

СЪВРЕМЕННИ ПРОМЕНЛИВОТОКОВИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА ЕЛЕКТРОМОБИЛИ

Владислав Бойновски, Иван Миленов
v.boynovski@gmail.com, milenov55@abv.bg

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

Ключови думи: *електромобили, електрически задвижвания*

Резюме: *Поради по-строгите екологични норми в последните години, автомобилните производители все повече инвестират в разработването на електрически задвижващи системи. В доклада са разгледани съвременните тенденции в развитието на променливотоковите задвижвания за електрически и хибридни превозни средства. Направено е сравнение между различни видове електрически задвижвания, като са представени техните технически параметри и характеристики, както и присъщите предимства и недостатъци. Разгледани са всички основни типове променливотокови електрически задвижвания за електромобили: синхронни класически двигатели, синхронни двигатели с постоянни магнити, асинхронни двигатели, както и реактивни двигатели. Направено е проучване на предлаганите на пазара автомобили с хибридно или чисто електрическо задвижване и са представени използваните видове задвижвания в най-популярните електромобили и хибриди. Направеният сравнителен анализ показва, че в момента най-широко разпространение са получили електромобилите задвижвани със синхронни двигатели с постоянни магнити. Показано е, че този избор не е случаен и е предопределен от големите предимства, които имат тези двигатели. Само при задвижвания с много големи мощности, са се наложили асинхронни двигатели, при които няма ограничение по отношение на мощността.*

УВОД

Първите прототипи на електромобили са създадени през 1835г. преди създаването на двигателя с вътрешно горене. През 1895г. в САЩ е представена първата електрическа триколка, а в началото на 20ти век 38% от автомобилите в Америка са задвижвани от електрическа енергия, като през 1912г. продажбата на електрически автомобили достига своя връх. След 1920г. с развитието на двигателите с вътрешно горене, разработването на петролни находища и евтино масово производство на бежинови автомобили довеждат до спад в търсенето на електромобилите[3,5].

Първите електромобили са задвижвани от постоянно-токови двигатели и са използвали оловно-киселинни акумулатори.

Синхронните и асинхронните машини възникват почти едновременно в края на 19ти и началото на 20ти век, но използването им за задвижване на автомобили по онова

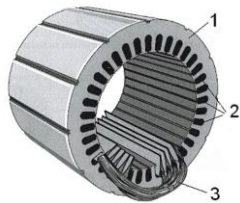
време не е било възможно поради сложното им управление. Това става възможно след средата на 20ти век с откритието на полупроводниците и развитието на мощни ключови транзистори.

От началото на 21ви век с въвеждането на все по-строги екологични норми интересът към електромобилите се поднови и автомобилните производители започнаха все повече да инвестират в разработване на електрически задвижващи системи.

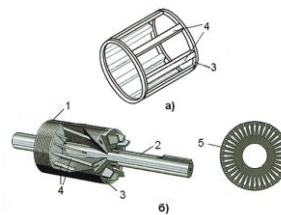
ИЗЛОЖЕНИЕ

За съвременните електромобили, големите производители разработват променливотокови задвижващи системи с асинхронни, синхронни и реактивни двигатели.

Асинхронните двигатели са променливотокови машини, които работят с въртящо се магнитно поле. Състоят се от ротор и статор. В електромобилите се използват асинхронни двигатели с накъсо съединен ротор (кафезен ротор).



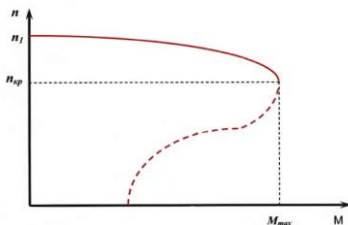
Фиг.1. Статор на асинхронен електродвигател;
1-статор; 2-каналы за статорната намотка;
3-част от статорната намотка



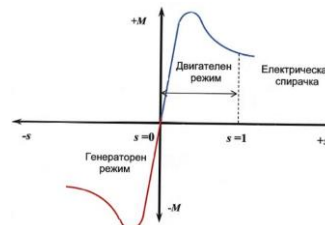
Фиг.2. Накъсо съединен ротор на асинхронен електродвигател; а-схема; б-устройство;
1-роторен пакет; 2-вал на ротора; 3-челен диск; 4-алуминиеви или медни пръти; 5-ламела от роторния пакет

При протичане на трифазен променлив ток, в статорната намотка се възбужда въртящо се магнитно поле, магнитните силови линии на което, пресичат роторната намотка и индукират в нея ЕДН. Токът, който протича в роторната намотка създава свое магнитно поле, което взаимодейства със статорното магнитно поле и от взаимодействието на двете полета се създава въртящ момент, който завърта ротора по посока на въртящото се магнитно поле [2,3].

