

ELETRIČNI POGONSKI SISTEM ZA INOVATIVNE KONCEPTE URBANE MOBILNOSTI

Jernej ŠKVARČ, Jernej KUŽELIČKI, Iztok ŠPACAPAN

POVZETEK

Avtomobilski proizvajalci intenzivno razvijajo nova električna vozila, ki ponujajo alternativo obstoječim konceptom urbane mobilnosti in naj bi bila uporabna v mestnih jedrih, kjer ponekod že omejujejo vožnjo vozil z motorji na notranje izgorevanje. Ker bodo ti projekti v prihodnosti pomembno povečali prodajne količine električnih avtomobilov, je Letrika zanje razvila optimiran pogonski sistem. Vgrajuje se v težke štirikolesnike (L7e) ali manjše avtomobile razreda M1. Pogonski sistem je uporaben za vozila, ki imajo baterijsko napetost nižjo od 60 V in so zato podvržena blažjim standardom. Uporabljen je asinhronski motor, ki je posebej optimiran za ciljna vozila. Močnostna stopnja krmilnika temelji na v Letriki razviti inovativni tehnologiji. Razvili smo tudi nov algoritem vodenja, ki pri večjih hitrostih proizvede večje fazne napetosti od klasične vektorske regulacije. Sistem dopolnjujeta grafični prikazovalnik in programirna konzola.

ABSTRACT

Car producers are intensively developing electric vehicles as an alternative to current urban mobility solutions for city centers. Letrika d.d. is offering an optimized electric traction system to actively participate in this growing market sector. It is targeted to usage on heavy quadricycles (L7e category) or small cars of category M1. The system can be used with battery voltages under 60 V to take advantage of less demanding homologation standards. Traction is implemented with three-phase induction motor with squirrel cage rotor, specially optimized for this type of applications. Controller power stage is based on new innovative technology developed by Letrika. Innovative control algorithms are capable of delivering higher mechanical power at higher motor speeds by using a special algorithm to increase motor phase voltage. System is additionally equipped with graphical display and programming console.

1. UVOD

Čeprav so električna vozila velikokrat omenjena kot pomemben prispevek k rešitvi težav moderne družbe, njihovo širšo uporabo omejujejo nekatere tehnične pomanjkljivosti, ki jih še ne bo moč rešiti v bližnji prihodnosti. Zaradi tega proizvajalci vozil raziskujejo nove koncepte

urbane mobilnosti, ki bi izkoristila prednost električnih vozil in hkrati minimizirala njihove pomanjkljivosti. Težki štirikolesniki so se tu izkazali za obetaven segment, v okviru katerega je mogoče razvijati inovativne konfiguracije električnih avtomobilov, kar dokazuje tudi najbolj prodajan evropski električni avto leta 2012 – Renault Twizy. Od marca do decembra 2012 jih je bilo prodanih 9020.[1]

Podjetje Letrika d.d. je že od začetka aktivno vključeno v dogajanje na tem področju, saj je razvilo in proizvaja motor za Renault Twizy. Renaultov uspeh je pritegnil tudi druge proizvajalce avtomobilov, da bi poskusili s podobno strategijo na trgu. Da bi Letrika uspešno konkurirala pri takšnih projektih, je razvila svoj zmogljiv krmilnik s pripadajočo elektronsko opremo.

2. CILJNE KATEGORIJE VOZIL

Pogonski sistem je v prvi vrsti namenjen dvema kategorijama avtomobilov. Prva skupina so manjši avtomobili kategorije M1 s težo do približno 900 kg. Končna hitrost je do 120 km/h, avtonomija pa do 150 km. Optimalna izbira so trenutno Li-ion baterije s kapaciteto okrog 12 kWh. Če se izbere napetost baterij do 60 V, ni potrebno upoštevati visokonapetostnih direktiv. Na ta način se poenostavi napeljava in tako skrajša razvoj ter zniža cena.

