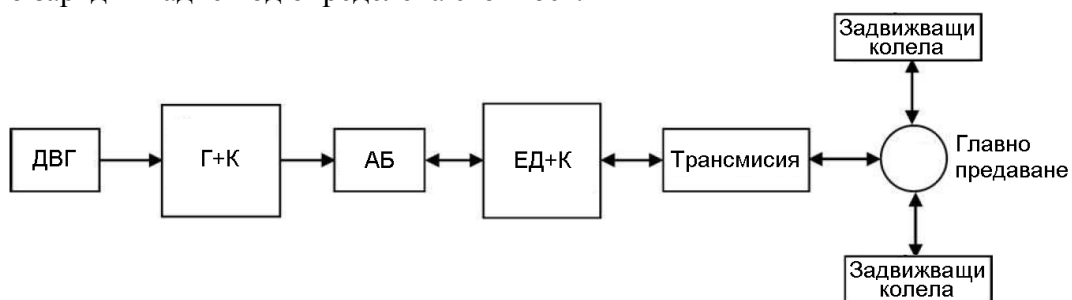
Има няколко начина за класифициране на ХА. Най-общият подход се основава на пътя на енергийния поток от неговият източник към задвижващите колела. При ХА задвижващата мощност се предава на колелата или по механичен път чрез ДВГ и трансмисията, или по електрически път чрез АБ и ЕД или смесено (комбинирано) по двата начина. Разположението на компонентите на ХА по пътя на предаване на мощността определя последователни, паралелни и смесени ХА.

ХА също могат да бъдат класифицирани въз основа на степента на хибридизация [2] в леки, мощни и енергийни ХА. Тази класификация се основава на степента в изменение на размерите на задвижващия механизъм спрямо конвенционалния автомобил (КА). Степенуването от леки до енергийни хибриди е свързано със степента на намаляване на мощността на ДВГ и увеличаване на капацитета на АБ. Леките хибриди имат най-ниска степен на хибридизация с умерен ефект върху икономията на гориво и емисиите. Показателите на електрозадвижването за типичен лек ХА са мощност на ЕД в диапазона от 5-10 kW и капацитет на АБ в обхвата 1-3 kWh. Мощните ХА имат по-голяма мощност на ЕД до 40 kW; тези хибриди позволяват пренасяне на значителна мощност между АБ и ЕД, въпреки че батериите са с относително нисък капацитет (3-4 kWh). Мощните ХА имат по-голям потенциал за подобряване на икономията на гориво. Те също така имат по-добри емисии на ДВГ поради по-оптимален режим на работа. Енергийният хибрид използва високоенергийна батерия, способна да отдава енергия за задвижване на хибрида за значително време с неработещ ДВГ. Мощността на ЕД и капацитетът на АБ обикновено са в обхвата от 70-100 kW и 15-20 kWh [2].

Последователни и паралелни компоновки

ХА се развива от две основни компоновки: последователен и паралелен хибрид. Последователен хибрид е такъв ХА, в който един енергията се предава последователно (еднопътно) от ДВГ към АБ и ЕД или обратно. Подреждането на компонентите на последователен ХА е показано на фигура 1.

Последователният ХА е по-простият тип хибрид, при който мощността, необходима за задвижване на превозното средство, се осигурява само от ЕД. ДВГ е с намалена мощност и задвижва генератор, който дозарежда АБ, и може да я зарежда, когато зарядът падне под определена стойност.



Фиг.1. Компоновка на последователен ХА

Недостатъкът на компоновката на последователния ХА е размерът на ЕД, който трябва да бъде определен за максималната мощност на превозното средство. Недостатъкът може да бъде премахнат, ако ДВГ се използва паралелно с ЕД, за да осигурява мощност за задвижване на колелата. Това се постига при паралелната компоновка, където и ДВГ и ЕД са свързани към задвижващия вал чрез предавка и съединител.

Паралелен ХА е този, в който повече от едно устройство за преобразуване на енергия може да осигури задвижваща мощност за колелата. ДВГ и ЕД са свързани

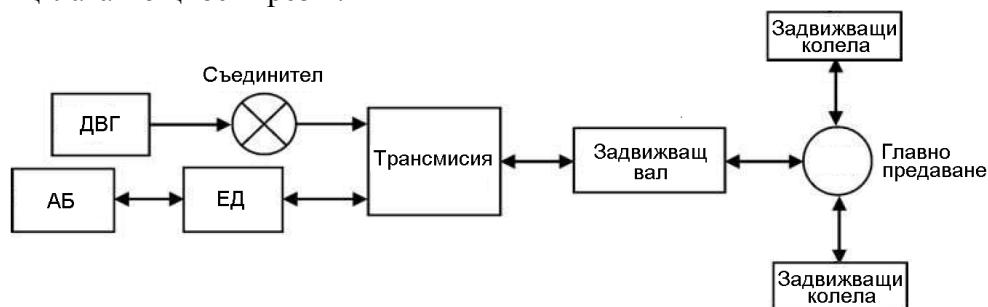
паралелно с механичен разпределител МР (от планетен тип), който обединява въртящия момент, идващ от двата източника. Компановката на паралелен хибрид е показана на фиг.2.

