

FRI-216-1-NTS(S)-03

---

## ELECTRIC MOTORS USED IN MODERN HYBRID AND ELECTRIC CARS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

### ИЗПОЛЗВАНИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ В СЪВРЕМЕННИТЕ ХИБРИДНИ АВТОМОБИЛИ И ЕЛЕКТРОМОБИЛИ И ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕТО ИМ

---

#### **Principal Assist. Prof. Milen Sapundzhiev, PhD**

Department of Philological and Natural Sciences, Silistra Branch,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
E-mail: milenvs@abv.bg

#### **Principal Assist. Prof. Valentin Manev, PhD**

Department of Philological and Natural Sciences, Silistra Branch,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
E-mail: vmanev@mail.bg

*Abstract.* This report provides an analysis of the advantages and disadvantages of electric motors used by hybrid cars and electric cars. The essential requirements for their exploitation and future development trends are listed.

*Keywords:* hybrid car, electric car, electric motor

#### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Търсенето на решения на енергийната криза от миналия век и замърсяването на въздуха от автомобилния транспорт се превърна в основен приоритет на автомобилните производители и поднови интересът към производство на електромобили [2, 5, 6, 8].

През последното десетилетие се наблюдава фундаментална промяна в начина, по който правителствата на държавите, подписали Рамковата конвенция на ООН по изменение на климата, обръщат внимание на въпросите свързващи енергетиката и околна среда [1]. В следствие на взетите мерки автомобилната индустрия претърпява драстични промени заради повишените изисквания към генерираните от транспорта парникови газове и намаляване на залежите от петрол.

Все повече производители на автомобили започват серийно производство на хибридни автомобили, които се явяват естествен преход към електромобилите. Наред с това са отправени огромни предизвикателства към учените и индустрията – необходими са по-ефективни батерии, които да осигуряват по-добра автономност на хибридните автомобили и електромобилите, както и по-ефективни електродвигатели.

#### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

Електродвигателят е машина, в които чрез взаимодействието на магнитни полета се преобразува електрическата енергия в кинетична. Процесът в обратна посока се осъществява от електрогенератори. Тяговите електродвигатели, използвани в хибридните автомобили и електромобилите, често изпълняват преобразуването на енергията в двете посоки.

Според типа си електродвигателите се делят на асинхронни и синхронни. По вида на използваната енергия биват постояннотокови и променливотокови електродвигатели, а по конструктивно изпълнение биват колекторни и безколекторни. По-долу са посочени техните основни предимства и недостатъци [8].

**Четкови постояннотокови електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити**

**Предимства:** голям пусков момент; понася значителни претоварвания; проста електрическа схема; лесно управление. **Недостатъци:** наличие на четков апарат; ниска максимална мощност; ниска специфична мощност; нисък к.п.д.

**Трифазни асинхронни двигатели**

**Предимства:** по-малка маса; по-малки габарити; липса на четки и колектори (по-висока надеждност); по-малка цена; лесна поддръжка. **Недостатъци:** сложно управление.

**Безчеткови постояннотокови електродвигатели**

**Предимства:** по-нисък разход на електроенергия (не е необходима възбуждаща намотка); сравнително лесно управление; лесно регенериране на електроенергия; малки размери; малък инерционен момент на ротора. **Недостатъци:** по-голяма неравномерност на въртенето; необходимост от принудително охлаждане за големи мощности.

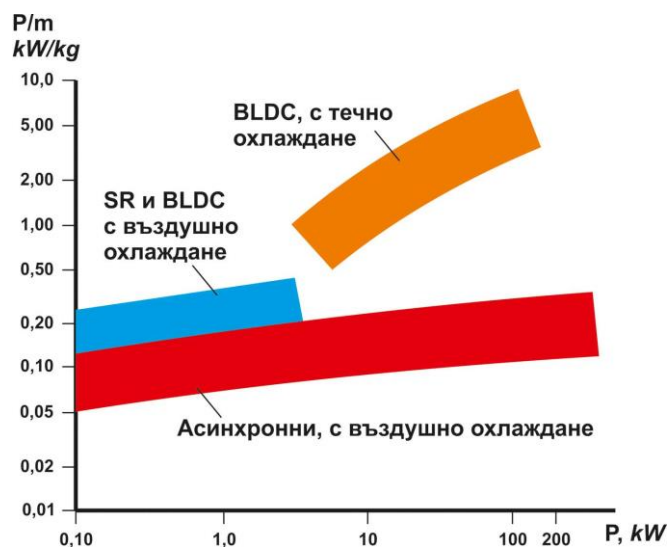
**Синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити**

**Предимства:** компактна конструкция; малък инерционен момент на ротора; по-добри енергетични показатели. **Недостатъци:** чувствителни са към измененията на натоварването и температурата; при високи скорости постоянните магнити променят свойствата си (когато загреят).