Druga kategorija vozil so težki štirikolesniki (L7e) [2]. Ti avtomobili imajo zakonsko omejeno težo na 400 kg brez baterij. Ponavadi nimajo menjalnika, ampak samo reduktor. Dosežejo hitrosti do 90 km/h, za kar pa so potrebni visoki vrtljaji motorja. Maksimalni vrtljaji pri Letrikinem pogonskem sistemu znašajo 8.000 min^{-1} . Moč motorja na osi pri kategoriji L7e ne sme presegati 15 kW, kar dosežemo s programsko omejitvijo. Tak avtomobil lahko običajno prevaža 2 do 3 potnike, z največjo hitrostjo okoli 90 km/h. Z modernimi Li-ion baterijami dobimo tipičen doseg 60 – 100 km z enim polnjenjem.

Evropski L7e primerljive kategorije najdemo tudi v drugih državah. V ZDA je to npr. kategorija NEV (Neighborhood Electric Vehicle) [3], na Japonskem pa še sprejemajo podoben standard.

Pri vozilih omenjenih kategorij lahko električni pogon uspešno nadomesti motorje z notranjim zgorevanjem, hkrati pa njihova uporabnost ni preveč okrnjena zaradi pomanjkljivosti današnjih baterij. K temu je močno prispeval razvoj novih tipov baterij na osnovi litija, ki jih odlikuje večja gostota energije in manjša notranja upornost v primerjavi s svinčevimi baterijami.

Na Sl. 1, Sl. 2 in Sl. 3 so vidna 3 vozila znanih avtomobilskih proizvajalcev, ki spadajo v to kategorijo. V Preglednica 1 so zbrani njihovi osnovni podatki.



Sl. 1: Renault Twizy



Sl. 2: Honda Microcommuter



Sl. 3: Toyota COMS

Preglednica 1: Lastnosti treh znanih težkih štirikolesnikov z električnim pogonom.¹

Vozilo	Št. sedežev	Maks. doseg (km)	Maks. čas polnjenja (h)	Kapaciteta baterij (kWh)	Maks. hitrost (km/h)	Masa z baterijo (kg)
Renault Twizy	2	80	3,5	6,1	80	450
Honda Microcommuter	2	60	< 3	Ni podatka	80	400
Toyota COMS	2	50	6	Ni podatka	60	405

3. LETRIKA »CONVERSION KIT«

Pogonski sistem je sestavljen iz štirih komponent. Zasnovan na trifaznem asinhronskem motorju. Z motorjem upravlja krmilnik, kjer je uporabljen DSP mikrokontroler TMS320F2809 proizvajalca Texas Instruments. Krmilnik ima vgrajen CAN vmesnik, prek katerega komunicira z grafičnim prikazovalnikom in programirno konzolo. Prav fleksibilnost, ki jo daje CAN vodilo, omogoča, da prikazovalnik in konzola služita kot vmesnik za spremljanje in upravljanje krmilnikovih naprednih funkcij. Na Sl. 4 so prikazane vse 4 komponente sistema, ki ga ponuja Letrika.



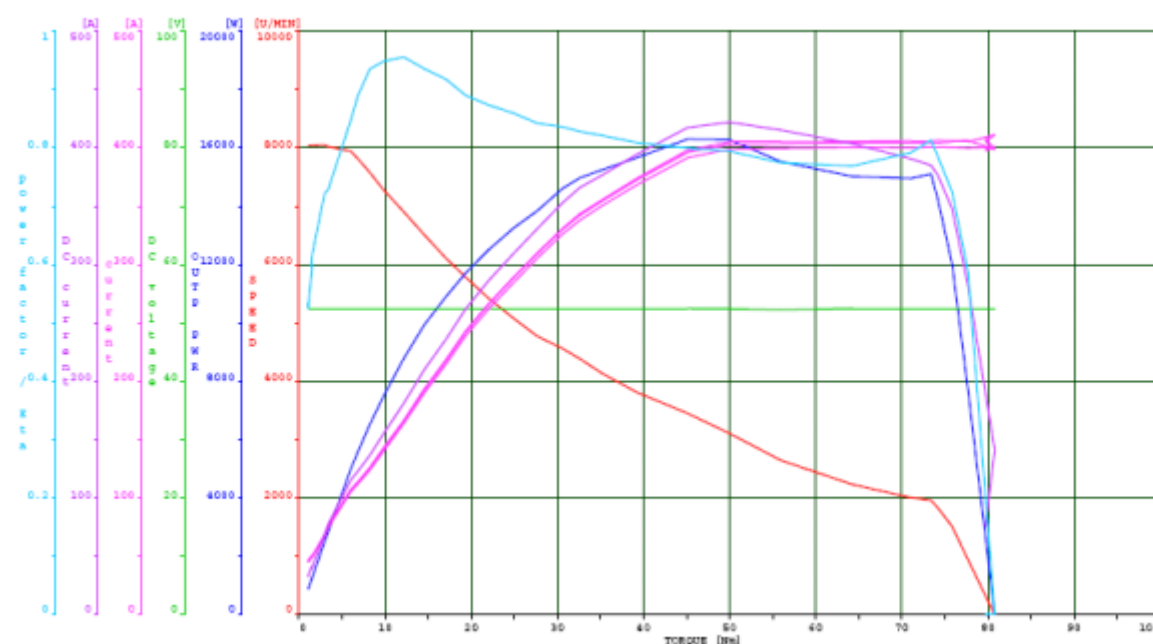
Sl. 4: Komponente pogonskega sistema Letrika - motor, krmilnik, programirna konzola in grafični prikazovalnik.

