

ПРОЕКТИРАНЕ И ЕНЕРГИЕН АНАЛИЗ НА КОНВЕРТИРАН ЕЛЕКТРОМОБИЛ

Васил Димитров¹, Атанас Николов¹

¹Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158

DESIGN AND ENERGY ANALYSIS OF A CONVERTED ELECTRIC CAR

Vasil Dimitrov¹, Atanas Nikolov¹

¹ Todor Kableshkov University of Transport - Sofia

Abstract

The paper proposes a methodology for converting an automobile into an electric vehicle. For the Audi A2 model chosen for economic reasons, the requirements for the asynchronous drive, which will replace the internal combustion engine, have been determined. An appropriate electric motor and control and protection equipment have been selected. An analysis of the energy indicators was carried out, the mileage at different gears and speed of movement was calculated for two types of batteries. From the point of view of the extension of the mileage with one charging, a reduction of the gear ratio from the one implemented in 3rd gear is not necessary. It is very effective for smooth movement on a flat road. The methodology can be used when converting cars, and their specific features, parameters and characteristics should be studied in advance. It is important when choosing electric drive components to ensure high operational reliability, increased energy efficiency and compliance with electro-magnetic compatibility requirements according to contemporary IEC standards.

Keywords: electric vehicle, conversion, mileage, induction motor, asynchronous drive.

ВЪВЕДЕНИЕ

Във връзка с петролната криза и екологичните проблеми интересът към електро-мобилите нараства. Развитието на микро-процесорните системи, електрическите двигатели и батерии води до увеличаване на техните предимства. Напредъкът на електрониката и подобряването на параметрите и характеристиките на полупроводниковите елементи и най-вече внедряването на IGBT прави възможно разработването на устройства за плавно и енергийно ефективно управление на тяго-вите електродвигатели, както и захранване и регулиране на скоростта на променливо-токов двигател от из-

точник на постоянно напрежение чрез инвертиране [1, 2, 3]. По този начин асинхронни и синхронни двигатели могат да се използват в превозни средства, захранвани от батерия.

Асинхронният двигател е по-лек, по-евтин, по-опростен, по-надежден и по-безопасен при работа в сравнение с постояннотоковия, не се нуждае от специална поддръжка [4]. Захранващото напрежение и честота се регулират, за да се получи механична характеристика, подходяща за управление на превозно средство, осигуряваща ефективна работа на двигателя в различни режими [5, 6, 7]. Ето защо въпросът за преобразуването

на автомобили с двигатели с вътрешно горене в електрически става все по-актуален.

От гледна точка на възможността за реализиране на по-голям пробег с едно зареждане на батерията най-логично е при конвертиране на автомобили с ДВГ да се избират модели с малка маса и въздушно съпротивление, с цел минимизиране на разхода на енергия и с възможност за намаляване масата на полезния товар и допълнителното оборудване, за да може част от тази маса да се замести с батерия с по-голям капацитет.

В доклада се предлага методика за конвертиране на автомобил в електрически и анализ на енергийните показатели.

ТЕХНИЧЕСКО ЗАДАНИЕ

Техническите характеристики на конвертирания електромобил са следните:

- Максимална скорост ≥ 90 km/h.
- Средно ускорение за достигане на 80 km/h ≥ 1 m/s².
- Максимален наклон за изкачване със скорост 60 km/h $\geq 10\%$.
- Маса на електромобила, диаметър на гумите, предавателно отношение, спирачна система – запазване на оригиналните.
- Тягов електродвигател – трифазен асинхронен.
- Управление на тяговия двигател – контролер с инвертор с векторно управление.
- Батерии – литий-железен фосфат (LiFePO₄), напрежение – до 100 V; мобилно зарядно устройство – 230 V, 16 A.
- Система за мониторинг и защита на акумулаторната батерия – BMS.
- Защита от претоварване и режим на късо съединение.
- Контролно табло – дисплей; бутон тотал-стоп, действащ главен прекъсвач.
- Пробег с едно зареждане ≥ 100 km.

