МЛАД ФОРУМ
Механика Транспорт Комуникации
Научно списание http://www.mtc-aj.com
ISSN 2367-6558 (print)
ISSN 2367-6612 (online)
том 15, брой 1, 2026 г.
статия № 2801

СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ И ИНВЕРТОРНО РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА, ТЕГЛИТЕЛНАТА И СПИРАЧНАТА СИЛА НА ЕЛЕКТРОМОБИЛИТЕ

Ивайло Петров, Петко Костадинов
ivo_ip@abv.bg, petko__kostadinov@abv.bg

ВТУ „Тодор Каблешков”
София, 1574, ул. „Гео Милев“ 158
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *Асинхронно електрозадвижване, асинхронен електродвигател, електромобили, инверторно управление, регулиране на скоростта, въртящ момент, теглителна сила, спирачна сила, рекуперативно спиране.*

Резюме: *В доклада е направен анализ на принципите, архитектурата и управлението на асинхронните електрозадвижвания в електромобилите, като акцентът е поставен върху инверторното регулиране на скоростта, въртящия момент, теглителната и спирачната сила. Асинхронните електродвигатели се характеризират с висока надеждност, проста конструкция и ниска поддръжка, което ги прави широко приложими в съвременните електрически превозни средства. Представена е конструкцията на двигателя, състояща се от статор, ротор и кафезна намотка. Обяснен принципът на работа, как с помощта на електромагнитната индукция се формира въртящото се магнитно поле. Разгледана е ролята на инвертора като ключов преобразувател, който превръща постоянното напрежение от батерията в трифазно променливо и осигурява прецизен контрол чрез методи като Field-Oriented Control (FOC) и Direct Torque Control (DTC). Анализирани са механизмите за управление на скоростта и въртящия момент, както и процесът на рекуперативно спиране, при който „кинетичната енергия на автомобила се превръща обратно в електрическа и се връща в батерията“. Подчертана е зависимостта между енергийната ефективност, загубите в инвертора и оптималното управление. На базата на изложената информация е направено заключение, че асинхронните електрозадвижвания предлагат балансирано съчетание от ефективност, надеждност и икономичност, което ги утвърждава като ключов елемент в развитието на електромобилните технологии.*