¹ Podatki so zbrani z različnih virov na internetu, ki pa niso preverjeni. Dejanske lastnosti lahko odstopajo od navedenih, nekatera vozila so še v prototipni fazi in obstaja možnost spreminjanja specifikacij v prihodnosti.

3.1 Asinhronski motor

Sistem je zasnovan na asinhronskem motorju z aluminijasto kratkostično kletko, ki je bil posebej optimiran za ciljna vozila in zahtevane zmogljivosti. Asinhronski motor je bil izbran, ker v sodobnih električnih vozilih pridejo v poštev samo brezkontaktni motorji. Ti ne zahtevajo vzdrževanja, imajo večje zmogljivosti od komutatorskih motorjev in so tišji. Za motor s permanentnimi magneti se nismo odločili zato, ker je proizvodnja redkih zemelj omejena in zaradi tega njihova cena naprestando narašča. Asinhronski motorji imajo nekoliko manjše najvišje izkoristke od motorjev s permanentnimi magneti, vendar delujejo na večjem območju hitrosti in navora.

Motor je bil preračunan tako, da doseže maksimalni navor 90 Nm pri 450 A faznega toka. Izkoristek je največji pri visokih hitrostih, kjer preseže 90 % - glej karakteristiko na Sl. 5. Na ta način je poraba najugodnejša med konstantno vožnjo pri maksimalni hitrosti, kjer se vozilo večino časa zadržuje. Maksimalna hitrost motorja je 8.000 min^{-1} . Največja moč je 15 kW, motor lahko s to močjo deluje 1 minuto.[4]



Sl. 5: Karakteristika 15 kW asinhronskega motorja.

3.2 Krmilnik

Ker smo si za cilj zastavili, da mora sistem delovati pri nizkih baterijskih napetostih, smo morali v krmilnik vključiti več inovacij, da bi kljub nizki napetosti iz njega dobili maksimalne zmogljivosti. Močnostna stopnja temelji na tehnologiji, ki je bila razvita v Letriki. Gre za kombinacijo tehnologij IMS (Insulated Metal Substrate) in DBC (Direct Bonded Copper), kjer so močnostni polprevodniki bondirani na bakrene lame. Tako stopnjo odlikujejo

predvsem nizka notranja upornost polprevodniških stikal in posledično nizke izgube ter velika tokovna zmogljivost. V 10 sekundnem »boost« načinu lahko krmilnik prevaja $450 A_{rms}$ faznega toka. $400 A_{rms}$ lahko s hladilom 0,2 K/W prevaja 2 minuti. Sl. 6 prikazuje del močnostne stopnje z dobro vidnimi »bondi«.

