

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕТО НА КОМПАКТНО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ТРАНСПОРТНО СРЕДСТВО

Любомир Димитров¹, Свилен Рачев¹, Стефан Филчев²
eng.L.Dimitrov@abv.bg, sratchev@mail.com, sfilchev@yahoo.com

¹Технически университет – Габрово, ул. “Хаджи Димитър” 4, Габрово 5300,
²ЕСО ЕАД – Варна, ул. “Оборище” 13А, Варна 9000,
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *електромобил, безколекторен двигател за постоянен ток, електромеханична характеристика, тягова характеристика.*

Резюме: *Обект на изследванията е компактен електромобил с конструкция, базирана на три колела – предните са управляеми, а задното е задвижващо, като монтирането на задвижващ електродвигател директно в задното колело намалява фрикционната загуба на енергия и спестява място. За задвижване е използван безколекторен двигател за постоянен ток (Brushless Direct Current Motor – BLDC motor) – храненето на статорните намотки е синхронизирано с положението на ротора чрез сензори на Хол, тоест комутацията се осъществява и управлява с електроника. Реализацията на електрическо транспортно средство с този двигател е поради известните предимства: добри енергетични показатели, не се изразходва енергия за възбуждане; проста, компактна и лека конструкция; сравнително лесно управление; възможност за рекулерация на енергия; малък инерционен момент на ротора. Храненето е чрез оловно-киселинни акумулаторни батерии, изработени по технология, при която положителната и отрицателната плоча са разделени от тънка мрежа от стъклени микровлакна, напоена с електролитна течност с въглерод. Този тип акумулаторни батерии е избран с оглед сравнително лесното им закупуване от пазара и приемливата цена. С цифрова измервателна апаратура и съответен софтуер са проведени измервания при движение на електромобила, вследствие на което в табличен и графичен вид са получени електромеханична и електротягова характеристики.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Един от основните замърсители на околната среда (не и най-големите) са автомобилите. Различни компании и научни екипи в света работят по алтернативни варианти за задвижване на автомобилите, които да премахнат енергийната зависимост на индустрията от изчерпаемите енергоизточници. Прогнозите за изчерпването на нефтените залежи вероятно са по-силната мотивация при търсенето на решение, отколкото глобалното затопляне. Решаването на проблемите, свързани със замърсяването на околната среда и енергийната зависимост от изчерпаемите горива, изглежда постижимо с възможностите на съвременните технологии и довежда до развитие на електромобилостроенето и утвърждаване на електромобила като превозно

средство. Освен това електрическата тяга създава условия за по-приятно пътуване и добро поддържане и опазване на околната среда и има широки възможности за комплексна автоматизация [2].

II. ТЕХНИЧЕСКО РЕШЕНИЕ

Техническото решение, обект на изследванията, е компактен електромобил със следните особености [3]:

- ◆ задвижване с постояннотоков безколекторен електродвигател (BLDC) с технически данни: $P_{2H}=700\text{ W}$; $U_{1H}=36\text{ V DC}$; $n_H=520\text{ min}^{-1}$; $I_{max}=22\text{ A}$; възможност за рекуперация на енергия; маса $m=5.8\text{ kg}$; Хол-сензори – 3 бр. (синхронизират превключването на захранването на статорните намотки с положението на ротора, т.е. комутацията се осъществява и управлява с електроника);

- ◆ конструкция, базирана на три колела, като предните са управляеми, а задното задвижващо; монтирането на задвижващ електродвигател директно в задното колело намалява фрикционната загуба на енергия и спестява място;

- ◆ използван електрохимичен енергиен източник – оловно-киселинни акумулаторни батерии AGM (Absorbent Glass Mat – технология при оловно-киселинните акумулатори, при която положителната и отрицателната плоча са разделени от тънка мрежа от стъклени микровлакна, напоена с електролитна течност с въглерод (оловно-въглеродната структура възпрепятства отрицателното сулфатиране на плочите, наблюдавано често в режима на частично зареждане на батерията) 3 бр. с $U=12\text{ V}$ и $C=12\text{ Ah}$, с оглед лесното закупуване и приемливата цена; оловно-киселинните акумулатори често се използват в някои микрохибриди и в прототипи на хибридни електромобили HEV (Hybrid Electrical Vehicle);

- ◆ управление на електродвигателя със специализиран контролер за $P_H=700\text{ W}$; $U_{1H}=42\text{ V}$; $I_{max}=22\text{ A}$.

