

ANALIZA MATLAB SIMULINK MODELA ELEKTRIČNOG VOZILA U USLOVIMA URBANE VOŽNJE**ANALYSIS OF MATLAB SIMULINK MODEL OF ELECTRIC VEHICLE IN URBAN DRIVING CONDITIONS**Anđelija Petrović, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je razvijen dinamički model električnog vozila koje kao pogon koristi mašinu jednosmerne struje (DC mašina). U modelu je mašina napajana iz Li-Ion baterije, posredstvom odgovarajućeg pretvarača energetske elektronike, koji omogućuje rad pogona u dva kvadranta karakteristike napon-struja armaturnog kola. Performanse modela, kao i dinamika same baterije su analizirani na odgovarajućem test ciklusu vožnje za urbane sredine, tzv. NEDC (New European Driving Cycle).

Ključne reči: DC mašina, MATLAB Simulink, Li-Ion baterije, Ciklus vožnje, Električna vozila

Abstract The paper presents a dynamic model of an electric vehicle that uses a direct current machine (DC machine) as a drive. In the model, the machine is powered by a Li-Ion battery, by means of a suitable power electronics converter, which enables the operation of the drive in two quadrants of the voltage-current characteristic of the armature circuit. The performance of the model, as well as the dynamics of the battery itself were analyzed on the appropriate test driving cycle for urban environments, the so-called NEDC (New European Driving Cycle).

Keywords: DC machine, MATLAB Simulink, Li-Ion batteries, Driving Cycle, Electric vehicles

1. MAŠINE JEDNOSMERNE STRUJE

Mašine jednosmerne struje (DC mašine) spadaju u rotacione električne mašine kod kojih se vrši dvosmerno pretvaranje električne u mehaničku energiju, po pravilu posredstvom rotacionog kretanja. Najčešća izvedba koja pronalazi primenu u savremenoj tehnici jeste ona u kojoj mašina ima nezavisan pobudni namotaj, koji omogućava raspregnuto upravljanje pobudnim magnetnim poljem od regulacije napona i struja armaturnog kola. Upravo se iz tih razloga pogoni sa DC mašinama smatraju za one u kojima se mogu postići regulacija brzine i ostvarenog momenta sa visokim performansama, što se i nameće kao imperativ u primeni električnih mašina za pogon električnih vozila.

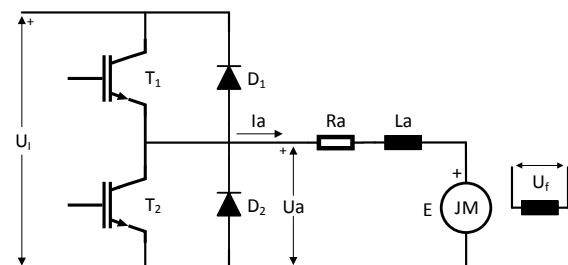
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

1.1. Upravljački sistem motora i energetski pretvarač

Upravljački sklop modelovanog pogona implementira kaskadnu regulaciju brzine DC mašine, odnosno struje rotorskog kola, kojom se direktno utiče na vrednost ostvarenog momenta na vratilu. Postizanje željene vrednosti struje je omogućeno realizovanjem napajanja rotorskog kola mašine jednosmernim naponom promenljive srednje vrednosti. U tu svrhu upotrebljen je DC-DC pretvarač energetske elektronike, čoper.

Regulaciona struktura pogona postavlja referencu željenog napona armature, koji se pomoću čopera ostvaruje odgovarajućim vrednostima faktora ispune, odnosno stanjem prekidačkih komponenti, koje su najčešće tranzistorskog tipa. Topologijom pretvarača, odnosno brojem i rasporedom prekidačkih komponenti postiže se rad u jednom ili više kvadranta karakteristike napon-struja. U radu se primenjuje dvokvadrantni čoper tipa C, koji omogućava rad u dva kvadranta, sa promenljivim smerom struje armaturnog kola DC mašine.