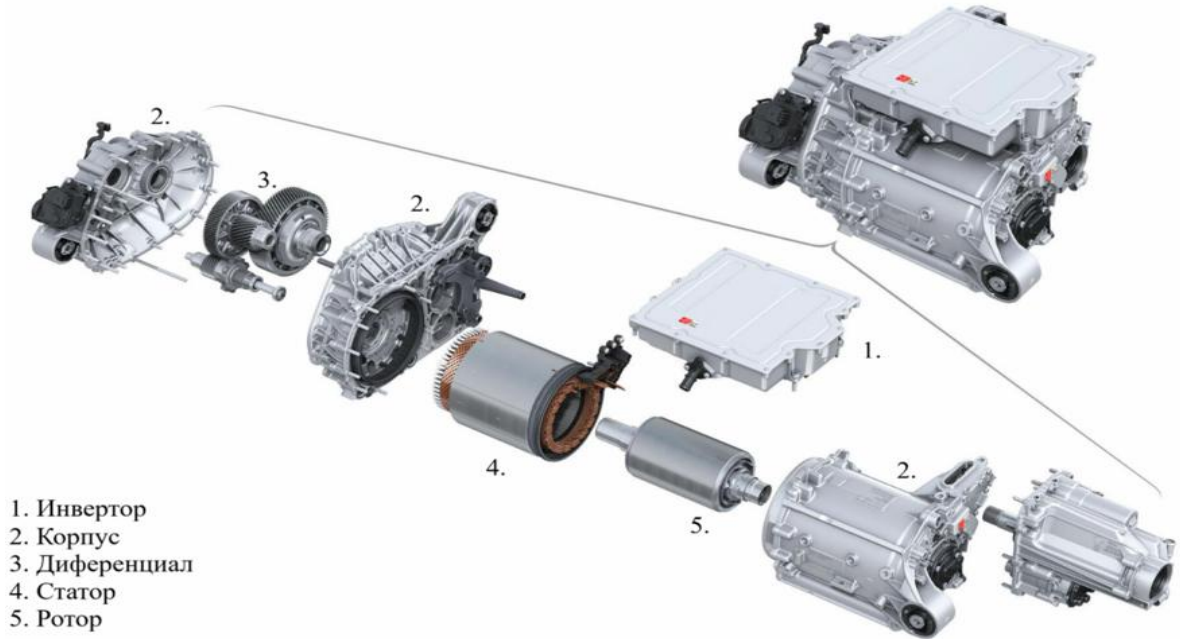
УВОД

Съвременното развитие на електромобилите поставя все по-високи изисквания към ефективността, надеждността и управлението на електрическите задвижвания. В този контекст асинхронните електродвигатели се утвърждават като едно от най-широко използваните решения, благодарение на своята проста конструкция, издръжливост и сравнително ниска цена. Ключова роля в управлението на тези задвижвания играят

инверторните системи, които осигуряват плавно и прецизно регулиране на скоростта, въртящия момент, както и на теглителните и спирачните характеристики на електромобила. Това позволява подобряване на енергийната ефективност, динамиката и комфорта при управление. В настоящият доклад се разглеждат принципите на работа на асинхронните електрозадвижвания, методите за управление на асинхронните електродвигатели и значението им за ефективната работа на съвременните електрически превозни средства.

СТРУКТУРА И НАЧИН НА РАБОТА НА АСИНХРОННИТЕ ЗАДВИЖВАНИЯ

Двата най-важни компонента в асинхронните електрозадвижвания са електродвигателят и честотния инвертор.



Фиг. 1. Асинхронно електрозадвижване за електромобил

- **Асинхронен електродвигател**

Асинхронният електродвигател е един от най-често използваните видове двигатели в електромобилите. Той работи на принципа на електромагнитната индукция, при която се създава въртящо се магнитно поле. Това поле кара ротора да се върти и така се получава движение. На Фигура 1 е представено на асинхронно електрозадвижване за електромобил.

На Фигура 2 се вижда принципна конструкция на асинхронен електродвигател [1]. Двигателят има две основни части – статор и ротор. Статорът е неподвижната част, а роторът е въртящата се част и е снабден с кафезна намотка в която се индуцират токове от въртящото се магнитно поле. Този тип двигатели са предпочитани, защото са надеждни, не изискват много поддръжка и могат да работят при различни условия.

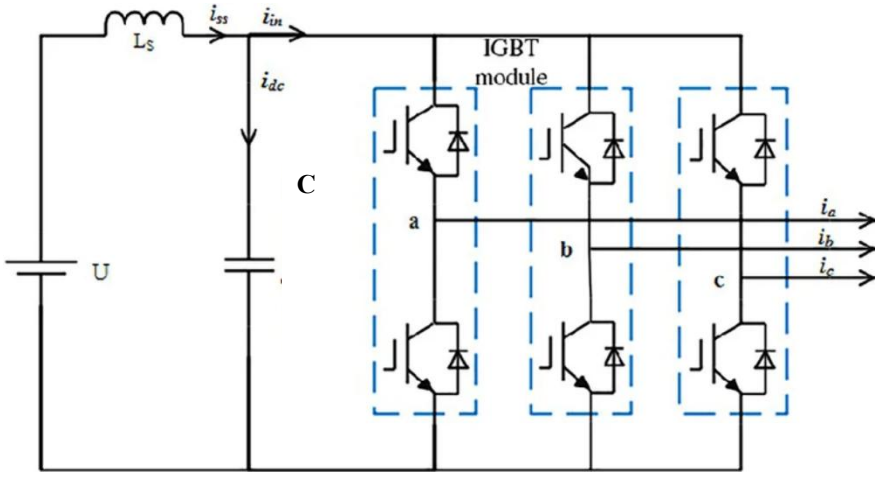
Управление чрез инвертор

Асинхронните двигатели не могат лесно да се управляват директно, затова е необходимо да се използва инвертор. На Фиг. 3 е представена силова схема на инвертора.