Честотата на въртене на магнитното поле и на ротора е различна, като честотата на въртене на ротора при постоянна честота на захранващото напрежение зависи от натоварването



Фиг.3. Зависимост между честотата на въртене на ротора и въртящия момент на асинхронния двигател



Фиг.4. Зависимост на въртящия момент M от хлъзгането s

Предимства на асинхронните двигатели са по-малки габарити и маса при еднакви мощности в сравнение с постояннотоковите, липсва колектор и четки, по-висок КПД, лесна поддръжка.

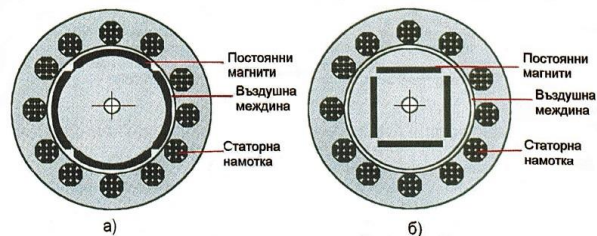
Недостатък е сложното управление.

Синхронните двигатели са променливотокови машини, при които ротора се върти със синхронна скорост, т.с. честотата на въртене на ротора е равна на честотата на въртене на магнитното поле ($n = n_1$).

Статорната намотка е трифазна като при асинхронните машини. Захранването е с трифазен променлив ток със синусоидална форма. Ротора е изработен от феромагнитен материал и в него са поставени възбудителна намотка или постоянни магнити с пускова кафезна намотка.

Работата на синхронната машина се основава на взаимодействие между въртящото се магнитно поле създавано от статорната намотка и магнитното поле създавано от възбудителната намотка или постоянните магнити в ротора.

В съвременните електромобили най-голямо приложение намират двигателите с постоянни магнити (PMSM), тъй като са доста по-ефективни от асинхронните и нямат вторични намотки на роторите си. Поради синхронната работа почти изцяло се елиминират електрическите и магнитни загуби на ротора. Също така нямат колектори, което опростява конструкциите и намалява загубите във веригата на възбуждане.



Фиг. 5. Променливотокови синхронни двигатели с постоянни магнити:
а-с разположени постоянни магнити по повърхността на ротора; **б-с** разположени постоянни магнити във вътрешността на ротора

Повечето съвременни синхронни двигатели с постоянни магнити се конструират на базата на неодимови магнити. Те представляват постоянни магнити, направени от сплав на неодим, желязо и бор ($Nd_2Fe_{14}B$). Използват се и постоянни магнити от типа: самарий-кобалт ($SmCo_5$; Sm_2Co_{17}), AlNi, Alnico и Ticonal.

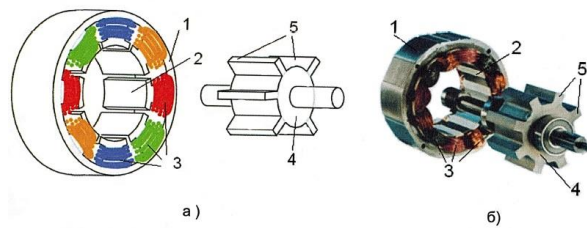
Неодимовите магнити са много мощни за масата си, но са крехки и най-мощните видове губят магнетизма си при температура над 80°C . Обикновено повърхността им е облицована с никел. По-термоустойчивите видове могат да работят при температура до 250°C . Силата на термоустойчивите неодимови магнити е приблизително равна на самариево-кобалтовите ($SmCo_5$; Sm_2Co_{17}) магнити, които могат да запазят магнетизма си до по-висока температура [3,6].

Предимствата на PMSM са компактна конструкция; малък инерционен момент на ротора и бързата реакция на промяна на режима на работа; работят по-добре от четковите постояннотокови при висока честота на въртене; в сравнение с асинхронните имат по-добри енергитични показатели и по-гъвкави регулировъчни характеристики

Недостатъците им се свеждат до: чувствителни към изменения на температурата и натоварването; при високи скорости, поради загряване, постоянните магнити променят свойствата си [2,3].

Електродвигатели, работещи на реактивен принцип (SR)

Роторът на електродвигателя е от магнитно мек материал (електротехническа стомана) и няма нито постоянни магнити, нито роторна намотка. Когато се подаде захранване на статорната намотка, в резултат на появилото се магнитно поле възникват сили на привличане и момент, който завърта ротора така, че да се минимизира въздушната междина.