**Електродвигатели, работещи на реактивен принцип**

**Предимства:** проста и евтина конструкция; по-лесно охлаждане на корпуса; голям стартов момент; малък инерционен момент на ротора. работи с високи скорости и широк диапазон на изменение на мощността. **Недостатъци:** неравномерност на въртящия момент; по-високо ниво на шума; високи изисквания към крайните връзки и контролера. възможностите за регенериране на енергия са по-малки.

На фиг. 1. е показана енергонаситеността на различни типове електродвигатели в зависимост от мощността им. Областите показват препоръчителните възможности за приложение в електромобили и хибридни автомобили според вида на електродвигателя и типа на охлаждането [8].



Фиг. 1. Специфична мощност на различните видове електродвигатели

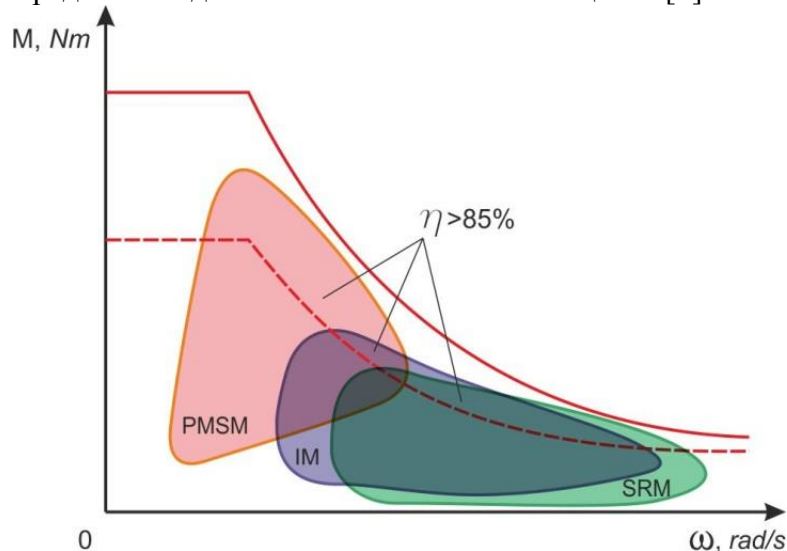
Тяговите електродвигатели на хибридните автомобили и електромобилите работят в тежки условия. Това налага поставянето на много изисквания към тях, по-важните от които са: да понасят значителни претоварвания (максималната стойност на въртящия момент да е до 2–3 пъти по-голяма от номиналната); да изменят въртящия момент и честотата на въртене в достатъчно широкограница; широк скоростен диапазон на работа с постоянна мощност; да развиват еднаква мощност при въртене на ротора и в двете посоки; голяма специфична

мощност, при малки габарити и тегло; малък инерционен момент на въртящите се части, което подобрява ускорителните свойства; по възможност цялата маса на електродвигателя да е окачена, за да несъздава динамични натоварвания; корпусът на двигателя да бъде достатъчно здрав, да не допуска проникване на прах и влага; изолацията да е с добри електрически, механични и термични свойства; ниско ниво на шум, лесно обслужване и ниска цена [3, 4, 8].

За задвижването на хибридни автомобили и електромобили са използвани следните видове електродвигатели: четкови постояннотокови двигатели с електромагнитно възбуждане, четкови постояннотокови двигатели с възбуждане от постоянни магнити, трифазни променливотокови асинхронни електродвигатели, синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити и работещи на реактивен принцип електродвигатели [3, 8].

През последното десетилетие основно се използват трифазни променливотокови асинхронни електродвигатели, електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити и работещи на реактивен принцип електродвигатели [3, 8], но в последните няколко години все най-често се използват електродвигателите с възбуждане от постоянни магнити.

При съпоставяне областите с к.п.д. над 85% за тези електродвигатели (фиг. 2) се вижда, че част от зоната на синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити е разположена под областта с максимален въртящ момент (при ниски скорости на движение), докато зоните на трифазни и променливотокови работещи на реактивен принцип електродвигатели са предимно под областта с максимална мощност [3].



