

АНАЛИЗ НА РАЗЛИЧНИТЕ СХЕМИ НА ЗАДВИЖВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМОБИЛИТЕ

Николай Павлов¹, Васил Димитров²
npavlov@tu-sofia.bg, vdimitroff@abv.bg

¹*Технически университет – София, Факултет по транспорта,
бул. “Кл. Охридски” No 8, София 1756,*

²*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул. “Гео Милев” No 158, София 1574,
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *електромобил, задвижване, динамика, спиране*

Резюме: *В доклада се разглеждат различните схеми на реализация на задвижванията на електромоделите. Изтъкнати са разликите с конвенционалните автомобили, задвижвани от ДВГ и използващи същите схеми на задвижване. Разгледани са особеностите, предимствата и недостатъците на задвижването на колелата само на предната или само на задната ос, както и задвижването на колелата и на двете оси. Обърнато е внимание и на перспективното индивидуално задвижване на колелата посредством отделни мотор-колела. Разгледани са както конструктивните особености на различните схеми на задвижване, така и влиянието им върху експлоатационните свойства на електромоделите. Схемата на задвижване влияе както на възможностите за ускоряване и преодоляване на максимален наклон при изкачване на електромобила, така и на ефективността на регенеративното спиране при интензивно спиране с голямо спиращо закъснение. Освен това с различните схеми на задвижване се постигат различни показатели на опорно-сцепна проходимост на електромобила, а при използване на индивидуално задвижване на колелата може да се подобри и профилната проходимост поради отпадане на механичния диференциал под пода на електромобила. Схемата на задвижване влияе също и на възможността за разполагане на багажното пространство в каросерията на електромобила и обема на багажника му. Дадени са примери за използването на всеки един вид задвижване от световните производители.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Първите автомобили са били задвижвани от двигател с вътрешно горене или електродвигател, разположен в задната част – над задната ос на автомобиля, която е била задвижваща [1]. Задвижването на предните управляеми колела за тогавашното състояние на техниката е било твърде сложно за осъществяване. Каросерията е била разположена над силовото задвижване и в резултат на това центърът на тежестта на автомобиля е бил високо разположен, а устойчивостта на автомобиля срещу преобръщане е била ниска. Освен това, такова разположение на двигателя води до голямо натоварване на задната ос и недостатъчно натоварване на предната ос, което