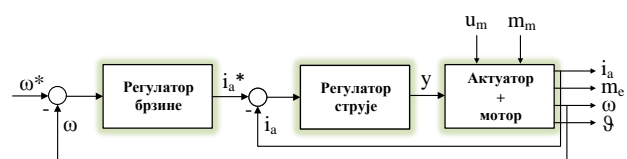


Slika 1.1. Topologija dvokvadrantnog čopera

Prolaskom struje kroz nultu vrednost ne dolazi do njenog prekidanja, već do promene smera proticanja. Usled toga, ne dolazi do rada u oblasti diskontinualne struje [2]. Rad u preostala dva kvadranta može se ostvariti prevezivanjem krajeva rotora ili pobude.

2. REGULACIONA STRUKTURA POGONA

Kaskadna regulacija predstavlja opšte usvojen princip regulacije u pogonima sa jednosmernom strujom, sa osnovnom idejom prikazanom na slici 2.1.



Slika 2.1. Šematski prikaz kaskadne regulacione petlje

Regulacioni sistem sastoji se od dve regulacione petlje, poređane na određen hijerarhijski način [1]. Unutrašnja petlja, na nižem nivou, sa negativnom povratnom vezom struje motora i regulatorom struje, deluje direktno na aktuator i motor, regulišući struju uzimajući za referencu izlaz nadređenog regulatora.

Na sledećem, nadređenom nivou, nalazi se petlja sa povratnom vezom brzine i regulatorom brzine, čiji izlaz igra ulogu referentne vrednosti za podređenu, unutrašnju, strujnu petlju.

Iako je reč o ugnježdenim strukturama, to ne dovodi do nestabilnog rada regulacione petlje, budući da je reč o regulaciji fizičkih veličina sa veoma velikom razlikom u dinamici, gde se mehanička brzina osetno sporije uspostavlja i menja, nego što je to slučaj sa vrednostima armaturne struje.

3. BATERIJE ZA ELEKTRIČNA VOZILA

Električna vozila predstavljaju autonomni električno-mehanički sistem, te kao takva zahtevaju prenosivi izvor energije dovoljnog kapaciteta. Baterije u vidu hemijskih izvora električne energije upravo predstavljaju odgovarajuće rešenje za ovu namenu.

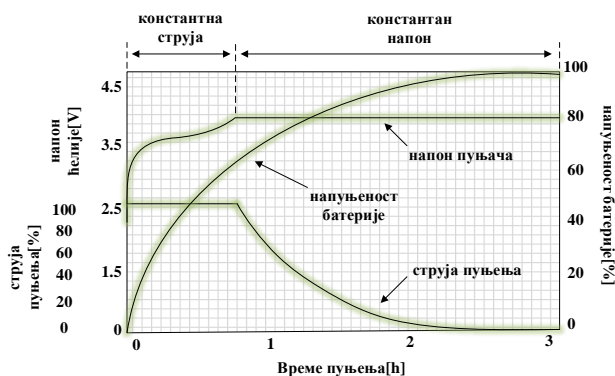
Postoje razne izvedbe električnih baterija, shodno tehnologiji i hemijskim elementima na kojima temelje svoj princip rada. U savremenim izvedbama električnih vozila vrlo čestu primenu imaju litijum-jonske (Li-Ion) baterije, koje predstavljaju jednu od vrsta punjivih baterija. Li-Ion baterije karakteriše visoka specifična gustina energije po jedinici mase, tako da za isti kapacitet predstavljaju manji teret za električno vozilo od drugih tipova baterija [3].

3.1. Procedura punjenja baterija

Zarad postizanja što veće autonomije električnog vozila, neophodno je na pravilan način upravljati punjenjem baterije, kako bi se u propisanom vremenskom intervalu ovim postupkom iskoristio puni kapacitet koji baterija poseduje.

Jedan od značajnijih zahteva koji se stavlja pred proizvođače baterija, ali i proizvođače punjača za iste, jeste mogućnost takozvanog brzog punjenja. Brzim punjenjem se minimizuje vreme za koje električno vozilo mora biti u mirovanju.

Procedura brzog punjenja obuhvata sledeće korake, prikazane slikom 3.1. Tokom prve faze punjenja, punjač kroz priključke baterije uspostavlja konstantnu struju, sve dok ona za posledicu ima porast napona ćelija.