ИЗБОР НА АВТОМОБИЛ И НА АСИНХРОННО ЗАДВИЖВАНЕ

Въз основа на проведен сравнителен анализ на седем серийно произведени

автомобили много добри резултати като избор за конвертиране са получени за Audi A2 със следните конструктивни параметри:

- маса на автомобила $m = 855$ kg (празен автомобил); 925 kg (с водач); 1245 kg (пълнен автомобил);
- тегло на автомобила:

$$G = m \cdot g, N \quad (1)$$

g – земно ускорение, $g = 9.81$ m/s²
 $G = 9074$ N (само с водач); 12213 N (пълнен автомобил);

- челна площ на автомобила $s = 2.16$ m²;
- коефициент на аеродинамично съпротивление $C_x = 0.25$ (най-добра стойност от всички изследвани автомобили).

Необходимата теглителна сила F_k зависи от втората степен на скоростта V , km/h. Определя се от израза:

$$F_k = \left(\frac{0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot s}{13} + 5 \cdot 10^{-7} G \right) V^2 + f_0 \cdot G \quad (2)$$

където: $\rho = 1,22$ kg/m³ - плътност на въздуха при 20°C, $f_0 = 0,015$ – средна стойност на коефициента на съпротивление от търкаляне за скорост на движение до 60 km/h по асфалтиран път [5].

От необходимата теглителна сила F_k се изчислява мощността на задвижващите колела P_k [6]:

$$P_k = F_k \cdot V / 3,6 \quad (3)$$

Като се замести (2) в (3) се получава, че необходимата мощност зависи от третата степен на скоростта V , km/h:

$$P_k = (0,0107 \cdot C_x \cdot \rho \cdot s + 1,38 \cdot 10^{-7} G) V^3 + 0,2778 f_0 \cdot G \cdot V \quad (4)$$

Необходимата мощност на електродвигателя е:

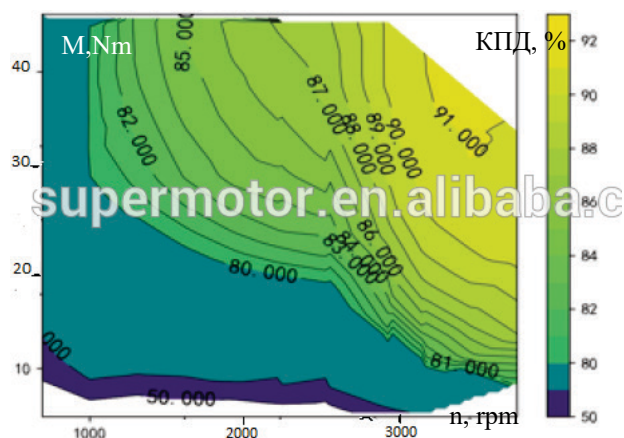
$$P_d = P_k \eta_m, \quad (5)$$

където η_m е к.п.д. на трансмисията.

При $V = 90 \text{ km/h}$ за P_d се получава стойност около 12 kW. С необходимия резерв се избира асинхронен двигател с номинална мощност 15 kW, проектиран за честотно управление [8]. Двеминутната мощност е 30 kW – използва се при ускорение и изкачване на наклони. Данните за избрания двигател са показани в Табл. 1 и на фиг. 1. Този тип двигатели са предназначени специално за монтаж в електромобили. Предимствата им са: висока надеждност при експлоатация и дълъг живот, повишена ефективност и икономия на енергия, ниски нива на шум, лека вибрация, отговаря на изискванията за електромагнитна съвместимост съгласно съвременните IEC стандарти.

Табл. 1. Технически данни на асинхронен двигател тип HPQ15-96HM (Shandong, China)

Номинална мощност	15 kW
Номинално напрежение	96 V трифазно
Номинален ток	170 A
Номинална честота на въртене	3000 rpm
Номинален момент	47 Nm
Максимален момент	158 Nm
Максимална скорост на въртене	6000 rpm
Максимална мощност (за 2 мин)	30 kW
Клас на енергийна ефективност	IE 3



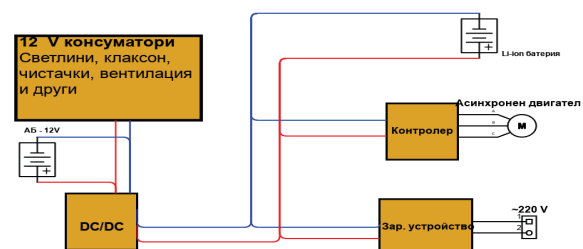
Фиг. 1. К.п.д. на АД тип HPQ15-96HM

От производителя се предлага като подходящ за този двигател контролерът КССА14450, включващ инвертор и управляващ блок, осигуряващ векторно упра-

вление [9]. Предложена е батерията LFP 96V 105Ah с вградена система за управление BMS [10]. Обхватът на напрежение е 84...108 V, така че зарядното устройство трябва да осигурява малко по-високо напрежение от 108 V, за да се осигури нормално зареждане.

Системата за управление на батерията (BMS) защитава от късо съединение, обратна полярност, ниско или високо напрежение. BMS комуникира с батерията, с консуматорите и със зарядното устройство, като следи температурата. Батерията се изключва при температура извън допустимия диапазон или има опасност от прегряване. По този начин BMS подобрява производителността на батерията и осигурява дълготрайност. Изборът на посоката на движение на електромобила напред или назад става чрез превключвател, с който се реверсира АД.

Принципна електрическа схема на начина на свързване на компонентите е показана на фиг. 2. За свързване към високоволтовата шина на батерията, консуматорите и зарядното устройство се използва бутон тотал-стоп, задействащ главен прекъсвач, предвидени са предпазители и релета за защита от претоварване и късо съединение. Комуникацията между отделните компоненти е по CAN шина.



Фиг. 2. Принципна ел. схема на електромобила

При конвертиране на автомобил с вакуумен усилвател на спирачките е задължително поставянето на електрическа помпа за заместване на разреждането, създавано оригинално от ДВГ.

DC/DC конверторът понижава напрежението от батерията на електро-моби-

ла, за да се зарежда съществуващата автомобилна батерия (12 V) и съответно да се захранва автомобилната електрическа инсталация. От консуматорите, захранвани с напрежение 12 V, вентилацията включва вентилатора за циркулация на въздуха в купето и оригиналния вентилатор за охлаждане на радиатора на охладителната система на ДВГ (поставя се така, че при нужда да охлажда контролера и асинхронния двигател). Включването на вентилатора е автоматично от температурния датчик на АД при повишаване на температурата, а има възможност и за ръчно включване от водача.

Управлението на мощността на АД от водача се извършва чрез педал-акселератор, който се свързва с аналоговия управляващ вход на контролера.

ЕНЕРГИЕН АНАЛИЗ

Необходимият въртящ момент на АД се намира от израза:

$$M_{\text{д}} = \frac{P_{\text{д}}}{0,1047 \cdot n_{\text{д}}} \quad (6)$$

където $n_{\text{д}}$ е честотата на въртене на двигателя, грм:

$$n_{\text{д}} = i \cdot n_{\text{к}} \quad (7)$$

където i е предавателно число на трансмисията, $n_{\text{к}}$ е честота на въртене на задвижващите колела, грм – определя се от скоростта V и обиколката на колелото $p_{\text{к}}$:

$$p_{\text{к}} = 2\pi \cdot r_{\text{к}} \quad (8)$$

$$r_{\text{к}} = \frac{d}{2} + \lambda h \quad (9)$$

където $r_{\text{к}}$ е радиус на колелото, m,
 d - диаметър на джантата, m,
 h - височина на гумата, m,
 λ - коефициент на радиалната деформация на гумата (от 0.8 до 0.9).

Разходът на електроенергия за пробег от 100 km изминат път се изчислява по формулата:

$$E = P_{\text{конс}} \frac{100}{V}, \text{ kWh/100 km} \quad (10)$$

където $P_{\text{конс}}$ е консумираната мощност на електродвигателя, kW:

$$P_{\text{конс}} = \frac{P_{\text{д}}}{\eta_{\text{д}}}, \quad (11)$$

$\eta_{\text{д}}$ – к.п.д. на двигателя (съгл. фиг. 1);
 $\frac{100}{V}$, h – времето за изминаване на разстояние от 100 km със скорост V , km/h.

Принципно АД с векторно управление не се нуждае от скоростна кутия, но запазването ѝ при конверсията позволява да се увеличи обхватът на въртящ момент и скорост на задвижващите колела. По този начин може да се използва двигател с по-ниски мощност и въртящ момент при конвертирането, съответно с по-ниски маса, цена и разход на енергия. Със скоростната кутия може да се оптимизира и режимът на двигателя.

Неизбежните топлинни загуби $P_{\text{з}}$ в АД и контролера могат да се оползотворят за отопление на купето, когато времето е студено, чрез използване на част от оригиналната отоплителна система на автомобила. Въздухът от регулируемия вентилатор на отоплението вместо през отоплителното радиаторче, свързано с течната охладителна система на ДВГ, преминава за затопляне през контролера и електродвигателя.

В Табл. 2 са показани изчисленията за въртящия момент M , честотата на въртене n , к.п.д., консумираната мощност $P_{\text{конс}}$, мощността на загубите на двигателя $P_{\text{з}}$, специфичния разход на енергия E за 100 km изминат път на електромобила и пробег S с едно зареждане при скорости на движение от 10 km/h до 100 km/h с предавките от 1 до 5, за които не се превишават номиналните обороти или въртящ момент на двигателя, за минимален (само водач) и максимален полезен товар на електромобила. Отделяната от контролера и АД топлинна мощност $P_{\text{з}}$ е от около 0.250 kW при скорост на движение 10 km/h (което много рядко може да се случи) до 1.5-1.8 kW при скорост 100 km/h. Голяма част от този мощностен диапазон ще бъде достатъчен за отопле-

ние, а когато не е, ще спомага за изразходване на по-малко енергия за отопление от батерията или поне ще е достатъчен за премахване на конденза от стъклата.

Изчисленият пробег в Табл. 2 е повече от 100 km и е получен при скорости не 50 или 60 km/h, а при 90 и даже 100 km/h (само с водач). От друга страна, поради реалното неравномерно движение, консумация от спомагателните устройства, намален капацитет на батерията вследствие ниска температура или деградация на батерията с времето и др., реал-

ният пробег в много случаи може да не достига 100 km при 90 km/h, а и с по-голям пробег електромобилът ще е по-пълноценен. За целта може да се постави батерия с по-голям капацитет – в Табл. 3 са представени изчисления при използване на батерия 25 kWh (пробегът при 90 km/h е над 170 km). За да не се превишава пълната маса на автомобила при използване на батерия с по-голям капацитет, трябва да се намали полезният товар. Данните за масата при двата варианта на конвертиране са систематизирани в Табл. 4.

Табл. 2. Изчисления за конвертиран електромобил Audi A2 (с батерия 15 kWh)