Предимствата на компановката на последователния ХА могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Гъвкавост на разположението на комплекса ДВГ-ЕД-Г
- Простота на електрозадвижването
- Подходящ за кратки пътувания с често потегляне и спиране (в трафик).

Недостатъците на последователната компановка са следните:

- ← Необходими са три двигателни компоненти: ДВГ, Г и ЕД
- ← ЕД трябва да е проектиран за максималната мощност на ХА, например при изкачване на голям наклон, макар че, ХА консумира по-малка мощност от максималната за повечето режими на движение
- ← Всичките три двигателни компоненти трябва да бъдат оразмерени за максимална мощност за продължително високоскоростно движение. Това се изисква, тъй като АБ ще се изчерпи доста бързо, оставяйки ДВГ да осигурява цялата мощност чрез Г.



Фиг.2. Компановка на паралелен ХА

Предимствата на паралелната компановка са следните:

- Необходими са само два двигателни компоненти: ДВГ и ЕД/Г. ЕД може да работи както в двигателен, така и в генераторен режим
- Може да се използва ДВГ, респективно ЕД, с по-малка мощност, за да се постигне същата производителност, докато батериите не бъдат изтощени. За пътувания на къси разстояния, и ДВГ и ЕД могат да бъдат оразмерени на половината от максималната мощност, за да се осигури общата мощност, като се приеме, че батериите не са изчерпани. За пътувания на дълги разстояния, ДВГ може да бъде оразмерен за максимална мощност, докато ЕД/Г може да бъдат приети на половината от максималната мощност или дори по-малко.

Недостатъците на паралелната компановка са следните:

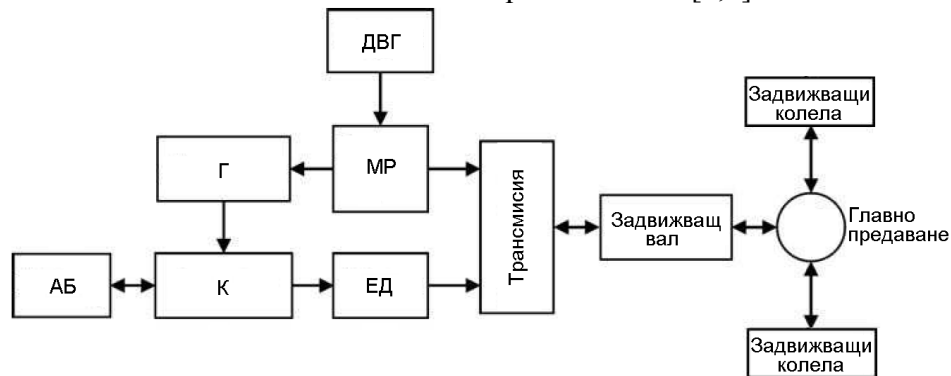
- ← Сложността на управлението се увеличава значително, тъй като потокът от енергия трябва да бъде регулиран и обединяван от два паралелни източника
- ← Смесването на мощността от ДВГ и ЕД изисква МР, който има сложно механично устройство

Смесена компановка

Паралелната компановка е по-подходяща за ХА, при които ЕД и ДВГ могат да работят паралелно, за да осигурят висока производителност, когато се изисква по-голяма мощност [3]. От друга страна последователната компановка е оборудвана с мощен ДВГ, който винаги може да работи в най-ефективния си режим, за да произвежда чрез Г електрическа енергия.

Усъвършенстваните компоновки на ХА комбинират предимствата на последователните и паралелните компоновки в последователно-паралелна (смесена) компоновка (фиг.3) с поддържане на заряда на АБ [3,4]. В тези смесени хибриди ДВГ се използва и за зареждане на АБ. Компоновката е относително по-сложна, включваща допълнителни механични връзки и управление в сравнение с последователната компоновка и допълнителен Г в сравнение с паралелната компоновка. Контролерът за управление на компонентите от смесената компоновка ефективно използва ДВГ и ЕД за постигане на максималните възможности чрез гъвкаво приспособяване към условията на движение.