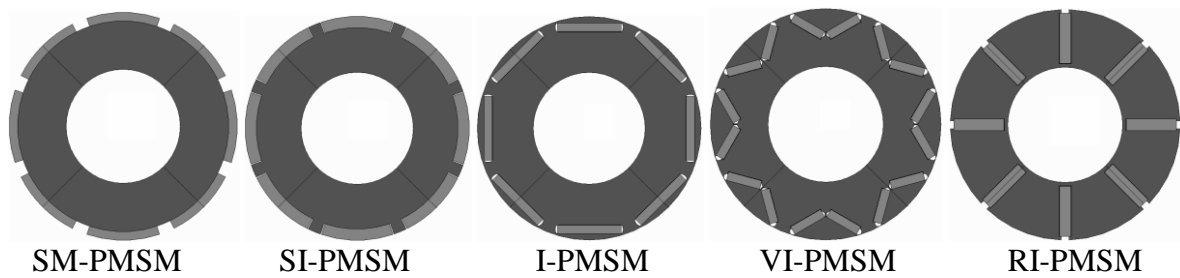
Фиг. 2. Съпоставяне разположението на зоните с енергийна ефективност над 85% за трите типа електродвигатели:

PMSM - синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити; SRM - електродвигатели работещи на реактивен принцип; IM - трифазни променливотокови електродвигатели

Изборът на електродвигателя зависи от потребностите на хибридният автомобил или електромобил. Основен критерий е пълен обхват и възможно най-висок к.п.д. в желания скоростен диапазон за движение.

Според [4] различното разположение на постоянните магнити в ротора при електродвигателите с възбуждане от постоянни магнити (фиг. 3) води до различно разположение на к.п.д. зоните на електродвигателя.

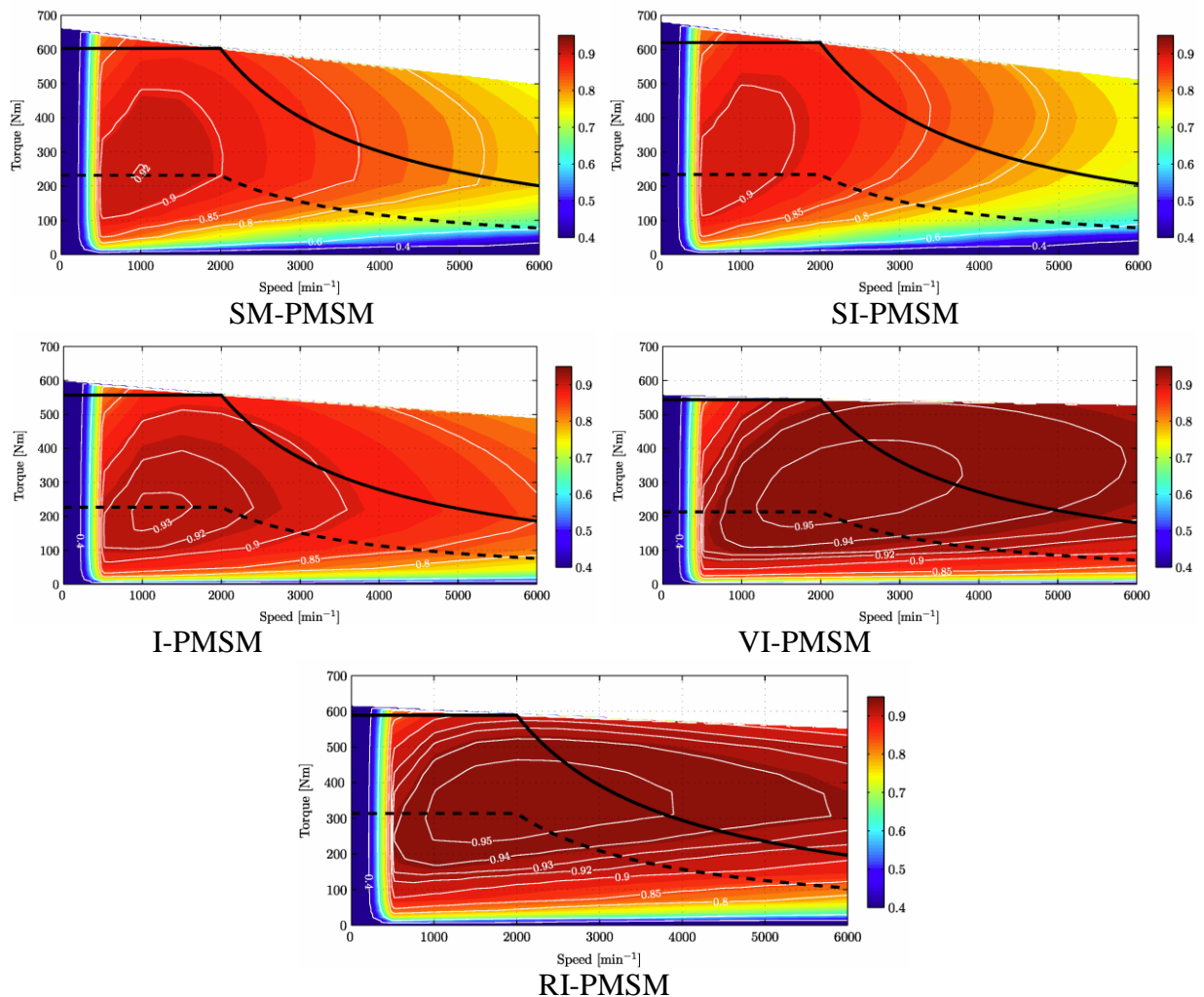
Фирмата TOYOTA използва в своите системи THS (Toyota Hybrid System) версия I и II съответно разположения на магнитите I-PMSM и VI-PMSM[7].