V, km/h предавка	M, Nm			n, rpm	К.п.д.		P _{конс} , kW		P _з , kW	E, kWh/100km		S, km		
	водач	пълен	водач		пълен	водач	пълен	водач		пълен	водач	пълен	водач	пълен
10	1	3.8	5.1	1041	0.5	0.5	0.8	1.1	0.6	8.2	11.0	182	136	
	2	6.7	8.9	585	0.5	0.6	0.8	0.9	0.4	8.2	9.1	183	164	
	3	11.0	14.8	355	0.6	0.7	0.7	0.8	0.2	6.8	7.8	220	191	
	4	16.1	21.5	243	0.6	0.7	0.7	0.8	0.2	6.8	7.8	220	192	
	5	20.4	27.3	192	0.6	0.7	0.7	0.8	0.2	6.8	7.8	220	191	
20	1	4.0	5.3	2082	0.5	0.5	1.7	2.3	1.1	8.7	11.5	173	131	
	2	7.0	9.3	1170	0.6	0.7	1.4	1.6	0.5	7.2	8.1	209	184	
	3	11.6	15.4	709	0.72	0.75	1.2	1.5	0.4	6.0	7.6	250	197	
	4	16.9	22.4	487	0.73	0.76	1.2	1.5	0.4	5.9	7.5	254	200	
	5	21.5	28.4	385	0.7	0.75	1.2	1.5	0.4	6.2	7.6	243	197	
30	1	4.3	5.6	3124	0.6	0.65	2.4	2.8	1.0	7.9	9.4	191	160	
	2	7.7	9.9	1754	0.65	0.7	2.2	2.6	0.8	7.2	8.7	208	173	
	3	12.6	16.4	1064	0.72	0.74	2.0	2.5	0.6	6.5	8.2	230	183	
	4	18.4	23.8	730	0.74	0.76	1.9	2.4	0.6	6.3	8.0	237	188	
	5	23.3	30.2	577	0.75	0.75	1.9	2.4	0.6	6.3	8.1	240	185	
40	1	4.8	6.1	4165	0.7	0.7	3.0	3.8	1.1	7.5	9.5	200	158	
	2	8.5	10.8	2339	0.7	0.72	3.0	3.7	1.0	7.4	9.2	202	164	
	3	14.1	17.8	1418	0.78	0.8	2.7	3.3	0.7	6.7	8.3	224	182	
	4	20.5	25.9	973	0.79	0.8	2.6	3.3	0.7	6.6	8.2	228	182	
	5	25.9	32.8	769	0.76	0.76	2.7	3.5	0.8	6.9	8.7	218	172	
50	1	5.4	6.7	5206	0.74	0.75	4.0	4.9	1.2	8.0	9.8	187	154	
	2	9.6	11.9	2924	0.75	0.76	3.9	4.8	1.1	7.9	9.6	191	157	
	3	15.9	19.6	1773	0.76	0.77	3.9	4.7	1.1	7.8	9.5	193	159	
	4	23.1	28.6	1217	0.78	0.8	3.8	4.5	0.9	7.5	9.1	199	165	
	5	29.3	36.2	962	0.79	0.8	3.7	4.6	0.9	7.5	9.1	201	165	
60	2	11.0	13.2	3509	0.8	0.81	5.0	6.0	1.1	8.4	10.0	179	150	
	3	18.1	21.9	2128	0.79	0.8	5.1	6.1	1.2	8.5	10.1	176	148	
	4	26.4	31.8	1460	0.8	0.82	5.0	5.9	1.1	8.4	9.9	179	152	
	5	33.4	40.3	1154	0.8	0.82	5.0	5.9	1.1	8.4	9.9	178	152	
	2	13.2	15.6	4094	0.86	0.87	6.6	7.7	1.0	9.4	11.0	160	136	
70	3	21.7	25.8	2482	0.81	0.83	7.0	8.1	1.4	10.0	11.6	151	130	
	4	31.7	37.6	1703	0.82	0.83	6.9	8.1	1.4	9.8	11.5	153	130	
	5	40.1	47.7	1346	0.81	0.83	7.0	8.1	1.4	10.0	11.6	150	130	
	2	15.7	18.4	4678	0.87	0.88	8.8	10.3	1.2	11.1	12.8	136	117	
	3	25.9	30.4	2837	0.83	0.85	9.3	10.6	1.6	11.6	13.3	129	113	
80	4	37.8	44.3	1946	0.83	0.84	9.3	10.7	1.7	11.6	13.4	129	112	
	2	18.2	21.1	5263	0.88	0.89	11.4	13.1	1.4	12.7	14.5	118	103	
	3	30.1	34.8	3191	0.88	0.89	11.4	13.1	1.4	12.7	14.5	118	103	
	4	43.8	50.7	2190	0.86	0.87	11.7	13.4	1.7	13.0	14.8	116	101	
	2	21.0	24.0	5848	0.89	0.89	14.4	16.5	1.8	14.4	16.5	104	91	
100	3	34.7	39.7	3546	0.9	0.9	14.3	16.4	1.6	14.3	16.4	105	92	
	1	3.8	5.1	1041	0.5	0.5	0.8	1.1	0.6	8.2	11.0	182	136	

Табл. 3. Изчисления за конвертиран електромобил Audi A2 (с батерия 25 kWh)