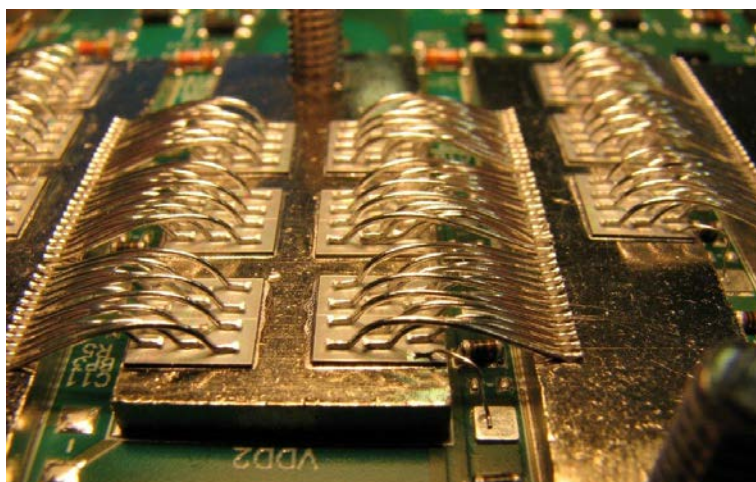
Krmilnik izvaja izpopolnjeno indirektno vektorsko regulacijo (IFOC), katero odlikuje veliko lastnih inovativnih rešitev. Te rešitve omogočajo stabilno in ponovljivo delovanje tudi pri močnem nihanju napajalne napetosti, kot je to slučaj pri baterijskem napajanju. Vgrajeni algoritmi omogočajo popolno izkoriščenost baterijske napetosti v celotnem področju slabljenja polja, maksimalne performanse motorja in njegov optimalen izkoristek. Omogočena je regulacija maksimalne in minimalne baterijske napetosti za zaščito baterij ter napredno upravljanje s temperaturo motorja in krmilnika.

Software pri hitrostih nad 3.000 min^{-1} preklopi iz IFOC v posebej razvito regulacijo, ki uporablja trapezno obliko fazne napetosti namesto sinusne. Na ta način se osnovna harmonska komponenta poveča za 23 %. Višja napetost omogoča večjo moč in navor, zato lahko avtomobil doseže višjo hitrost. Obstaja tudi možnost alternativne nastavitve, ki nam pri istem navoru zagotovi višji izkoristek sistema.[5]

Sestavni del programske opreme krmilnika je diagnostika, ki zazna preko 30 sistemskih napak in jih beleži v dnevnik skupaj z nekaterimi pomembnimi podatki o sistemu v času napake. Ta dnevnik je dostopen preko programirne konzole in na ta način olajšuje odpravljanje napak.

Ker je regulacija navora izvedena s samo enim pedalom in večina malih električnih vozil nima sklopke in menjalnika, mora krmilnik s tem istim pedalom omogočati mehko in natančno manevriranje na parkirišču, hkrati pa tudi močen pospešek ob hitrem speljevanju v križišču. V ta namen smo razvili poseben adaptiven algoritem, ki uspešno vsključuje obe zahtevi.

Krmilnik nudi možnost uporabe dveh različnih vozniških načinov. Voznik lahko s pomočjo stikala kadarkoli izbira med njima. Standardni način je namenjen vožnji s polno zmogljivostjo, ekonomični način pa omogoča bolj umirjeno vožnjo z manjšimi pospeški, končno hitrostjo in porabo. Vsakemu načinu posebej lahko preko parametrov določimo omejitve maksimalne hitrosti in karakteristiko navora v odvisnosti od hitrosti.



Sl. 4: Detajl močnostne stopnje – »bondi«.

3.3 Programirna konzola

Pogonski sistem vključuje orodje, ki omogoča enostavno in pregledno prilagajanje parametrov krmilnika konstrukcijskim značilnostim avtomobila, nastavljanje voznih lastnosti, diagnostiko in kalibracijo pedala. Orodje je implementirano v obliki priročne programirne konzole, katero po potrebi priključimo na krmilnik preko CAN mreže. S preglednim sistemom menujev lahko nastavljamo razne parametre sistema, spremljamo pomembne spremenljivke ali brskamo po dnevniku napak v primeru njihovega odpravljanja.

3.4 Grafični prikazovalnik

Grafični prikazovalnik je mišljen kot dopolnitev klasičnih indikatorjev na armaturni plošči. Ker večina uporabnikov še ni vajenih električnih avtomobilov, je pomembno, da jih prikazovalnik v čimbolj naravnem jeziku obvešča o tem, kaj se z vozilom dogaja. Ko krmilnik detektira napako, ki jo uporabnik lahko sam odpravi, se prikažejo navodila za voznika. Ker omogoča sistem dva različna vozna načina, nam prikazovalnik nudi tudi informacijo, v katerem voznem načinu vozilo trenutno deluje. Tudi prikazovalnik komunicira s krmilnikom preko CAN mreže.