- ◆ максимално допустима маса на електромобила – 140 kg, като е предвидено тегло на водача до 80 kg;

- ◆ осигуряване на автономен пробег от 40 km и скорост на движение до 30 km/h;

- ◆ габаритни размери: дължина 2100 mm; ширина 1230 mm; височина 1560 mm.



Фиг. 1. Общ вид на изследвания електромобил

Монтирането на акумулаторните батерии е подбрано с оглед зареждането им да се осъществява както върху електромобила, така и извън него, като едновременно с това е съблюдувано и равномерно разпределение на масата на целия електромобил и

постигане на сравнително добър център на тежестта. Контролерът за управление на електродвигателя е монтиран така, че да е защитен от въздействието на околната среда.

Предвидени са измервателни уреди, с цел мониторинг на работата на електродвигателя и на електромобила като цяло по време на работа в различни режими – напр. предвиден е амперметър със средна точка, даващ информация кога се консумира енергия от акумулаторните батерии и кога те се зареждат от преминалата в генераторен режим електрическа машина. Влияние оказват възникващите и протичащи преходни процеси в задвижващия механизъм, а именно в тяговия двигател [1]. Отделен елемент от електрическата схема е устройство за регулиране на скоростта на електромобила съвместно с електрически индикатор за степента на зареденост на акумулаторните батерии, като регулирането на скоростта се осъществява чрез педал, свързан към това устройство. Отчитането на скоростта и пробегата на електромобила се осъществява с електронен скоростомер. В процес на внедряване са два фотоволтаични (PV) модула, които да служат за зареждане на акумулаторните батерии.

Регенерирането на енергия по време на спиране е възможно и при BLDC двигатели. Тъй като постоянните магнити на ротора се въртят, те индуцират в статорната намотка ЕДН. По-доброто в сравнение с четковите постояннотокови двигатели е това, че генерираната електроенергия не се сменя през четки, а от неподвижната статорна намотка. Управлението на зареждането при спиране се извършва от контролера, като се спазват валидните и при други типове двигатели условия за зареждане при ниска скорост на движение и ограничаване на максималния ток към батерията.

Предимствата на BLDC двигателите се изразяват в: по-добрите енергетични показатели, защото не се изразходва енергия за възбуждане; простата конструкция; сравнително лесното управление; лесното регенериране на енергия; компактната и лека конструкция; малкият инерционен момент на ротора. Принципът на действие е във всеки момент две от намотките да са свързани последователно към захранващото напрежение, а третата да е свободна. В съответствие с принципа на действие на BLDC, скоростта на въртене се определя от движещото се магнитно поле на статора, т.е. от това колко време всяка двойка намотки остава включена, а то се задава от управляващия контролер. При BLDC двигателите поради линейната зависимост на консумирания ток от въртящия момент на товара е възможно чрез осигуряване от управлението на неизменен ток да се получи постоянен въртящ момент. При използването на BLDC двигатели с управление, ограничаващо тока до определена максимална стойност, трябва да се има предвид една важна особеност – при този максимален ток нарастването на въртящия момент на товара води до намаляване на скоростта на въртене, т.е. тя губи зададена постоянна стойност. Нормалната работа на BLDC двигателите изисква постоянно следене на положението на ротора, като получените сигнали се връщат към съответните входове на контролера.