V, km/h предавка	M, Nm		n, rpm	К.п.д.		P _{конс} , kW		P _з , kW	E, kWh/100 km		S, km		
	водач	пълен		водач	пълен	водач	пълен		пълен	водач	пълен	водач	пълен
10	1	4.0	5.1	1041	0.5	0.5	0.87	1.10	0.55	8.75	11.02	286	227
	2	7.1	8.9	585	0.5	0.6	0.87	0.91	0.37	8.70	9.13	287	274
	3	11.7	14.8	355	0.6	0.7	0.73	0.78	0.24	7.26	7.84	344	319
	4	17.1	21.5	243	0.6	0.7	0.72	0.78	0.23	7.25	7.83	345	319
	5	21.6	27.3	192	0.6	0.7	0.73	0.78	0.24	7.26	7.84	344	319
20	1	4.2	5.3	2082	0.5	0.5	1.84	2.29	1.15	9.20	11.47	272	218
	2	7.5	9.3	1170	0.6	0.7	1.53	1.63	0.49	7.63	8.15	328	307
	3	12.3	15.4	709	0.72	0.75	1.27	1.52	0.38	6.36	7.61	393	328
	4	18.0	22.4	487	0.73	0.76	1.25	1.50	0.36	6.27	7.50	399	333
	5	22.8	28.4	385	0.7	0.75	1.31	1.52	0.38	6.55	7.62	382	328
30	1	4.6	5.6	3124	0.6	0.65	2.49	2.82	0.99	8.29	9.40	302	266
	2	8.1	9.9	1754	0.65	0.7	2.28	2.60	0.78	7.61	8.68	329	288
	3	13.3	16.4	1064	0.72	0.74	2.06	2.47	0.64	6.88	8.22	364	304
	4	19.4	23.8	730	0.74	0.76	2.00	2.40	0.58	6.68	7.99	374	313
	5	24.6	30.2	577	0.75	0.75	1.98	2.43	0.61	6.61	8.11	378	308
40	1	5.0	6.1	4165	0.7	0.7	3.14	3.79	1.14	7.86	9.48	318	264
	2	8.9	10.8	2339	0.7	0.72	3.13	3.67	1.03	7.81	9.16	320	273
	3	14.8	17.8	1418	0.78	0.8	2.81	3.30	0.66	7.02	8.26	356	303
	4	21.5	25.9	973	0.79	0.8	2.77	3.30	0.66	6.92	8.25	361	303
	5	27.2	32.8	769	0.76	0.76	2.88	3.48	0.83	7.21	8.70	347	287
50	1	5.7	6.7	5206	0.74	0.75	4.18	4.88	1.22	8.36	9.76	299	256
	2	10.0	11.9	2924	0.75	0.76	4.10	4.79	1.15	8.20	9.58	305	261
	3	16.6	19.6	1773	0.76	0.77	4.05	4.73	1.09	8.10	9.46	309	264
	4	24.1	28.6	1217	0.78	0.8	3.94	4.55	0.91	7.88	9.10	317	275
	5	30.6	36.2	962	0.79	0.8	3.90	4.56	0.91	7.80	9.11	321	274
60	2	11.4	13.2	3509	0.8	0.81	5.23	6.00	1.14	8.72	10.00	287	250
	3	18.8	21.9	2128	0.79	0.8	5.30	6.09	1.22	8.84	10.14	283	246
	4	27.4	31.8	1460	0.8	0.82	5.23	5.93	1.07	8.72	9.88	287	253
	5	34.7	40.3	1154	0.8	0.82	5.24	5.94	1.07	8.74	9.90	286	253
	2	13.6	15.6	4094	0.86	0.87	6.79	7.71	1.00	9.70	11.01	258	227
70	3	22.5	25.8	2482	0.81	0.83	7.22	8.09	1.38	10.32	11.56	242	216
	4	32.8	37.6	1703	0.82	0.83	7.12	8.08	1.37	10.18	11.54	246	217
	5	41.5	47.7	1346	0.81	0.83	7.23	8.09	1.38	10.32	11.56	242	216
80	2	16.2	18.4	4678	0.87	0.88	9.13	10.26	1.23	11.41	12.82	219	195
	3	26.8	30.4	2837	0.83	0.85	9.58	10.63	1.59	11.98	13.29	209	188
	4	39.0	44.3	1946	0.83	0.84	9.57	10.74	1.72	11.96	13.43	209	186
90	2	18.8	21.1	5263	0.88	0.89	11.75	13.06	1.44	13.05	14.51	192	172
	3	31.0	34.8	3191	0.88	0.89	11.76	13.08	1.44	13.07	14.53	191	172
	4	45.1	50.7	2190	0.86	0.87	12.02	13.36	1.74	13.36	14.84	187	168
100	2	21.6	24.0	5848	0.89	0.89	14.83	16.52	1.82	14.83	16.52	169	151
	3	35.6	39.7	3546	0.9	0.9	14.68	16.36	1.64	14.68	16.36	170	153