Смесената компоновка е тази, която се използва в първия по рода си пазарен ХА Toyota Prius. Компоновката на този ХА използва МР, представляващ механично планетно устройство за събиране, разделяне и предаване на мощностния поток, разработено от японските изследователи от Equos Research [5,6].

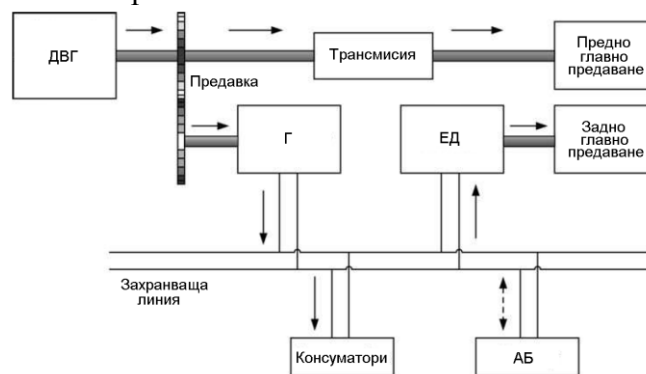


Фиг.3. Компоновка на смесен ХА

Смесените компоновки на ХА са в състояние да осигурят постоянна висока мощност в сравнение с последователен или паралелен хибрид за компоненти на задвижващия механизъм с подобна големина. Смесеният ХА може да работи във всичките три режима на последователен, паралелен и смесен режим на мощност. Съществува значително по-голяма гъвкавост в дизайна и стратегията за управление на смесения ХА, което води до по-добра икономия на гориво и по-ниски вредни емисии.

Смесена компоновка 2 × 2

На фиг.4 е показана смесена 2x2 компоновка на ХА с два ЕД/Г, един ДВГ и система за съхранение на енергията на АБ.



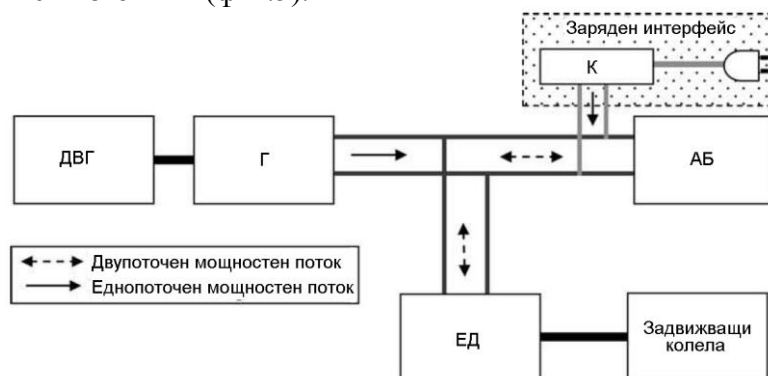
Фиг.4. Компоновка на смесен ХА 2x2

Компоновката предлага същите положителни характеристики, но с присъщо задвижване на четирите колела. ДВГ е свързан чрез трансмисия към един двигателен мост (обикновено предния). Един ЕД/Г е механично свързан към ДВГ, докато другият ЕД/Г е свързан с другия двигателен мост (обикновено задния). ЕД/Г, монтиран на предния мост, се използва предимно за стартиране на ДВГ и зареждане на АБ. Задният ЕД/Г се използва за задвижване на колелата и рекуперативно спиране. По време на

ускоряване на ХА, ДВГ задвижва предните колела, докато задният ЕД/Г задвижва задните колела. Въпреки това, по време на върхово потребление на мощност при максимално ускорение, предният ЕД/Г може да заработи в режим на двигател, за да се прибави въртящ момент към предния мост. Смесването на въртящия момент между предния и задния мост се осъществява чрез електронно управление и не изисква МР, като този в паралелната компоновка на Prius. Недостатъкът на смесената 2x2 компоновка е сложността на управляващия алгоритъм и изискванията за монтаж на компонентите на задвижващия механизъм както в предния, така и в задния мост.

Плъг-ин ХА

ХА също се класифицират като хибриди, изразходващи заряда на АБ или поддържащи заряда на АБ, в зависимост от това дали АБ трябва да бъде заредена от външен източник или се самозарежда от генерираната електроенергия на борда на ХА. Типичен пример за това са плъг-ин ХА (ПХА, PHEV – plug-in HEV), които могат да се зареждат от външен източник (фиг.5).