Недостатъците на BLDC двигателите са: по-голямата неравномерност на въртенето отколкото при синхронните машини; необходимостта от принудително охлаждане при по-големи мощности. Ефективността на BLDC двигателите за големи мощности над 1 kW не е висока. Поради загряването от токовете на Фуко (т.к. неодимовите магнити се правят от проводими материали, а работят в променливи полета с достатъчно висока честота), и поради ниската температура (точка) на Кюри (температурата, над която феромагнитните вещества стават парамагнитни, или с други думи когато магнитните материали губят магнитните си свойства) магнитите загубват голяма част от силата си. Охлаждането на магнитите е проблем, по който се работи в момента във водещите фирми. Важен е и режимът на работа – напр. непрекъснат (S1) или периодичен (S3).

III. РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕДЕНИ ИЗМЕРВАНИЯ

Получени са резултати при движение на електромобила с различна скорост по сухо асфалтово пътно платно при натоварване 73 kg (тегло на водача). По отношение на относително равния участък за изпитанията – ъгълът на напречния наклон (диферент), измерен в проценти е тангенсът на ъгъла, който се получава, умножен по 100, т.е. в случая $\tan 2^\circ = 0.0349 \approx 3.5\%$. Основната задача е определянето на измененията на тока по време на работния процес [3]. При протичащ голям ток може да възникне недопустимо голям въртящ момент, който може да предизвика недопустими ускорения на ЕТС и недопустими механични напрежения в силовото предаване [4, 5].

Използваната цифрова измервателна апаратура и софтуер за измерване са:

- ◆ графичен мултиметър PeakTech 3440, с пренос на данни чрез Bluetooth 4.0;
- ◆ софтуер за изобразяване и запис на данни в реално време Software for PeakTech Digital Multimeters – DMM Tool;
- ◆ скоростомер SIGMA BC 16.12 STS, с пренос на данни чрез безжична (wireless) комуникация;
- ◆ софтуер за запис на данни в реално време SIGMA DATA CENTER 5.5.

Целта е да се отчетат стойностите на тока I [A], честотата на въртене n , [min^{-1}] и скоростта на движение на електромобила V , [km/h]. Така получените резултати дават възможност за начертаване на електромеханична и тягова характеристики на задвижващия двигател на електромобила.

Получените резултати са поместени последователно в таблица 1, таблица 2 и таблица 3 и са построени съответните графични изображения на Фиг. 2, Фиг. 3 и Фиг. 4.

Таблица 1. Стойности за тока спрямо честотата на въртене

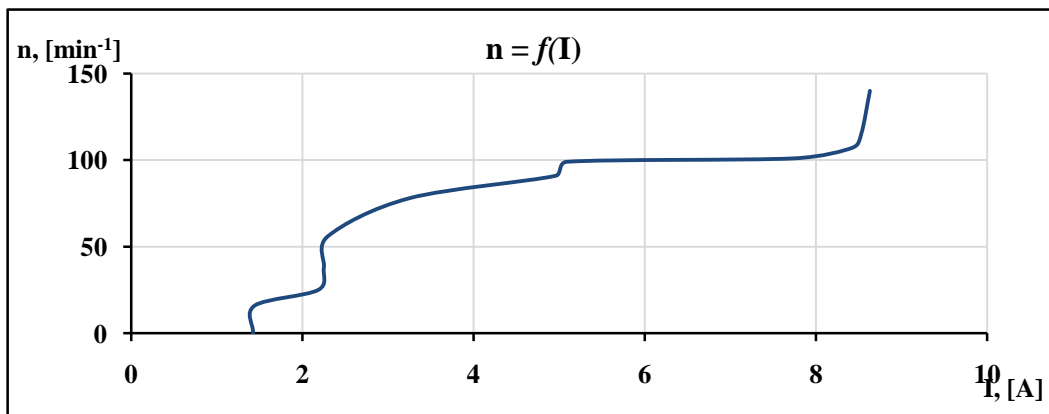
№	I, [A]	n, [min^{-1}]
1	1.423	0
2	1.444	16
3	2.186	25
4	2.251	38
5	2.298	56
6	3.252	78
7	4.965	91
8	5.088	99
9	7.745	101
10	8.421	107
11	8.531	115
12	8.633	140