Фиг. 3. Различни разположени на постоянните магнити в ротора на електродвигател с постоянно възбуждане от електромагнити:

SM-PMSM - с външни повърхностни магнити; SI-PMSM - с вътрешни повърхностни магнити; I-PMSM - с вътрешни магнити, VI-PMSM - с V-образни вътрешни магнити; RI-PMSM - с радиално разположени вътрешни магнити

Чрез компютърна симулация [4] е получил резултат (фиг. 4) за предполагаемите зони на к.п.д. на електродвигателя при различните разположения на магнитите в ротора.



Фиг. 4. Теоретично разположение к.п.д. на електродвигатели с различно разположени магнити в ротора.

От фиг. 4 се вижда, че при различните разположения на постоянните магнити в ротора се променя зоната с к.п.д. над 85% процента както по форма и размер, така и по разположение спрямо честотата на въртене и големината на въртящият момент. При някои от разположенията е ясно изразено преобладаването на зоната с к.п.д. над 85% процента под

областта с максимален въртящ момент, а при други зоната с висок к.п.д. над 85% процента се разширява и обхваща значително областта с максимална мощност на електродвигателя. В някои от случаите зоната с к.п.д. над 85% процента обхваща почти целият скоростен диапазон на електродвигателя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изборът на електродвигателя зависи от потребностите на хибридният автомобил или електромобил. Основен критерий е пълен обхват и възможно най-висок к.п.д. в желания скоростен диапазон за движение.

2. Поради големите (съществени) си предимства към момента производителите на хибридни автомобили и електромобили се насочват основно към синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни мотори.

3. Различните разположения на постоянните магнити в ротора променят зоната с к.п.д. над 85% процента както по форма и размер, така и по разположение спрямо честотата на въртене на електродвигателя.

4. При различните разположения на магнитите ясно е изразено преобладаване зоната на к.п.д. над 85% процента под областта с максимален въртящ момент, а при други зоната с к.п.д. над 85% процента се разширява и обхваща значително областта с максимална мощност на електродвигателя. В някои от случаите зоната с к.п.д. над 85% процента обхваща почти целият скоростен диапазон на електродвигателя.

5. Към момента електродвигателите с възбуждане от постоянни магнити представляват основен интерес, но не бива да се пренебрегват и качествата на асинхронните и реактивните

### REFERENCES

- [1] *CO<sub>2</sub>Emissions From Fuel Combustion*, International Energy Agency, 2014
- [2] Eshani M., Y. Gao, A. Emadi. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles - Fundamentals, Theory, and Design* (Second Edition). Taylor&Francis, 2010, 534p., ISBN 978-1-14200-5398-2
- [3] Finken T., K. Hameyer. *Design of Electric Motors for Hybrid- and Electric-Vehicle Applications*.  
[https://www.researchgate.net/publication/268289590\\_Design\\_of\\_Electric\\_Motors\\_for\\_Hybrid-and\\_Electric-Vehicle\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/268289590_Design_of_Electric_Motors_for_Hybrid-and_Electric-Vehicle_Applications)
- [4] Finken T., M. Hombitzer, K. Hameyer. *Study and Comparison of several Permanent-Magnet excited Rotor Types regarding their Applicability in Electric Vehicles*.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/5668074>
- [5] Larminie J., J. Lowry. *Electric Vehicle Technology Explained*. John Wiley & Sons LTD, 2012, 314p. ISBN 978-1-119-94273-3.
- [6] *New Generation of Electric Vehicles* <http://dx.doi.org>
- [7] Toyota Hybrid System THS II.  
<http://www.sze.hu/~szenasy/SZINKRONMOTKUTFEJL/THS-II.pdf>
- [8] Евтимов И., Р. Иванов. *Електромобили*, Русе, 2011.