Фиг.5. Компоновка на последователен плъг-ин ХА

ПХА могат да бъдат последователни ХА, но с достатъчно голяма система за съхранение на електрическата енергия и за нейното зареждане. Освен това ПХА могат да бъдат имат компоновката на паралелните и смесените ХА. Означението PHEV40 означава, че ПХА може да измине 40 мили (км) с едно зареждане на АБ. Разстоянието изминато в режим на ЕД се класифицира като пробег с нулеви емисии (ZEV). ПХА използва енергията, съхранена в АБ за по-голямата част от движението си, като по този начин намалява вредните емисии и замърсяването на въздуха и шума. Разходите за поддръжка на ПХА са ниски, тъй като ПХА работят предимно в електрически режим.

Определени предимства се очертават, според авторите, пред така нареченият “независим ХА”, който използва ДВГ за задвижване на предния мост и ЕД за задвижване на задния мост. Така се съчетават основните предимства на задвижването от ДВГ и електрозадвижването, олекотява се системата за управление и се постига равномерно разпределение на компонентите и масата на ХА [7].

Заклучение

Разгледани са особеностите на основните компоновки на ХА и елементите от тяхното електрозадвижване.

Анализирани са предимствата и недостатъците на различните компоновки и електрозадвижване на ХА.

Установени са предпоставките за приложение и развитие на ХА с подчертана ефективност в градски условия на движение.

Използвана литература:

- [1] Iqbal Husain. Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals 2nd ed. ISBN 19781439811788 (e-book), CRC Press Taylor & Francis Group, 2018

- [2] J.F. Ronning and G.L. Grant, Global Hybrid Electric Vehicle Markets and Missions, Electric and Hybrid Electric Vehicles and Fuel Cell Technology, SAE Publication SP-1466, SAE International, Warrendale, PA, 1999.
- [3] C.C. Chan and K.T. Chau, Modern Electric Vehicle Technology, Oxford University Press, Oxford, U.K., 2001
- [4] R. Hodkinson and J. Fentos, Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design, SAE International, Warrendale, PA, 2001
- [5] SAE, Strategies in Electric and Hybrid Vehicle Design, SAE Publication SP-1156, SAE International, Warrendale, PA, 1996
- [6] A. Nagasaka et al., Development of Hybrid/Battery ECU for the Toyota Hybrid System, Technology for Electric and Hybrid Vehicles, SAE Publication SP-1331, SAE International, Warrendale, PA, 1998
- [7] Славчо Божков, Пенко Цветков, Георги Тонков, Хибридни автомобили и приложението им в градски условия на движение, Международна научна конференция “Техника и строителни технологии в транспорта – 2018”, Научно списание “Механика, транспорт, комуникации” ISSN 1312-3823 (print) ISSN 2367-6620 (online), ВТУ «Тодор Каблешков», София, 2018

LAYOUT AND ELECTRIC PROPULSION FEATURES OF HYBRID ELECTRIC VEHICLES

Ivan Milenov, Slavcho Bozhkov, Georgi Tonkov
milenov55@abv.bg, stbozhkov@vtu.bg, tonkov.smolyan@gmail.com

Todor Kableshkov University of Transport
Geo Milev str. 158, 1574 Sofia
BULGARIA

Key words: *electric propulsion, layout, hybrid electric vehicles*

Abstract: *The hybrid electric vehicles (HEV) are moving by the energy, which is ensured by the internal combustion engine (ICE) and the battery. Moreover the HEV, during certain movement states, accumulate part of the energy, which is lost from the classic vehicle, and is able to reuse it again. Therefore the HEV layout has significant meaning for the energy efficiency at the different movement states. The electric propulsion has essential influence in the HEV, and both with ICE ensure the HEV autonomy. At our days the main types of HEVs are classified to series hybrids, parallel hybrids, series-parallel (split) hybrids, plug-in hybrids (PHEV), mild hybrids, power hybrids, energy hybrids and so called independent hybrids. The different HEVs are supposing different layout and different electric propulsion. In the modern hybrids there are application of the electric propulsions with the direct current machines (DC), synchronous (BLDC) machines and induction machines. The type of the HEV layout and electric propulsion determine its geometrical, constructional and work parameters, as overall sizes, mass, number of seats, trunk volume, fuel consumption, harmful emission level, electric range, ICE range, combined range, coefficient of efficiency etc. These parameters determine the HEV application in certain movement conditions. This paper considers the main features of the layout and the electric propulsion of the hybrid electric vehicles and their development trends.*