**Фиг.6. Основни части на SR електродвигател: а- тип 8/6; б- тип 12/8;
1-статор; 2-полюси на статора; 3-статорна намотка;4-ротор;5-гребени на ротора**

Създаваният въртящ момент и въртенето на ротора на елементарния SR двигател са значително неравномерни. Неравномерността може да се намали, ако се поставят повече полюси на статорната намотка, а роторът се изработи с такава форма, че да има няколко изпъкнали надлъжни гребена (т. нар. изпъкнали полюси). Броят на гребените обикновено е с 2 по-малко от полюсите на статора. Възможни са комбинации като 6/4, 10/4, 12/8.

Намотките на полюсите на статора се захранват и изключват последователно в строго определен момент и ред и така се поддържа въртенето на ротора. Скоростта може да се контролира чрез продължителността на времето, през което се подава захранване на полюсната намотка. Контролерите са с просто устройство, защото не е нужно да се сменя посоката на тока в полюсите на статорната намотка – нужен е само микропроцесор и няколко електронни ключа.

Тъй като роторът не е постоянен магнит не се генерира ПрЕДН и тези двигатели работят добре при високи скорости. Въпреки, че КПД на SR двигателите е малко по-нисък от този на безчетковите постояннотокови електродвигатели (BLDC), те поддържат висок КПД в широк диапазон.

Предимствата на SR електродвигателите може да се обобщят като: проста и евтина конструкция заради липсата на роторна намотка или постоянни магнити; не е нужно реверсиране на захранващия ток, което прави по-просто управлението; загряването е в статора, което е по-лесно за охлаждане на машината; механичната характеристика може да бъде по-лесно пригодена към изискванията на задвижваната машина, отколкото при асинхронните или BLDC; голям стартов момент; възможна по-висока температура на ротора, заради отсъствието на магнити; малък инерционен момент на ротора; възможна работа с високи скорости в широк диапазон на изменение на мощността; индивидуално захранване на полюсните намотки и възможна работа дори при загуба на захранването на една или няколко от двойките полюсни намотки.

Недостатъци. Неравномерността на създавания въртящ момент и по-високото ниво на шум; високи изисквания към крайните връзки и контролера, което оскъпява използването им; възможностите за регенериране на енергия от този тип електродвигатели са по-малки, тъй като ротора няма постоянни магнити или намотка [2,3].

В таблица 1 са дадени техническите параметри и характеристики на най-широко разпространените електромобили към момента [5,7,8,9,10,11,12,13,14,15].

Анализът на резултатите от таблицата показва еднозначно, че най-широко разпространените задвижвания са променливотокови синхронни двигатели с постоянни магнити. От 10 автомобила 8 са с PMSM. Само един от електромобилите е синхронен двигател с възбудителна намотка, но това не се явява предимство, а недостатък. Очевидно конструкторите използват такъв двигател за да избегнат използването на редкоземно магнити с каквито не разполагат всички производители. Също така само на един от всичките разгледани електромобили е използван асинхронен електродвигател. Това също не е предимство освен ако не се разглеждат задвижвания с голяма мощност.

Такива задвижвания се използват на тролейбуси, електробуси, електрически товарни автомобили, електрически локомотиви и други. Асинхронните двигатели могат да бъдат с много голяма мощност каквато не може да се достигне при променливотоковите двигатели с редкоземни магнити.