Табл. 4. Варианти на конвертиране

	маса, kg	Audi A2 батерия:	
		15 kWh	25 kWh
автомобил	пълна маса с товар	1245	1245
	товар	390	390
	автомобил	855	855
	ДВГ	115	115
	спомогателни	30	30
	резервоар	30	30
електромобил	оставащо купе	680	680
	батерия	90	150
	електрически двигател	55	55
	спомогателни	30	30
	електромобил	855	915
	полезен товар	390	330
	пълна маса с товар	1245	1245

Липсата на данни за някои предавки в Табл. 2 и Табл. 3 означава, че за

конкретния случай има превишаване на максималната честота на въртене или номиналния въртящ момент на двигателя. Видно е, че при ниска скорост, съответстваща на движение в градски условия (до около 50 km/h), за реализиране на максимален пробег трябва да се предпочитат по-високите предавки (3, 4, 5). Над тази скорост разликата в пробega, получен при използване на различните предавки, не е съществена. Поради превишаване на номиналния въртящ момент на двигателя, продължителното движение на 5 и 4 предавка над скорости на движение съответно 70 и 90 km/h е неподходящо. Така предавките, които по-

криват скоростния диапазон от 0 до 100 km/h, са 2 и 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е предложена методика за конвертиране на автомобил в електрически.

За избрания по икономически съображения модел Ауди А2 са определени изискванията към асинхронното задвижване, което ще замени ДВГ, избран е подходящ електро-двигател и апаратура за управление и защита. Проведен е анализ на енергийните показатели, изчислен е пробегът при различни предавки и скорост на движение за два вида батерии. Изследванията могат да послужат за избор на подходящ редуктор, който да замени скоростната кутия, тъй като АД с векторно управление не се нуждае от нея, но запазването ѝ позволява да се увеличи обхватът на въртящ момент и скорост на задвижващите колела. От гледна точка на икономичността на изразходване на електрическа енергия на акумулаторната батерия и съответно удължаване пробега с едно зареждане на електромобила, намаляване на предавателното число от реализираното на 3 предавка не е нужно. Тя е много ефективна за равномерно движение по равен път.

Методиката може да се използва при конвертиране на автомобили, като предварително трябва да се проучат техните специфични особености, параметри и характеристики. Важно е при избора на компоненти за електрозадвижване да се

осигури висока надеждност при експлоатация, повишена енергийна ефективност и съответствие с изискванията за електромагнитна съвместимост съгласно съвременните IEC стандарти.

REFERENCE

- [1] Hughes A., Electric Motors and Drives – Fundamentals, Types and Applications, Third edition, Elsevier Ltd., 2006.
- [2] Bakshi U., M. Bakshi, Electrical Drives and Control, Technical Publications Pune, India, 2009.
- [3] Boldea I., A. Nasar, Electrical Drives, CRC/Taylor & Francis Group, NY, 2006.
- [4] Larminie J., J. Lowry, Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley&Sons Ltd., England, 2003.
- [5] Evtimov I, R. Ivanov, Electric vehicles, Ruse, 2016 // Евтимов И., Р. Иванов, Електромобили, Русе, 2016.
- [6] Balgaranov L., Electric transport, Sofia, 2009 // Българанов Л., Електрически транспорт, София, 2009.
- [7] Ratz E., Vector Control on Electrical machines, Avangard-Prima, Sofia, 2010 // Рац Е., Векторно управление на електрически машини, Авангард-Прима, София, 2010.
- [8] Induction motor type HPQ15-96HM – Technical specification, Foshan Shunde Green Motor Technology Co. Ltd, China, 2023.
- [9] Controller type KCCA14450 – Technical specification, Foshan Shunde Green Motor Technology Co. Ltd, China, 2023.
- [10] Lithium battery pack LFP 96V 105Ah – Technical specification, Green Motor Technology Co. Ltd, China, 2023.