Това е най-важният компонент в съвременните електрозадвижвания на електромобили на Фигура 4 се вижда общия вид на възела инвертор и електродвигател за електромобил. Той променя честотата и напрежението, за да регулира плавно

скоростта и момента на двигателя. Инверторът представлява силов електронен преобразувател, който преобразува постоянното напрежение от батерията в трифазно променливо напрежение с регулируема честота и амплитуда с което се захранват намотките на електродвигателя. По този начин се осигурява възможност за плавно управление на електродвигателя в широк диапазон от режими на работа. Това е много важно за електромобилите, защото условията на движение постоянно се променят. Максимална ефективност се постига чрез прилагане векторно управление (FOC) и Direct Torque Control (DTC). което позволява бърз и точен контрол на електромагнитните величини в реално време.

Фиг. 2. Принципна конструкция на асинхронен електродвигател



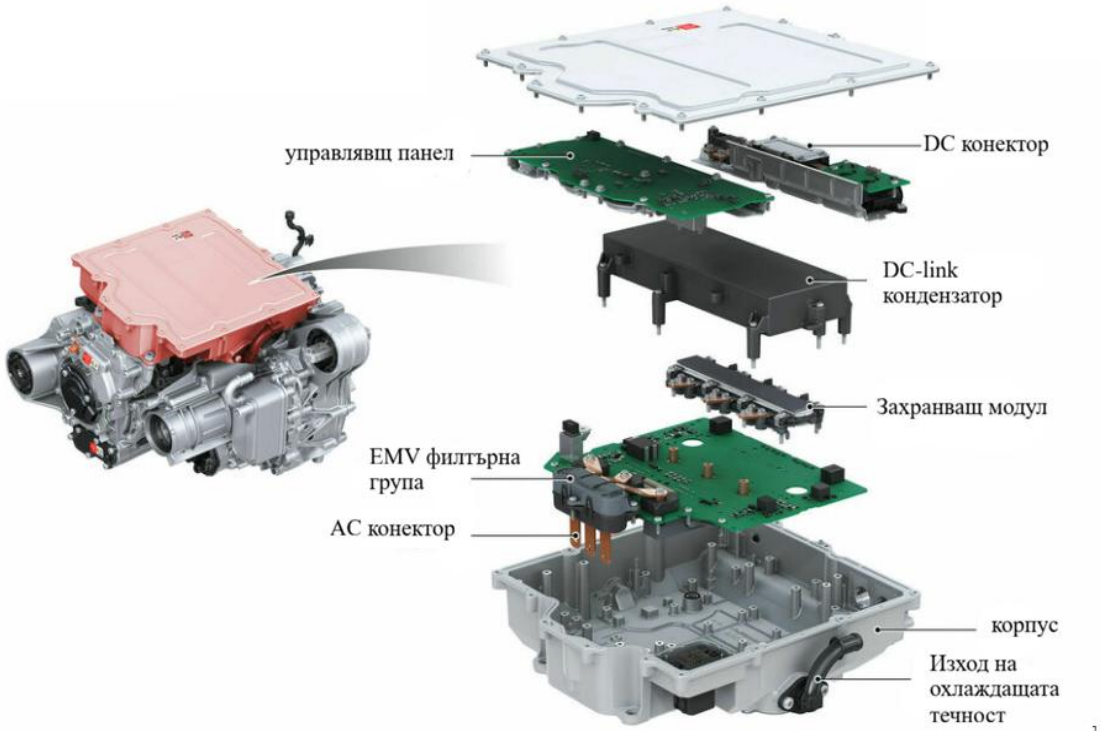
Фиг. 3. Силова схема на инвертор

- **Регулиране на скоростта и въртящия момент**

Въртящият момент е ключов параметър за динамиката на електромобила, тъй като определя ускорението и способността за преодоляване на натоварвания. При асинхронните двигатели моментът е пропорционален на тока в статора, което позволява чрез инвертора да се управлява директно ускорението на превозното средство. Прецизното регулиране на тока и магнитния поток осигурява оптимално съотношение между мощност, ефективност и стабилност на задвижването.