Таблица 1

Общи данни	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Производител	Nissan	KIA	Volkswagen	Volkswagen	BMW	Hyundai	Mercedes-Benz	Renault	Tesla	Toyota
-Модел	Leaf	Soul EV	e-Golf	e-Up	i3	Ioniq	B-klasse	Zoe	Model S 75	Prius
-Страна производител	Япония	Корея	Германия	Германия	Германия	Корея	Германия	Франция	САЩ	Япония
- Година на производство	2013	2014	2017	2016	2013	2016	2015	2016	2016	2017
Масови параметри	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Собствена маса – тс, kg	1474	1465	1485	1129	1220	1420	1625	1403	2075	1530
- Маса на полез.товар–тт, kg	471	495		401	455	460	545	563	515	325
+ бр. пътници(без водач)–п	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
+ брой места	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1
- Пълна маса – т, kg	1945	1960		1530	1675	1880	2170	1966	2590	1855
Геометрични параметри	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Габаритни размери(Lг, Вг, Нг), м	4445, 1770, 1550	4140, 1800, 1593	4255, 1799, 1452	3600, 1645, 1492	3999, 1775, 1578	4470, 1820, 1450	4359, 1786, 1557	4084, 1730, 1562	4970, 1964, 1445	4645, 1760, 1470
- Междусосово р-ние–L, м	2700	2570	2637	2421	2570	2700	2699	2588	2960	2700
- Колея (следа) В, м										
+ предна ос	1540	1576	1549	1412	1571	1555	1552	1511	1662	1531
+ задна ос	1535	1585	1520	1408	1576	1564	1549	1510	1700	1534
Минимален радиус на завой	10,4		10,9	9,8	9,9	10,3	11	10,6	11,3	
Двигател	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Тип: синхронен, асинхронен	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с роторна намотка	Асинхронен	Синхронен с постоянни магнити
- Ре, max; kW	80	81	100	60	125	88	132	68	235	53
- Ме, max; Nm	254	285	290	210	250	295	340	220	440	163
- n, max; min-1	10390		12000		11400		14500	11300	18000	
- η, max	0,97		0,95	0,95	0,97			0,9	0,88	
- Захранващо напрежение, V	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- Брой полюси	8				6				4	
- Разположение (пр./задно; надл./напр.)	Предно	Предно	Предно	Предно	Задно	Предно	Предно	Предно	Задно	Предно
Батерия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Вид	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion polymer	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
- Капацитет - kWh	24	27	35,8	18,7	33,2	28	28	22	75	8,8
- Маса; kg	294	277	317		204	267	290	290	530	120
- Напрежение - V	345	360	323	374	353	360	300	400	375	351,5
Трансмисия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- iо	7,94		9,71		9,67	7,41	9,73	13,5	9,7	3,218
Експлоатационни параметри	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Максимална скорост Vmax, km/h	144	145	150	130	150	165	160	135	225	138
- Време за ускоряване до V=100km/h	11,5	11,2	9,1	12,4	7,3	9,9	7,99	14,5	5,5	11
- Разход на енергия (kWh/100km)	15	14,7	11,9	11,7	12,6	11,5	17,6	13,3	20	
Каросерия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Пътническа, товарна	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа
- Брой врати	4+1	4+1	4+1	4+1	3+1	4+1	4+1	4+1	4+1	4+1
Гуми	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Предни	205/55R16	205/60R16	195/65R15	165/65R15	155/60R20	205/55R16	205/55R16	185/65R15	245/45R19	195/65R15
- Задни	205/55R16	205/60R16	195/65R15	165/65R15	175/55R20	205/55R16	205/55R16	185/65R15	245/45R19	195/65R15

ИЗВОДИ

- Най-широко приложение в съвременните електромобили намират PMSM заради тяхната проста конструкция и много високите технически параметри и характеристики.

- За по-мощните елктрозадвижвания най-широко приложение намират асинхронните задвижвания, които също се отличават с проста конструкция.

- Задвижванията с реактивни двигатели се явяват перспективно направление, но към момента все още не са достигнали необходимото техническо ниво за прилагането в серийните електромобили.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Българанов Л. Миленов И. Павлов Г. Джамбазки Ч. Електрозадвижане, София-2009
- [2] Минчева М. Електромеханични устройства, Електрически машини и апарати, София-2008
- [3] Евтимов И., Р. Иванов, Електромобили, Русе 2011
- [4] Larminie J. Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained, West Sussex 2003
- [5] www.roperld.com
- [6] <https://bg.wikipedia.org>
- [7] <https://media.group.renault.com>
- [8] <https://cleantechnica.com>
- [9] <https://www.nissan-global.com>
- [10] <https://www.coilwindingexpo.com>
- [11] <https://www.caranddriver.com>
- [12] <https://www.press.bmwgroup.com>
- [13] <https://www.cars-data.com>
- [14] <https://www.energy.gov/sites>
- [15] media.toyota.co.uk

MODERN AC ELECTRIC DRIVES FOR ELECTRIC VEHICLES

Vladislav Boynovski, Ivan Milenov
v.boynovski@gmail.com, milenov55@abv.bg

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

Key words: *electric vehicles, electric drives*

Abstract: *Due to the stringent environmental standards in recent years, car manufacturers are increasingly investing in the development of electric drive systems. The report examines the current trends in the development of AC drives for electric and hybrid vehicles. Comparison is made between the different types of electric drives and their technical parameters and characteristics, as well as the inherent advantages and disadvantages. All major types of electric AC drives for electric cars are considered: synchronous electric motors, synchronous magnets with permanent magnets, asynchronous motors, and jet engines. A study has been conducted on hybrid and pure electric vehicles available on the market and the types of drives used in the most popular electric vehicles and hybrids are presented. The comparative analysis shows that currently the most widely available electric vehicles are powered by synchronous motors with permanent magnets. It is shown that this choice is not accidental and is predetermined by the great advantages these engines have. Only asynchronous motors with no power limitation are required for very high power drives.*