4. ZAKLJUČEK

»Conversion kit« je Letrikin električni pogonski sistem, ki omogoča cenovno dostopno izdelavo v praksi uporabnih električnih avtomobilov. Pogonski sistem je bil testiran in homologiran po direktivi ECE R10-03, kjer se preizkuša nivo sevanja elektromagnetnih motenj, konduktivne motnje, odpornost na zunanja elektromagnetna polja, odpornost na pulze. S tem smo si pridobili možnost opreme izdelkov z znakom E26, kar precej olajša

homologacijo proizvajalcem električnih avtomobilov ali predelovalcem rabljenih avtomobilov v avtomobile na električni pogon. Osnova za uspešno homologacijo znotraj Evropske unije, pa tudi marsikje drugje, je kompatibilnost z ECE R100 direktivami. Sestavni del Letrikinega pogonskega sistema je tudi priročnik za uporabo, v katerem so predstavljene tudi ECE R100 direktive in kako jim ustreči – na ta način je olajšano delo samograditeljem, hkrati pa del svojih izkušenj s tega področja nudimo strankam iz industrije.

Pogonski sistem omogoča hitro izdelavo prototipnega vozila oz. vgradnjo v že obstoječe vozilo, ker je bil pri načrtovanju sistema poudarek na čimbolj enostavni integraciji v klasično sestavo današnjih vozil. Takšen pristop omogoča predelavo vozil iz klasičnih v električna tudi samograditeljem, saj lahko ohranijo večino komponent originalnega vozila in si s tem olajšajo homologacijo. Isti sistem je tako uporaben za industrijske kupce prve vgradnje, ki želijo serijsko izdelovati električna vozila s svojo konstrukcijo, kot tudi za samograditelje, ki si želijo izdelati praktično uporabno električno vozilo. Sistem se lahko s programirno konzolo enostavno prilagodi posameznemu vozilu.

Moderne konstrukcije baterij na osnovi litija so postale cenovno dostopnejše, še posebej s porastom njihove proizvodnje in razširjenosti. Ta dejavnik je dal močan zagon razvoju modernih električnih vozil, saj je večja energijska gostota baterij bistveno povečala njihov doseg. Nove tehnologije shranjevanja električne energije so ključnega pomena za širjenje sektorja električne mobilnosti v prihodnosti – kilogram običajnega bencina vsebuje približno 12 kWh energije, ki jo lahko zelo hitro sprostimo. Današnje litij-ionske baterije nudijo 0,1 – 0,26 kWh energije na kilogram, vendar z omejeno hitrostjo sproščanja (0,25 – 0,34 kW/kg).[6][7] Dodaten problem je omejena hitrost polnjenja baterij, ki pa je pri bencinu omejena le s pretokom same tekočine. Kljub temu moramo upoštevati, da je izkoristek pretvorbe energije bencina v mehansko energijo veliko slabši kot izkoristek pretvorbe shranjene električne energije baterij v mehansko.

Omenjena primerjava med bencinom in baterijami nam kaže, da električna vozila za splošno uporabo na daljše poti verjetno še ne bodo tako kmalu zanimiva širši populaciji. So pa težave z onesnaženostjo zraka v mestnih jedrih v kombinaciji z ekološkimi direktivami dobra spodbuda za njihov razvoj in tam bodo zagotovo našla svoje mesto. Širjenje električnih vozil bo v prihodnosti zahtevalo tudi posodobitev energetske omrežij, a ta tema je že izven okvirov prispevka.

5. LITERATURA

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Renault_Twizy
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Motorised_quadricycle
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/NEV>
- [4] Ivan Zagradišnik, Bojan Slemnik, »Električni rotacijski stroji« Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, 2007
- [5] H. A. Toliyat, S. Campbell, »DSP-Based electromechanical motion control«, Boca Raton, Florida, 2004

- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density

NASLOV AVTORJEV

Jernej Škvarč

Jernej Kuželički

Iztok Špacapan

Letrika d.d.

jernej.skvarc@letrika.com