Таблица 2. Стойности за тока спрямо скоростта на движение

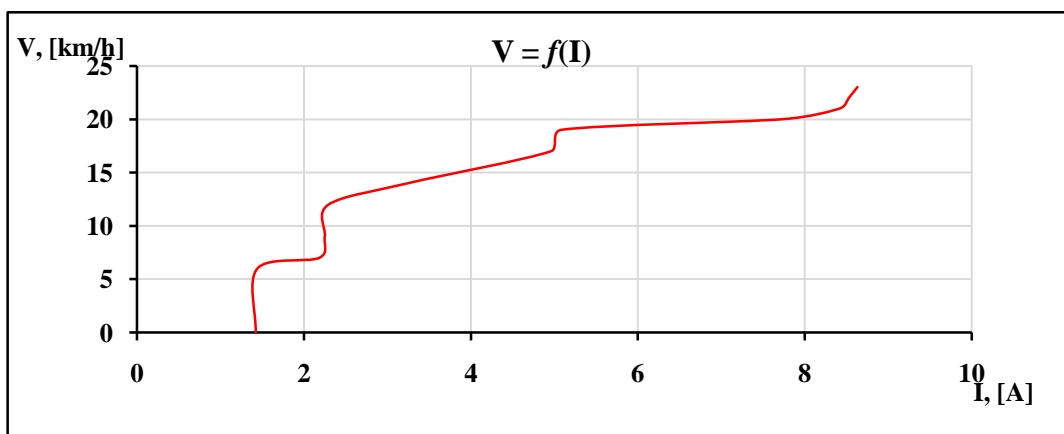
№	I, [A]	V, [km/h]
1	1.423	0
2	1.444	6
3	2.186	7
4	2.251	9
5	2.298	12
6	3.252	14
7	4.965	17
8	5.088	19
9	7.745	20
10	8.421	21
11	8.531	22
12	8.633	23

Таблица 3. Връзка между скоростта на движение и честотата на въртене

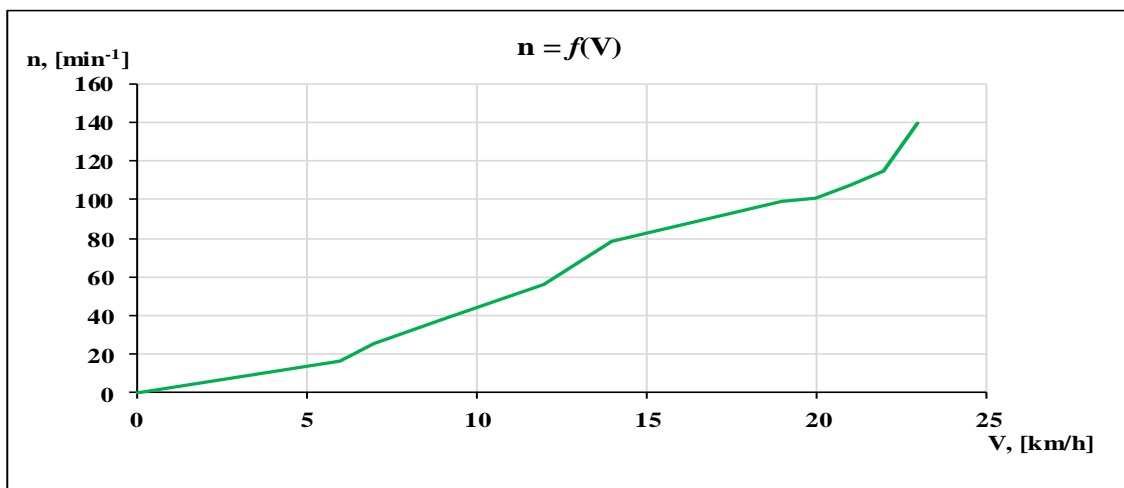
№	V, [km/h]	n, [min^{-1}]
1	0	0
2	6	16
3	7	25
4	9	38
5	12	56
6	14	78
7	17	91
8	19	99
9	20	101
10	21	107
11	22	115
12	23	140