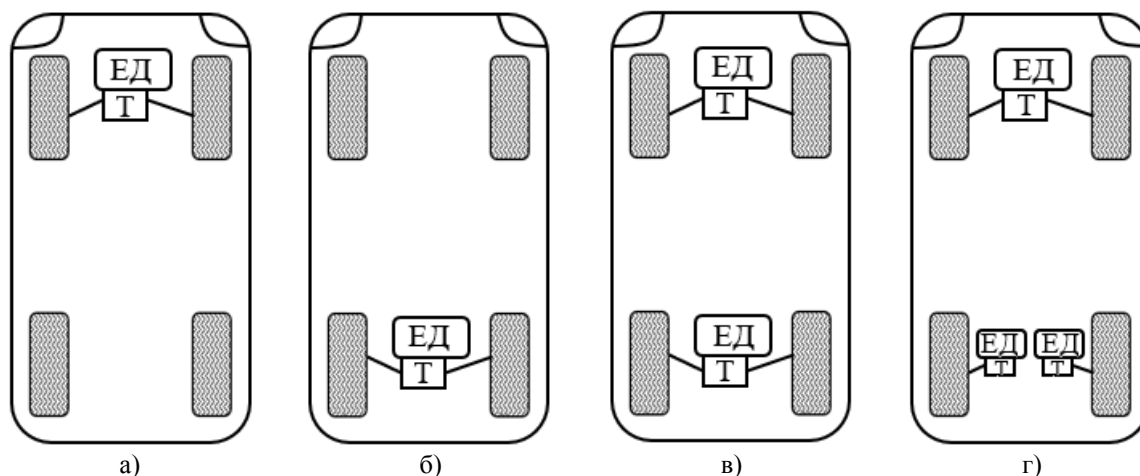
води до влошаване на управляемостта на автомобила. Тези недостатъци са избегнати, като двигателят е разположен в предната част на автомобила – пред пътническият салон, а задвижването на колелата от задната ос се осъществява чрез карданен вал [2]. Първите превозни средства с такова задвижване, по-късно наричано стандартно или класическо задвижване, са произведени от *Renault* (1896), *Daimler Phönix* (1898) и *Horch* (1900). Легендарният *Форд-Т* (1908), който е държал рекорда за най-масово произвеждан автомобил чак до 1972 (15 млн. в периода 1908÷1927 г.), също е построен по класическата схема [2]. Тази схема на задвижване е била широко използвана и на практика единствената (с малки изключения) до 20^{-те} – 30^{-те} години на 20^{-ти} век. Такова изключение е например електромобилът *Lohner-Porsche*, задвижван от два електродвигателя, разположени в главините на предните колела. На практика това е първият електромобил с индивидуално задвижване посредством мотор-колела. Електромобилът е представен на изложението в Париж през 1900 г. [3]. На следващата година е представен първият хибриден автомобил *Lohner-Porsche Mixte* – също задвижван от мотор-колела, разположени на предната управляема ос, а също така е предлаган и във вариант със задвижване на всички колела (4x4). Отделни модели автомобили със задвижване на предните колела са произвеждани през 20^{-те} и 30^{-те} години на 20^{-ти} век, но поради невисокото ниво на техниката по това време не са имали надеждна и работоспособна конструкция [4]. След изобретяването и прилагането на някои конструкции карданни шарнири с равни ъглови скорости на автомобил *DKW* през 1931 г., започва постепенно увеличаване на броя на моделите автомобили със задвижване на предните колела [2, 5]. Голямо нарастване на автомобилите с този тип задвижване се забелязва в края на 50^{-те} и началото на 60^{-те} години на 20^{-ти} век [4]. Въвеждането на задвижването на предните колела притежава някои важни предимства, особено за малките автомобили. Те се изразяват в ниско тегло, увеличено пространство в купето, по-безопасно и интуитивно поведение на пътя (по-лесно управление) и най-важното – по-ниска себестойност. Поради това делът на произвежданите автомобили с предно задвижване в момента възлиза на над 75% от всички леки автомобили [2]. Автомобилите със задвижване на всички колела в последно време значително увеличиха дела си поради възможността за реализация на по-голямата мощност и въртящ момент на съвременните двигатели чрез увеличаване на сцепното тегло – в този случай то е равно на теглото на автомобила и не се променя при ускоряване. Основните недостатъци на този тип задвижване са по-високата себестойност, тегло и консумация на гориво (енергия).

Реализирането на задвижване на всички колела от един ДВГ е свързано с усложняване на трансмисията на автомобила – както на механичната част, така и на системата за управление, появата на шум и вибрации и др. Въпреки че навлизането на автомобилите с електрическо задвижване на пазара е обусловено основно от екологични съображения, те притежават и редица други предимства. Например по-лесно управление и обслужване, по-ниски нива на шума и вибрациите, по-голяма свобода при осъществяване на компановката поради по-простата трансмисия, по-малкият брой механични връзки и възможността за използване на отделни електродвигатели за задвижване на отделните оси, отделните колела или дори индивидуално задвижване посредством мотор-колела.

СХЕМИ НА ЗАДВИЖВАНЕ НА СЪВРЕМЕННИТЕ ЕЛЕКТРОМОБИЛИ

При съвременните електромобили се използват голяма част от схемите на задвижване, наложени се при автомобилите с ДВГ. Класическата компановка се използва само при хибридите и при конвертираните на базата на автомобили с класическа схема на задвижване електромобили. Особено перспективно за

електромобилите е използването на разпределено задвижване - чрез отделни (индивидуални) мотор-колела. Предимствата на такова задвижване се изразяват в по-бърза и точна реакция на управлението на въртящия момент и независимо управление на електродвигателите на всяко колело, като по този начин се осигурява по-добра динамика и енергийна ефективност на електромобила [6, 7]. На фиг. 1 са показани схемите на задвижване, които най-често се прилагат от съвременните производители на електромобили.



Фиг. 1 Схеми на задвижването, прилагани при съвременните електромобили:
ЕД – електродвигател; Т – трансмисия.