Slika 3.1. Procedura punjenja

Tokom faze balansiranja, punjač postepeno smanjuje vrednost struje punjenja pri konstantnom naponu punjenja, dok se stanje napunjenosti ćelija dovodi na isti nivo pomoću balansirajućeg kola, sve dok se nivoi napunjenosti svih ćelija baterije ne uravnoteže u unapred definisanim granicama.

Kapacitet, odnosno stanje napunjenosti baterije neposredno utiču i na domet električnog vozila, koji podrazumeva prosečnu dužinu puta koji se može preći između dva ciklusa punjenja.

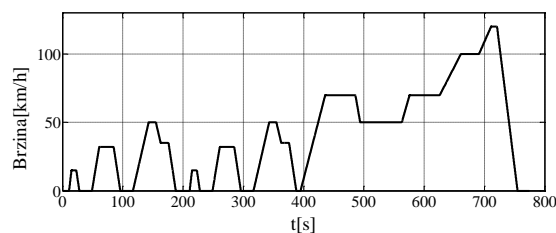
Domet vozila sa jednim punjenjem baterije u praksi zavisi i od broja i vrste korišćenih baterija, njihove starosti (trenutni kapacitet spram punog kapaciteta novih baterija), težine i tipa vozila, kao i samog terena i dinamike vožnje. Li-Ion baterijski sistemi za električna vozila u proseku omogućavaju domet od 320-480 km.

4. SIMULACIJE NA RAZVIJENOM MODELU ELEKTRIČNOG VOZILA

Na osnovu izloženih principa kaskadne regulacije, topologije pretvarača i izabrane vrste baterije, načinjen je simulacioni model pogona električnog vozila u MATLAB Simulink okruženju. Model podržava dinamičke simulacije kojima se u određenim aspektima verodostojno oponašaju fizički sistemi, te kao takav predstavlja dobro polazište za analizu ponašanja dinamičkih sistema, poput sistema električnih vozila.

4.1. NEDC ciklus vožnje

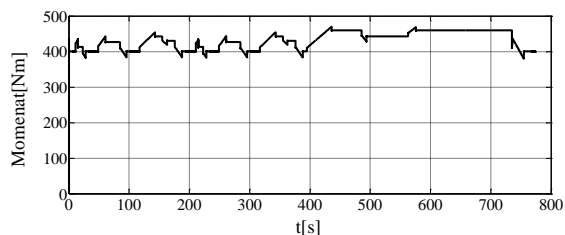
Za potrebe testiranja modela je iskorišćen standardizovani ciklus vožnje, kojim se pokrivaju karakteristični profili vožnje koji se imaju u urbanim sredinama. Na slici 3.2. prikazan je izgled NEDC (*New European Driving Cycle*) voznog ciklusa. Izvršena je simulacija sa redukovanim, odnosno sa NEDC ciklusom skraćenog trajanja. NEDC ciklus vožnje ima zadatak da reprezentuje tipične uslove za vožnju u velikim gradovima u kojima je saobraćaj gust. Pošto je namenjen vožnji po ravnom putu, ne očekuje se veliko opterećenje.



Slika 4.1. Profil redukovanog NEDC ciklusa vožnje

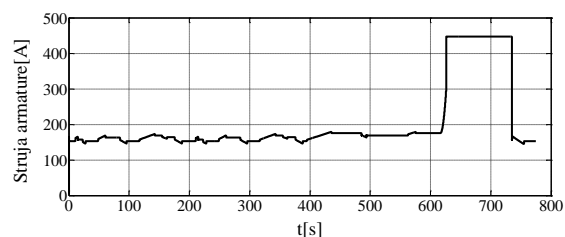
4.2. Rezultati simulacija

Na slici 4.2. prikazan je odziv momenta pogonske DC mašine tokom simulacije pogona u uslovima redukovanog NEDC ciklusa vožnje. Jasno se uočavaju vremenski intervali u kojima dinamički prelazi između stacionarnih vrednosti momenta odgovaraju zahtevima za usporavanjem, odnosno ubrzavanjem električnog vozila.