Фиг. 2. Електромеханична характеристика на двигателя при движение с конкретния товар



Фиг. 3. Електротягова характеристика на двигателя при движение с конкретния товар



Фиг. 4. Зависимост между механични величини (честота на въртене и линейна скорост на движение) за електромобила при конкретния товар

IV. ИЗВОДИ

Известно е, че оптималното решение никога не зависи само от един компонент, а от съгласуването на всички компоненти. Затова е важно да се анализира общото решение – както от техническа гледна точка, така и спрямо разходите и ползите. Получените резултати показват, че в работен режим при движение с конкретния товар двигателят се натоварва в допустими граници, видно от

електромеханичната характеристика и от електротяговата характеристика - фиг. 2 и фиг. 3. При движение с максимална скорост $V=23$ km/h, токът достига максимална стойност $I=8.633$ А. Предвид, че $I_{\max}=22$ А, двигателят работи с малко натоварване. Получената електромеханична характеристика от фиг. 2 показва, че с увеличаване на честотата на въртене токът на двигателя се изменя плавно. Зависимостта между механични величини (честота на въртене и линейна скорост на движение), изобразена на фиг. 4, показва, че с увеличаване на скоростта на електромобила почти линейно се изменя и честотата на въртене.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Българанов. Л. Електрически транспорт, ТУ-София, София, 1991.
- [2] Българанов. Л. Електрически транспорт, ТУ-София, София, 2009.
- [3] Димитров Л., Изследване на преходните процеси при електрозадвижването на електрически транспортни средства, Дисертация за присъждане на образователна и научна степен „Доктор”, Габрово, 2015.
- [4] Минков П., Електрическа тяга, Техника, София, 1992.
- [5] Минков П., Електрически подвижен състав, Техника, София, 1983.

RESEARCH ON THE COMPACT ELECTRICAL VEHICLE ELECTRIC DRIVE

Lyubomir Dimitrov¹, Svilen Rachev^{1,2}, Stefan Filchev²
eng.L.Dimitrov@abv.bg, srachev@mail.com, sfilchev@yahoo.com

¹*Technical University – Gabrovo, 4, Hadgi Dimitar str., Gabrovo 5300,*
²*ECO ЕАД – Varna, 13A Oborishte str., Varna 9000,*
BULGARIA

Key words: *electric vehicle, BLDC motor, electro-mechanical characteristics, traction characteristics.*

Abstract: *The subject of the research is a compact electric vehicle with a three-wheel drive construction – the front wheels are steerable, while the rear one drive, such as mounting a drive motor directly inside the rear wheel reduces friction losses of energy and saves space. The drive motor is a brushless DC motor (BLDC motor) – stator winding power is synchronized with the position of the rotor using Hall sensors, i.e. the commutation is implemented and controlled by electronics. The implementation of an electric vehicle with such motor is because of its known advantages: good energy indicators, because no excitation energy is consumed; simple, compact and lightweight construction; relatively easy control; possibility of energy recuperation; small moment of inertia of the rotor. The power supply source is made using lead-acid rechargeable batteries made by a technology where the positive and negative plates are separated by a thin graticule mesh of glass microfibres soaked with electrolyte liquid with carbon. This type of batteries has been chosen in view of their easy market purchase and affordability. By means of digital measuring equipment and related software measurements have been carried out on electrical vehicle movement, as a result of which electro-mechanical and electro-traction characteristics have been obtained in tabular and graphical form.*