При малките класове градски електромобили, като *VW e-up!*, *Opel Corsa-e*, *Mini-E* и др., се използва предимно предното задвижване с разположение на електродвигателя, силовата и управляващата електроника в предната част (фиг. 1, а), а батерията, както и при другите съвременни електромобили, е разположена най-често в пода на електромобила. Такава компоновка се забелязва често и при по-високите класове електромобили, като *VW e-Golf*, *Nissan Leaf*, *Hyundai Ioniq*, *Hyundai Kona Electric* и др. Тази схема на задвижване дава предимствата, доказани във времето от преднозадвижваните автомобили с ДВГ. Поради липсата на оборудване в задната част е възможно осъществяването на по-ниско ниво на пода на багажника и оползотворяването на по-голям обем на багажното пространство или намаляване на дължината на каросерията при достатъчен товарен обем. По-голямото тегло върху колелата от предната ос осигурява добра устойчивост на автомобила и по-малка склонност към унасяне [8]. Поради това и устойчивостта при пориви на страничен вятър е по-добра [9]. Проходимостта и маневреността на преднозадвижваните автомобили по заснежени пътища е по-добра, отколкото при заднозадвижваните, но тези с предно задвижване по-трудно преодоляват наклони нагоре, особено ако са с повече пътници и багаж. Поради преразпределението на теглото при ускоряване към задната ос и разтоварване на задвижващите предни колела, тази схема има по-ниски възможни стойности на максимално ускорение, дори и при използване на електродвигател с голяма мощност, поради буксуване на колелата. При спиране обаче инерционната сила е насочена напред, като по този начин подобрява сцеплението и следователно възможностите за оползотворяване на енергията при регенеративно спиране са добри.

Задно задвижване със задно или централно разположение на двигателя при съвременните автомобили с ДВГ се използва изключително рядко при някои спортни автомобили. При електромобилите обаче последните години се забелязва тенденция към

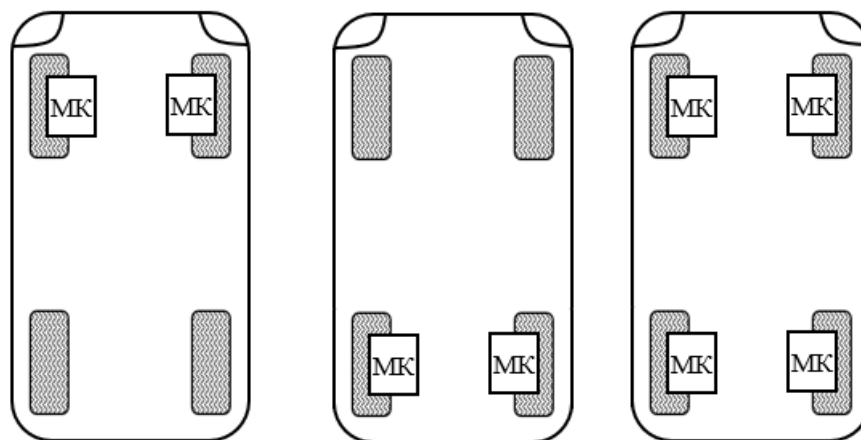
използване на именно такава схема на задвижване, например *Tesla 3*, *VW ID.3* и *ID.4* (фиг. 1, б). Причините за това са, че тази схема позволява по-добро оползотворяване на мощността на двигателя при ускоряване. Основните недостатъци, които се срещат при конвенционалните автомобили, като ниско натоварване на предния мост и като следствие лоша устойчивост, и липса на багажник в задната част, а при централно разположен ДВГ липсват и задни седалки за пътниците, при електромобилите не са толкова изразени. Причините за това са разпределеното по дължина на автомобила тегло, поради батерията, разположена в пода и по-компактния електродвигател [10]. Електродвигателят може да бъде разположен ниско и по-този начин над него остава място за багажник и разположение на задните седалки. Този тип задвижване има добри показатели на опорно-сцепна проходимост при всякакви настилки и при различен брой пътници [9]. Поради разтоварване на задните задвижващи колела, ефективността на регенеративното спиране не е особено голяма и по данни от [11] само с електрическо спиране може да се достигне максимално спиращо закъснение до $2,5 \text{ m/s}^2$, което е достатъчно за повечето ежедневни ситуации, т. нар. служебно спиране. При необходимост от по-високи стойности на спиращото закъснение, хидравличната спираща уредба се включва в действие.

Най-добри показатели на опорно-сцепна проходимост имат електромобилите със задвижване на всички колела (фиг. 1, в). Сцепното тегло, както при ускоряване, така и при спиране е равно винаги на пълното тегло на електромобила, като по този начин осигурява максимални стойности на ускорението и оползотворяване на мощността на електродвигатели. Постигат се и най-високи нива на оползотворяване на енергията при регенеративно спиране. Способността за преодоляване на наклони е най-голяма в сравнение със задвижванията само на предната или на задната ос. Поради това на мощните версии на електромобилите се прилага този тип задвижване. Примери за това са по-мощните модификации на *VW ID.3* и *ID.4*, *Tesla 3* и *Tesla S*, а някои модели като например *Jaguar I-Pace* се предлагат само с този вариант на задвижване. Поради по-компактните размери на електродвигателите, в сравнение с ДВГ, е възможно разполагането на два електродвигателя – по един за всяка ос. По този начин отпада сложната трансмисия с карданен вал за задвижване на задните колела, която е стандартна за конвенционалните автомобили със задвижване на всички колела. Остава обаче по една трансмисия, свързана с всеки от двата електродвигателя, която съдържа редуктор – обикновено двустапален, по-рядко планетен, и междуосов механичен диференциал. Напоследък при особено мощните модели, като *Tesla S Plaid* и *Audi E-tron S*, това задвижване еволюира чрез използване на два електродвигателя на задната ос – по един за всяко колело (фиг. 1, г). По този начин се подобрява охлаждането на всеки един от тях, в сравнение с един по-голям електродвигател със същата мощност. Отпада необходимостта от механичен диференциал на задната ос, а чрез електронния софтуерен диференциал се осигурява подходящо управление на двата електродвигателя, т. нар. „torque vectoring”, което подобрява устойчивостта и управляемостта на електромобила [12, 13]. Недостатък е по-високата цена и по-сложната система за управление на задвижването.

На фиг. 2 са показани перспективните схеми на разпределено електрозадвижване с индивидуални мотор-колела.

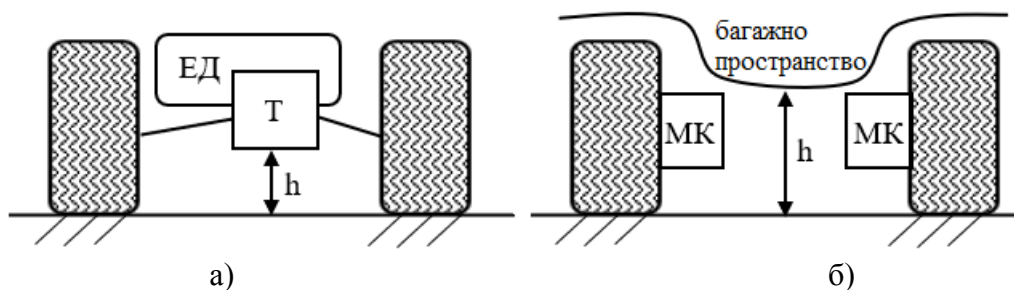
Този тип задвижване позволява разпределението на въртящият момент към отделните колела да се осъществи без използването на сложни възли и механизми, като междуколесни и междуосови диференциали, разпределителни кутии, вискомуфи, допълнителните електромеханични устройства в диференциалите за осигуряване на функция „torque vectoring”. Поради сведения до минимум брой елементи от механичната трансмисия, се повишава КПД на задвижването. Освен това, с подходящо

управление е възможно осъществяване на антиблокираща спирачна система (АБС), основаваща се изцяло на спирачните моменти, създавани от мотор-колелата и прилагане на изцяло електрическо спиране дори в екстремни ситуации.



Фиг. 2 Схеми на задвижване с индивидуални мотор-колела: МК – мотор-колело.

По този начин се разширява възможността за регенеративно спиране, която при традиционните електрозадвижвания се използва основно при служебно спиране със сравнително ниски стойности на отрицателното ускорение (спирачното закъснение). Електрозадвижванията с мотор-колела позволяват по-голяма свобода при компоноването на каросерията на автомобила, като по този начин може да се осигури по-голямо багажно пространство и по-висок пътен просвет (фиг. 3). По-високият пътен просвет подобрява профилната проходимост на автомобилите, което е от особено значение при SUV и off-road превозните средства. Пример за такова приложение на този тип задвижване на четирите колела е високопроходимият пикап *Lordstown Endurance*, на американската компания *Lordstown Motors Corporation* (LMC).



Фиг. 3 Възможности за повишаване на багажното пространство и пътният просвет при използване на индивидуално задвижване с мотор-колела.

Като основен недостатък на индивидуалното задвижване може да се отбележи по-високото тегло на неподдресорените маси и произтичащите от това ограничения при използването им в леки автомобили, които имат изисквания за висока скорост на движение и комфорт. За да се избегне този недостатък, съвременните мотор-колела притежават сложна конструкция на окачването към колелото (фиг. 4).



Фиг. 4 Конструкция на мотор-колело *eCorner* на *Siemens VDO* (сега *Continental*):
 1 - колело; 2 - електродвигател; 3 – спирачен механизъм; 4 – активно окачване;
 5 – електрически механизъм за управление на завиването [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада са разгледани различните схеми на задвижване на съвременните електромобили. Разгледани са техните особености, предимствата и недостатъците им. Изтъкнати са разликите с конвенционалните автомобили, задвижвани от ДВГ и използващи същите схеми на задвижване. Отбелязано е, че едни и същи схеми, ненамерили дългосрочно приложение при конвенционалните автомобили поради различни недостатъци, се използват с успех и се смятат за перспективни за развитието на електромобилите. Разгледано е влиянието на всеки един вид задвижване върху различни експлоатационни свойства на електромобилите. Разгледани са също и особеностите, предимствата и недостатъците на новите схеми на задвижване с три електродвигателя – два от тях задвижват всяко от колелата на задната ос и един общ за колелата от предната ос. Други схеми на задвижване, които са нови за леките автомобили, въпреки че отдавна се използват в бавноходните транспортни средства, са индивидуалните задвижвания на всяко едно от колелата на автомобила. Разгледани са техните предимства и недостатъци и е показана примерна конструкция на такава разработка на *Siemens VDO*. Дадени са примери за използването на всеки един вид задвижване от световните производители.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Fersen O. (eds) Ein Jahrhundert Automobiltechnik. Springer, Berlin, Heidelberg, 1986
- [2] Ersoy M., Gies S. (eds) Fahrwerkhandbuch. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lohner%E2%80%93Porsche>
- [4] Голомидов А. Автомобили с приводом на предние колеса. Машиностроение, Москва, 1972
- [5] Seherr-Thoss H.C., Schmelz F., Aucktor E. Universal Joints and Driveshafts. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006
- [6] Zhang X. Modeling and Dynamics Control for Distributed Drive Electric Vehicles. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021
- [7] Schünemann M. Fahrdynamik, De Gruyter Oldenbourg, Berlin, Boston, 2018
- [8] Островцев А.Н. Основы проектирования автомобилей. Машиностроение, Москва, 1968
- [9] Проикшат А. Шасси автомобиля: типы приводов. Машиностроение, Москва, 1989
- [10] https://www.greencarreports.com/news/1120260_electric-cars-could-spell-end-of-front-wheel-drive-vw-exec-says
- [11] <https://www.greencarcongress.com/2021/01/20210107-id4.html>

[12] Doerr J., Fröhlich G., Stroh A. et al. The Electric Drivetrain with Three-motor Layout of the Audi E-tron S. MTZ Worldwide 81, 16–25, 2020

[13] https://www.motorauthority.com/news/1128713_audi-e-tron-s-review-price-photos-specs-info

[14] https://www.greencarcongress.com/2006/09/siemens_vdo_mak.html

ANALYSIS OF THE DIFFERENT ELECTRIC VEHICLE POWERTRAIN LAYOUTS

Nikolay Pavlov¹, Vasil Dimitrov²
npavlov@tu-sofia.bg, vdimitroff@abv.bg

*¹Technical University of Sofia, Faculty of Transport
8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia,*

*²Todor Kableskov University of Transport – Sofia,
158 Geo Milev Str., 1574 Sofia,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *electric vehicle, powertrain, dynamics, braking*

Abstract: *This paper examines the different layouts of the electric passenger car powertrains. Differences with conventional cars powered by internal combustion engines and using the same drive schemes are highlighted. The features, advantages and disadvantages of driving the wheels only on the front or only on the rear axle, as well as the drive of the wheels on both axles are considered. Attention is also paid to the perspective individual drive of the wheels by means of separate motor-wheels. Both the design features of the various drive layouts and their influence on the performances of electric vehicles are considered. The powertrain layout affects both the ability to accelerate and overcome the maximum incline when climbing the electric vehicle, and the efficiency of regenerative braking in intensive braking with a large braking deceleration. In addition, different powertrain layouts achieve different traction characteristics of the electric vehicle, and when using individual wheel drive, the profile passability can be improved due to the lack of the mechanical differential under the floor of the electric vehicle. The powertrain configuration also affects the possibility of emplacing the luggage space in the body of the electric vehicle and the trunk volume. Examples of the use of each type of powertrain by the world's manufacturers are given.*