- **Спиране и регенерация**

Едно от съществените предимства на електромобилите е възможността за регенеративно спиране. В този режим електродвигателят преминава в генераторен режим, при което кинетичната енергия на автомобила се преобразува в електрическа и се връща обратно в батерията. Този процес повишава общата енергийна ефективност на системата, удължава пробега и намалява механичното износване на спирачните елементи. Регенерацията е особено ефективна при градски условия, където честите спирания позволяват значително възстановяване на енергия.



Фиг.4. Общ вид на възела инвертор и електродвигател за електромобил

- **Енергийна ефективност**

Енергийната ефективност на електрозадвижването е критичен фактор за пробега и общата производителност на електромобила. Тя се определя от ефективността на електродвигателя, загубите в инвертора, качеството на управлението и топлинните режими на работа. Минимизирането на електромагнитните, механичните и комутационните загуби води до по-нисък разход на енергия и по-дълъг пробег с едно зареждане. Съвременните алгоритми за управление оптимизират работната точка на двигателя, като поддържат висока ефективност в широк диапазон от натоварвания.

- **Приложение в електромобилите**

Асинхронните електродвигатели се използват широко в електромобилите, защото са надеждни и сравнително евтини. Те не използват постоянни магнити, което ги прави по-независими от редкоземни материали.

Освен това могат да работят при различни скорости и условия, което ги прави подходящи за реална употреба. В комбинация с инверторно управление се постига оптимален баланс между мощност, ефективност и контрол, което ги утвърждава като едно от водещите решения в електрическата мобилност.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Асинхронните електрозадвижвания, в комбинация със съвременни инверторни системи за управление, представляват едно от най-ефективните и надеждни решения за електромобилни приложения. Анализът в доклада показва, че простата конструкция, високата механична издръжливост и липсата на необходимост от постоянни магнити правят асинхронните електродвигатели икономически и технологично изгодни за масово производство. Инверторното управление, базирано на методи като векторно управление и Direct Torque Control, осигурява висока динамика, прецизност и адаптивност към променливите условия на движение. Рекуперативното спиране допринася за повишаване на енергийната ефективност и удължаване на пробега, което е ключов фактор за съвременните електромобили. В обобщение, интеграцията на асинхронни двигатели и инверторни системи формира технологична основа, която гарантира оптимален баланс между ефективност, контрол, надеждност и икономичност, утвърждавайки тези задвижвания като водещо решение в развитието на електрическата мобилност.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] https://dizzyriders.bg/post/14365/svetyt-na-elektricheskite-mashini
[2] https://www.audi-mediacenter.com/en/photos/detail/audi-q6-e-tron-quattro-123185
[3] https://www.audi-mediacenter.com/en/photos/detail/audi-q6-e-tron-quattro-123190

CONTROL SYSTEMS FOR INDUCTION MOTOR DRIVES AND INVERTER REGULATION OF SPEED, TRACTIVE EFFORT, AND BRAKING FORCE IN ELECTRIC VEHICLES

Ivaylo Petrov, Petko Kostadinov
ivo_ip@abv.bg, petko__kostadinov@abv.bg

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

Key words: *Induction motor drive, induction motor, electric vehicles, inverter control, speed regulation, torque, tractive effort, braking force, regenerative braking.*

Abstract: *This report provides an analysis of the principles, architecture, and control of induction motor drives in electric vehicles, focusing on inverter-based regulation of speed, torque, tractive effort, and braking force. Induction motors are characterized by high reliability, simple construction, and low maintenance, making them widely applicable in modern electric vehicles. The motor construction -comprising the stator, rotor, and squirrel-cage winding -is presented, and the operational principle demonstrating how electromagnetic induction generates the rotating magnetic field is explained. The role of the inverter is examined as a key converter that transforms DC voltage from the battery into three-phase AC power, providing precise control through methodologies such as Field-Oriented Control (FOC) and Direct Torque Control (DTC).*

Furthermore, the mechanisms for speed and torque control are analyzed, alongside the regenerative braking process, during which the kinetic energy of the vehicle is converted back into electrical energy and returned to the battery. The correlation between energy efficiency, inverter losses, and optimal control is highlighted. Based on the presented data, it is concluded that induction motor drives offer a balanced combination of efficiency, reliability, and cost-effectiveness, establishing them as a core element in the development of electric vehicle technologies.