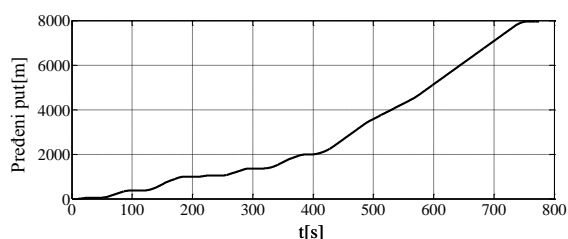
Slika 4.2. Momenat na vratilu pogonske DC mašine

Ostvareni momenat DC mašine je direktno proporcionalan struji armature, tako da se očekuje da i u odzivu struje postoji dinamika poput one koja se ima u odzivu momenta. Ono što je karakteristično za odziv struje jeste vremenski interval od 620 do 730 s, tokom kojeg vozilo stiže do visokih vrednosti brzina i do 120 km/čas. Postignuta brzina se nalazi u oblastima tzv. slabljenja polja, gde se pobudni fluks umanjuje zarad postizanja brzina većih od nominalnih. U tim uslovima se narušava princip direktne proporcionalnosti momenta i struje, jer se smanjenje pobudnog fluksa nadomešćuje dodatnim porastom armaturene struje. Karakterističan zaravnjeni oblik struje ukazuje da je došlo do zasićenja u odzivu njenog regulatora, koji je matematički nametnuo referentnu vrednost struje koju nije preporučljivo fizički ostvariti, zbog problema sa komutacijom mašine [4].



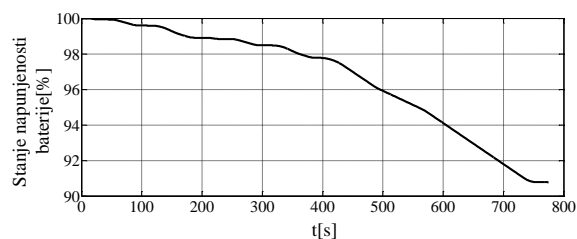
Slika 4.3. Struja armature pogonske DC mašine

Na slici 4.4. je prikazan odziv pređenog puta tokom sprovedenog test ciklusa. On iznosi oko 8 kilometara, što odgovara prosečnom ciklusu koji se ima u uslovima gradske vožnje.



Slika 4.4. Pređeni put tokom test ciklusa

Na slici 4.5. prikazana je trenutna vrednost napunjenosti baterije tokom sprovedenog ciklusa testiranja. Odziv je dobijen pod pretpostavkom da je pre početka ciklusa baterija bila potpuno napunjena. Kapacitet baterije je odabran spram kapaciteta komercijalno dostupnih baterija električnih vozila. Pokazuje se da je u uslovima dinamične gradske vožnje domet električnog vozila nešto manji nego što bi to bio slučaj u uslovima vožnje sa konstantnom brzinom, što je bilo i za očekivati.



Slika 4.5. Stanje napunjenosti baterije tokom test ciklusa

5. ZAKLJUČAK

U radu su izloženi principi modelovanja pogona sa DC mašinom za potrebe električnih vozila. Prirodna težnja za proširenjem autonomije električnog vozila nameće potrebu za razvijanjem baterija odgovarajućih karakteristika, kao što su kapacitet i specifična gustina snage. Litijum-jonske baterije predstavljaju dobar balans među ovim zahtevima i danas se nameću kao standard u električnim vozilima. Razvijeni model u MATLAB Simulink okruženju analiziran je na standardizovanom NEDC test ciklusu vožnje, koji odgovara gradskim uslovima.

Pokazuje se da se u urbanim uslovima električno vozilo izlaže dinamičkim uslovima rada, koji se direktno ogledaju na preostali kapacitet baterije, ali i na fizička ograničenja regulacionih struktura, koja se tiču dozvoljenih strujnih limita.

6. LITERATURA

- [1] Vladan Vučković, „Električni pogoni“, Akademska misao, 2002.
- [2] Radojle Radetić, „Prekidačka napajanja“, Nauka Beograd, 2005.
- [3] Miao, Y.; Hynan, P.; von Jouanne, A. „Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements“. Energies 2019, 12, 1074.
- [4] B. Jeftenić, Đ. Oros, V. Vasić, „Regulisani elektromotorni pogoni-rešeni problemi sa elementima teorije“, Akademska misao, 2004.

Kratka biografija:

Anđelija Petrović rođena je u Somboru 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranila je 2020.god.

Dejan Jerkan je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata.