

Rad po pozivu

MALI ELEKTRIČNI AUTOMOBILI - ISPITIVANJE OSNOVNIH POGONSKIH KARAKTERISTIKA

Vladimir A. Katić, Zoltan Čorba, Boris Dumnić, Dragan Milićević, Bane Popadić,
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Sadržaj – U radu je prvo dat pregled istraživanja vozila sa električnim pogonom na Katedri za energetska elektroniku i pretvarače Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Izdvojeni su električni automobili, čiji prikaz ispitivanja je cilj ovog rada. U nastavku je dat kratak istorijat korišćenja električnih vozila i njihova klasifikacija. Predstavljen je princip rada električnog pogona baterijskih električnih automobila. Opisana su dva koncepta sa električnim pogonom kineske proizvodnje, koja se koriste u istraživanjima na Fakultetu tehničkih nauka. Prvi automobil (CRESPQ EA1) ima pogon sa DC motorom, dok drugo vozilo ima AC pogon, odnosno četiri mala sinhrona motora sa permanentnim magnetima (SMPM) ugrađena u točkove (CRESPQ EA2). Detaljno je opisano ispitivanje električnog pogona ovih vozila u laboratorijskim uslovima. Predstavljene su rezultati ispitivanja i izvršena je njihova analiza. Uočene su mogućnosti poboljšanja ovih pogona i dati planovi za dalja istraživanja u ovom polju.

1. UVOD

Početak XXI veka jasno je ukazao da se svet okreće sve široj upotrebi „čistih“ tehnologija, ali i korišćenju „čistih“ energetske resursa. Nagli prodor tehničkih rešenja vetroelektrana, solarnih fotonaponskih izvora, malih hidroelektrana i drugih oblika generisanja električne energije iz obnovljivih izvora, omogućio je njihov ubrzan rast i priključenje na elektroenergetski sistem velikih instalisanih snaga. Istovremeno, postavljeni su osnovi da se postepeno eliminišu energetske objekte sa velikom emisijom CO₂ i drugih štetnih gasova u atmosferu i počne rešavati veliki problem čovečanstva u vidu klimatskih promena i efekata staklene bašte.

S druge strane, u zoni potrošnje, električna energija se nametnula kao optimalno rešenje, s obzirom na raznovrsnost upotrebe i odsutstvo emisije štetnih gasova ili drugih nusprodukata. Primena električne energije, kao pogonske u oblasti transporta, pre svega individualnog prevoza, uočena je kao veliki potencijal za smanjenje korišćenja fosilnih goriva i na taj način, umanjena emisije CO₂ i zagađenja vazduha, odnosno životne okoline. Iz tog razloga su poslednjih desetak godina intenzivirana istraživanja na nalaženju komercijalnih rešenja, koja mogu da zamene postojeće pogonske motore sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS). Nova rešenja se traže u domenu kvalitetnijih, lakših, energetske sadržajnijih i dugotrajnijih baterija, kao i energetske efikasnijeg pretvaranja i upravljanja, kao i robusnijih i efikasnijih električnih motora.

Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za energetska elektroniku i pretvarače se u dužem periodu sprovode istraživanja, eksperimenti i praktična ispitivanja novih metoda upravljanja električnim motorima, kao i primenom novih rešenja za pogon i napajanje raznih

električnih vozila. Poslednjih godina, fokus je stavljen na ispitivanje električnih automobila i bicikala, kao i na istraživanja optimalnog rešenja punjača baterija za ova vozila. Razmatrana je i primena solarne i vetro energije za punjenje baterija i razvijeni su odgovarajuća rešenja.

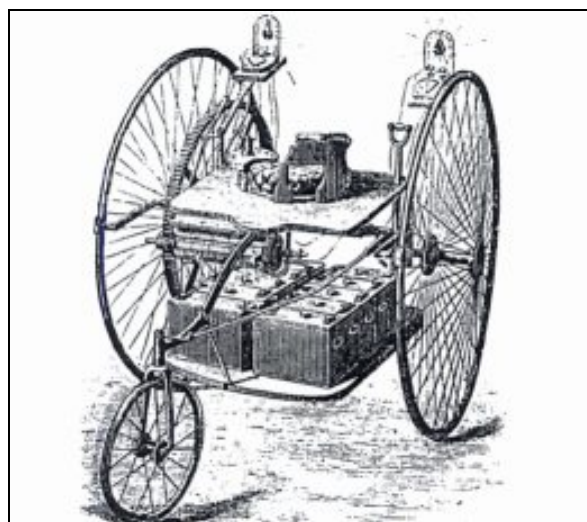
Cilj ovog rada je da predstavi kratak istorijski pregled korišćenja električnih vozila, njihovu klasifikaciju, osnovne principe rada električnog pogona, te da opiše ispitivanja električnog pogona dva vozila u laboratorijskim uslovima na Fakultetu tehničkih nauka.

2. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI

2.1 Istorijat razvoja električnih automobila

Kraj XIX veka doneo je velika otkrića u oblasti elektrotehnike i ogromna nadanja u njen brzi razvoj i komercijalizaciju. Jedna od fascinantnih prezentacija tog doba na svetskoj izložbi u Čikagu 1893. godine prikazala je novi proizvod za prevoz, električni automobil.

Prvo električno vozilo napravio je francuski inženjer Gustav Trouve 1881. god. [1]. To je bilo vozilo na tri točka sa 70W DC motorom i olovnim akumulatorom. Istovremeno englezi William Ayrton & John Perry razvijaju svoje rešenje električnog tricikla sa motorom snage 350W i maksimalnom brzinom od oko 15 km/h (slika 1). Vozilo se napajalo iz olovnih baterija, a regulacija brzine je postizana prevezivanjem baterija.



Sl.1 Ayrton Perry električni tricikl (Trike) iz 1881. [1]

Nagli razvoj električne vuče korišćenjem DC pogona i njena komercijalizacija u gradskim reonima (električni tramvaji, vozovi, brodovi i sl.) navela su Electrical Vehicle Company iz Njujorka da započne proizvodnju električnih vozila za tržište 1896. god. Prva rešenja su našla primenu kao

taksi vozila (slika 2). Imali su maksimalnu brzinu od 32 km/h i radijus kretanja do 40 km [1].



Sl. 2. Električno taksi vozilo u Njujorku oko 1901.godine [1]

Početkom XX veka kupci motorizovanog transporta su mogli da biraju između vozila na parni pogon, benzinski ili električni. Tržište je bilo podeljeno, bez ikakvih naznaka o tome koji će pogon biti dominantniji u budućnosti. Vozila na parni pogon su imala brzinu i bila su jeftinija, ali im je trebalo dosta vremena da se zagreju, kao i da se često zaustavljaju za vodu. Vozila sa SUS motorom su bila prljavija, teža za startovanje i umereno skupa, ali su mogla da se koriste za duža putovanja na razumnoj brzini bez zaustavljanja. Električna vozila su bila čista i tiha, ali zato spora i skupa. U tom periodu blizu pedeset kompanija je proizvodilo električne automobile i pokrivalo 38% tržišta u SAD. Jedna od uspešnijih firmi bila je Baker Electric Vehicle Company, koja je proizvela više modela. Na slici 3 je Beker električni auto, koji je mogao da dostigne zavidne brzine za to vreme (oko 40 km/h). Trkačka varijanta je išla čak do 190 km/h [2].



Sl. 3 Baker Electric Car je mogao da dostigne 40 km/h [2]

Tehnologija električnog pogona nije držala korak sa potrebama putovanja na velike udaljenosti niti u pogledu brzine, niti pogodne infrastrukture za stanice za punjenje. Linkolnov autoput od Njujorka do San Franciska imao je samo 50 stanica za punjenje baterija, od toga samo 14 zapadno od reke Misisipi (slika 4). Već 1913. godine generalno zapažanje bilo je da električna vozila gube tržišnu utakmicu sa benzinskim automobilima. Velika kriza 20-tih godina u SAD i svetu drastično je ograničila resurse za

napredovanje u ovoj oblasti, tako da je praktično okončana proizvodnja u SAD i ostalim kompanijama u Evropi. Konačni udarac je električnim vozilima zadat je kada je *Ford Motor Company* razvio sistem masovne proizvodnje i ponudio tržištu čuveni model *Ford T4* za cenu 50% nižu od odgovarajućeg električnog automobila. Do 1930. god. električna vozila su nestala sa tržišta automobila u SAD.



Sl. 4. Beker električni automobil na stanici za punjenje [1]

Međutim, čitav niz okolnosti dovodi električne automobile, ponovo, u žižu istraživačke, a zatim i šire javnosti. Razvojem u energetske elektronici i prelaskom na poluprovodničke (tkzv. *solid-state*) energetske pretvarače, smanjeni su gubici u radu električnog pogona i energetska efikasnost povećana na preko 90%. Razvijanjem novih algoritama digitalne kontrole korišćenjem mikroprocesora, omogućeno je kvalitetno i pouzdano upravljanje motorom i regulacija brzine, a takvi uređaji su zauzimali veoma mali prostor. Istovremeno se javlja zabrinutost za životnu sredinu, raste ekološka svest i traže metode smanjenja emisije štetnih gasova. Dodatnu zabrinutost počinju da donose vesti da su rezerve nafte, kao pogonskog fosilnog goriva, ograničene i da će se u nekoj, ne tako dalekoj budućnosti, iscrpiti. To podstiče traženje alternativa nafte, kao gorivu i dovodi do ponovnog okretanja električnim i hibridnim rešenjima automobila.

Šezdesetih godina XX veka proizvodnja je ograničena na male eksperimentalne tipove. Modeli Peel Trident i P50, kompanije *Peer Electric Mini Car* su bili u skladu sa minitimizacijom automobila u to vreme, zbog ograničenog prostora za parkiranje u gradovima, trotočakaši sa karoserijom od fiberglasa (slika 5).



Sl. 5 Peel električni automobili iz 1962. god.
(Izvor: <http://www.trendhunter.com>)

Verovatno najuspešniji električni automobil 60/70-tih bio je Enfield 8000 (slika 6). Proizvodio se u Londonu. Imao je dvoje vrata i četiri sedišta. DC električni motor snage 6 kW i 220Ah olovne baterije omogućavale su radijus kretanja do 90 km i maksimalnu brzinu od 60 km/h. Napravljeno je svega 106 primeraka, a cena je bila previsoka za većinu kupaca.



Sl. 6. Model Enfield 8000, 1969
(Izvor: <http://www.imps4ever.info>)

U periodu sedamdesetih-osamdesetih godina XX veka nastavljena su istraživanja, ali osim raznih modela mini automobila, nije bilo ozbiljnih komercijalnih pokušaja. Ključni problem su bile baterije, njihova velika težina i relativno mali energetska kapacitet. Dodatni problem su bila značajna unapređenja kod konkurentnih SUS motora u cilju smanjenja količine izduvnih gasova i potrošnje goriva.

Ipak, devedesetih godina počinju da se pojavljuju prvi modeli za tržište. EV1 je bio električni automobil, kojeg je General Motors proizvodio od 1996 do 2003 (slika 7). EV1 je ubrzavao od 0-100 km za 8s, maksimalna brzina mu je bila 160 km/h, a imao je radijus 193 km. Prvi modeli iz 1996. god. koristili su olovne baterije kapaciteta 53 Ah na 312 V, što je omogućavalo domet do oko 100 km. Kasniji modeli (2. generacija 99-2003) prešli su na NiMH (nikl-metal hidridne) baterije, što je smanjilo težinu i povećalo domet do čak 240 km. Baterije su bile u obliku paketa kapaciteta 26,4 kWh, koji se sastojao od 26 komada 13,2 V 77 Ah baterija, sa naponom sabirnice od 343 V. Proizvođen je i u verzijama kao hibridno vozilo i sa gorivim ćelijama. Ipak, osnovna cena modela od oko 33.000 \$, odnosno oko 430 \$ u mesečnom lizingu, kao i potreba za kompletnom zamenom baterija posle samo 40.000 km (dodatnih 1500 \$) nisu izdržale tržišnu utakmicu.



Sl. 7. General Motors EV1, 1996.
(Izvor: <http://www.westhillscollision.com>)

Kraj XX veka obeležio je Hondin model EV Plus, koji je prvi počeo da koristi NiMH baterije (slika 8). EV Plus je

imao maksimalnu brzinu od 130 km/h i radijus kretanja do 160 km. Proizvedeno je oko 340 primeraka, koji su se prodavali isključivo lizingom za 455 \$ mesečno (ukupna cena 53.000 \$). Na kraju je Honda povukla sve automobile sa tržišta i uglavnom ih razmontirala.



Sl. 8. Hondin model EV Plus sa NiMH baterijama.
(Izvor: <http://www.barthworks.com>)

Učestala poskupljenja i neizvesnosti na tržištu nafte, kao i sazrela ekološka svest, pre svega u ekonomski najrazvijenijim zemljama, doprineli su da početak XXI veka bude obeležen sa odlukom većine velikih svetskih proizvođača automobila o pokretanju proizvodnje hibridnih i električnih vozila. Prekretnicu su svakako obeležili dva modela: Tojotin hibridni automobil *Toyota Prius* i električni automobil nove kalifornijske kompanije Tesla *Roadster*.

Toyota Prius se proizvodi već više od 15 godina i do sada se pojavila u tri generacije (*Prius*, *Prius+* i *Plug-in Prius*), a prodana je u preko 3.000.000 komada (slika 9). Detalji o ovim modelima su široko poznati, ali вреди istaći da se radi o hibridnom rešenju, kod kojeg se 500 V električni motor (27kW, 37KS) direktno napaja iz električnog generatora, koga pokreće SUS motor (slično, kao pogon alternatora, kod standardnih vozila sa SUS motorom) [3]. SUS motor je zapremine 1,8 l, snage 100 KS sa prosečnom potrošnjom od 4 l/100km, a višak energije se skladišti u baterije. NiMH baterija je kapaciteta je 6,5 Ah, a sastoji se od 28 modula od 7,2 V ukupne težine 30 kg, sa izlaznim naponom od 202 V. Specifična je snaga baterija 1300 W/kg, a trajnost oko 300.000 km. Poslednje generacije uključuju veće baterijske pakete i mogućnost punjenja iz javne distributivne mreže – *Plug-in Prius*.



Sl.9. Tri generacije Tojote Prius, najprodavanijeg hibrida na svetu. (Izvor: <http://www.automagazin.rs>)

Tesla Roadster se pojavio 2008. godine i predstavlja inovaciju u polju električnih automobila. Električni pogon zasnovan je na trofaznom, četvoropolnom, naizmeničnom

električnom motoru, koji je upravljao iz trofaznog mikroprocesorski kontrolisanog invertora, a napaja se iz litijum-jonske (Li-ION) baterije kapaciteta 60 kWh i 200.000 km garantovanog rada (prodaje se i sa baterijama od 85 kWh i neograničenom garancijom trajanja). Njegove vozne performanse su impresivne, jer mu treba samo 3,7 s za ubrzanje do 100 km/h, a sa jednim punjenjem baterija može preći čak 400 km (slika 10). Za punjenje baterija koristi se garažni punjač, koji ih može napuniti za 4h ili mobilni punjač, sa kojim punjenje traje 6h. Na raspolaganju su i napojne stanice u većini gradskih područja u SAD sa brzim punjačima od 120 kW, gde punjenje traje 30 min.



Sl.10. Autor rada u Tesla Roadster-u.

Poslednjih godina sve je više modela električnih automobila serijske proizvodnje dostupnih na tržištu, od kojih su poznatiji: pomenuti *Tesla Roadster*, zatim *Mitsubishi i-MiEV*, *Nissan Leaf*, *REVAi* (proizvođača REVA Electric Car Comp. iz U.K.), *Peugeot iOn*, *Citroen C-ZERO*, *Reno Zoe*, *BMW i3* i dr. *Leaf* i *i-MiEV* su, s ukupnom prodajom od više od 15.000 jedinica svaki, su danas najprodavaniji električni automobili.

2.2. Klasifikacija električnih automobila

Danas se električni pogon javlja u više oblika, pa je potrebno izvršiti klasifikaciju različitih primenjenih rešenja. Pojavljuju se dve kategorije ovih vozila:

- hibridna vozila, gde je pogon urađen zajedno sa klasičnim pogonom sa SUS motorom
- električna vozila

U nastavku će biti ukratko opisane razne verzije ovih vozila.

2.2.1. Hibridna vozila (Hybrid Electric Vehicles, HEV)

Ova vozila koriste i motor sa unutrašnjim sagorevanjem i električni motor, pa po tome spadaju u kategoriju vozila sa malom emisijom štetnih gasova LEV (*Low Emission Vehicles*). Koriste električni motor za poboljšanje karakteristika standardnog SUS pogona prilikom starta, ubrzanja i sl., što je pogodno kod korišćenja automobila u gradskoj vožnji (stop-and-go) i čime se smanjuje potrošnja goriva. Obično se automobil ubrzava do oko 40 km/h sa električnim motorom, a zatim pogon preuzima SUS motor. Električni motor se napaja iz male baterije, tako da u ovom režimu pogon je sličan baterijskom električnom vozilu

(BEV). Baterija se puni iz alternatora na sličan način, kao i standardni akumulatori ili koristeći opciju regenerativnog kočenja. Primeri ovih vozila su *Ford Fusion Hybrid* i *Toyota Prius* (slika 7).

2.2.2. Hibridna vozila sa AC priključkom (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV)

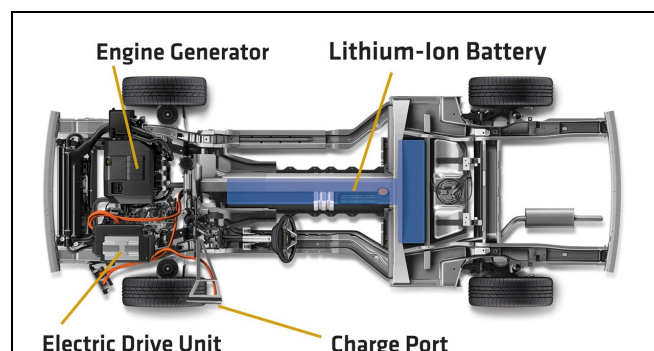
Mogu se opisati kao kombinacija hibridnog (HEV) i baterijskog (BEV) električnog vozila, s tim da se baterija može puniti i iz javne AC mreže, pored punjenja iz alternatora (tj. SUS motora) i regenerativnim kočenjem. Rade isto kao i hibridna električna vozila (električni pogon do 40 km/h), ali imaju veću bateriju. Time se postiže veća autonomija korišćenja električnog pogona, odnosno ova vozila su pogodna i za gradsku i za prigradsku vožnju. Mana ovakvog rešenja je što dodatna baterija automatski znači i dodatnu cenu, kao i dodatnu težinu samom vozilu. *Toyota Plug-in Prius* je jedan od primera vozila, koja koriste ovo rešenje (slika 11).



Sl. 11. Toyota Plug-in Prius – hibridno vozilo sa AC priključkom. (Izvor: <http://www.automobilesreview.com>)

2.2.3. Hibridna vozila sa produženim radijusom kretanja (Extended Range Electric Vehicles)

Ova vozila imaju paralelni dualni pogon. SUS motor se koristi samo za pokretanje električnog generatora, kojim se pune baterije. Ovaj motor radi u optimizovanim uslovima, tj. sa minimalnom potrošnjom tečnog goriva. Baterije se mogu puniti i iz javne mreže, preko AC priključka. Glavni pogonski motor je električni, koji se napaja iz baterija (slika 12). Primer ovakvog rešenja je Chevrolet Volt.

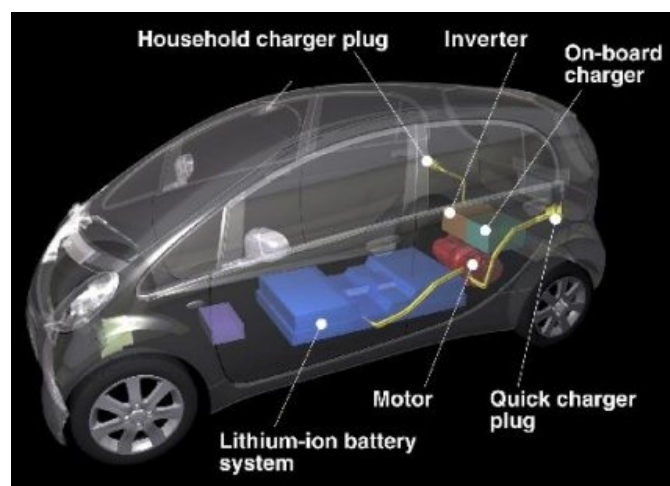


Sl. 12. Pogonske jedinice kod Chevrolet Volt-a. (Izvor: <http://www.mad4wheels.com>)

2.2.4. Baterijski (Battery Electric Vehicle - BEV)

Pod ovom klasifikacijom se podrazumevaju električna vozila, koja se napajaju sa strujom iz baterija. Po tome, ova vozila spadaju u grupu ZEV (*Zero Emission Vehicles*) i ne emituju štetne gasove u atmosferu.

Ovakvi električni automobili imaju jednostavnu konstrukciju, koja obuhvata elektromotor, baterije, kontroler, kao i elektroenergetske pretvarače. Na slici 13 su dati osnovni sklopovi ovog električnog pogona. Elektromotor (Motor) služi za pogon transmisije, a upravljan je iz energetske pretvarača (Inverter). Za pogon motora se koristi električna energija akumulirana u baterijama (Lithium-ion battery system). Baterije se pune iz AC električne mreže (monofazne ili trofazne), koristeći odgovarajuće raspoložive utičnice (Household charger plug ili Quick charger plug), preko ugrađenog (on-board) punjača (On-board charger). Ceo sistem se upravlja (energy management) preko kontrolera. Primeri ovakvog rešenja su električni pogoni Nisan Leaf, Mitsubishi MiEV i dr.



Sl. 13. Presek električnog automobila i-MiEV
(Izvor: <http://green.autoblog.com>)

S obzirom na način dobijanja električne energije za punjenje baterija iz kojih se napaja električni pogon, električni automobili se mogu još podeliti na one koji se pune iz javne mreže (javnih i privatnih punjača), iz gorivih ćelija i korišćenjem solarne energije. U prva kategoriju spadaju sva već pomenuta električna vozila i hibridna vozila sa AC priključkom. Ostale dve kategorije će biti ukratko opisane u nastavku.

2.2.5. Električna vozila sa gorivim ćelijama (Fuel-cell electric vehicle - FCEV)

Ovaj tip električnog vozila se napaja energijom iz gorivih ćelija, koje sagorevaju vodonik uz dodatak kiseonika. Izlazni produkt, uz električnu energiju, je voda, tako da se ova vozila svrstavaju u grupu ZEV. Na slici 14 prikazana je goriva ćelija ugrađena u Nisanov model X-trail. Ova energija se koristi za punjenje litijum-jonskih baterija, pa je električni pogon isti kao kod BEV. Primer uspešnog FCEV je *Nissan X-trail FCEV*.

2.2.6 Solarna električna baterijska vozila (SBEV)

Kod ovih rešenja električnih vozila za punjenje električnih baterija se koristi solarna energija konvertovana

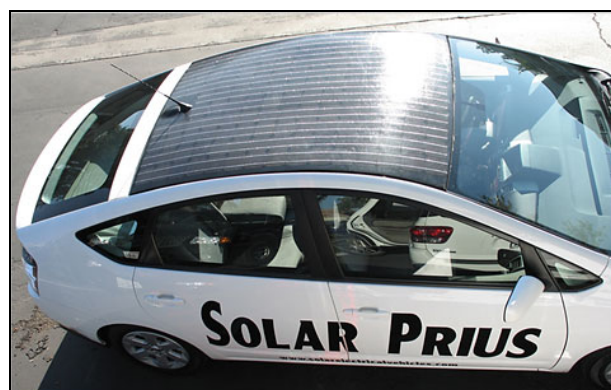
foto-naponskim (FN) panelima. Solarni automobili mogu biti konstruisani tako da se električna energija dobija:

- iz solarnog FN panela ugrađenog na automobil ili
- iz solarne energetske mreže.



Sl. 14. Goriva ćelija koja se ugrađuje u Nissan X-trail FCEV. (Izvor: <http://www.nissan-global.com>)

U oba slučaja, problem je relativno mala snaga solarnog PV sistema, odnosno potreba za velikom površinom FN panela kada se povećava snaga. Ipak, ovakav vid dobijanja električne energije je potpuno čist, pa se kompletan ciklus dobijanja i trošenja električne energije može smatrati ekološki prihvatljiv. Primer ovog vozila je Tojotin Solar Prius (slika 15). Na slici 16 prikazano je rešenje punjenja Micubišijevog i-MiEV na solarnoj pumpnoj stanici u gradu Cypress-u (SAD) kapaciteta 4 električna automobila, koja je otvorena 2011. god.



Sl. 15. Solarno vozilo – Toyota Solar Prius
(Izvor: <http://wheels.blogs.nytimes.com>)

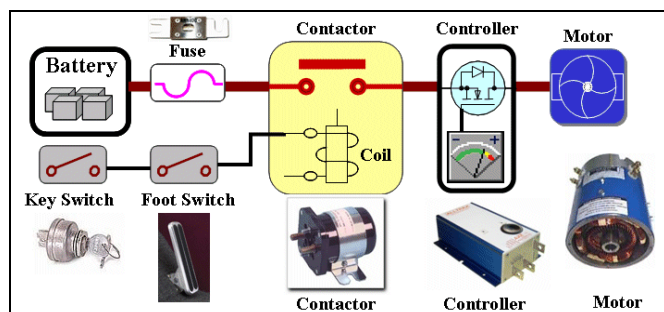


Sl. 16. Solarna pumpna stanica za električne automobile.
(Izvor: <http://www.kbb.com>)

Postoji i niz drugih rešenja, veoma atraktivnih sa dizajnerskog stanovišta. Takođe, u Evropi, Americi, Južnoj Africi i Australiji se održavaju trke solarnih automobila, što doprinosi daljem razvoju ove tehnologije.

3. OPIS POGONA ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

Standardni električni automobil se napaja iz LiMH ili Li-ION-skih baterija, koje daju DC napon veličine od 12 V do nekoliko stotina volti. Napon se zatim konvertuje DC/DC pretvaračen na visinu, koja odgovara DC motoru ili invertoru. U drugom slučaju, inverter vrši DC/AC konverziju radi napajanja neizmeničnog (-ih) motora asinhronog ili sinhronog tipa. Upravljanje ovim pretvaračima je obično iz posebnog upravljačko-regulacionog sklopa, koje je digitalnog tipa i ostvaruje se pomoću mikroprocesorske jedinice i pratećih sklopova. Pored ovog, u automobilu se nalazi i sklop za punjenje baterija i energetski menadžment uskladištenom energijom u baterijama. Na slici 17 data je slikovita blok šema jednog ovakvog rešenja sa DC motorom.



Sl. 17. Slikovita blok šema pogona sa DC motorom.

4. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI CRESQ EA1 I EA2

4.1. Električni automobil CRESQ EA1

Električni automobil CRESQ EA1 je kineske proizvodnje prilagođen za uslove vožnje u Srbiji (slika 18). To je mali dvosjed, pogodan za gradsku vožnju sa jednosmernim pogonom i dometom oko 60 km. Napaja se iz 5 baterija vezanih na red (3 Trojan-Trozen 8 V, 145 Ah, i 2 Banner Energy Bull 12 V, 100 Ah) tako da je izlazni napon 48V. DC motor je sa rednom pobudom, kineske proizvodnje (Zibo Super Motor Co. Ltd.), snage 4 kW, nominalnog napona 48 V i struje 104 A, te nominalne brzine od 2800 min⁻¹ u režimu S2–60 min (slika 19) [4].

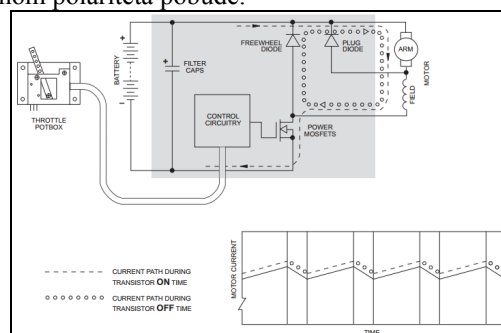


Sl. 18. Električni automobil CRESQ EA1.



Sl. 19. Pogonski DC motor u CRESQ EA1 vozilu.

Regulacija brzine se ostvaruje pomoću čoperskog pretvarača i analogne kontrole. Na slici 20 je prikazana blok šema rada električnog pogona ovog automobila. Upravljačko kolo (*Control circuitry*) generiše kontrolne signale za uključenje/isključenje snažnog MOSFET tranzistora (*Power MOSFET*) po principu PWM modulacije. Ovaj tranzistor, zajedno sa snažnom diodom (*Freewheel diode*) sačinjava DC/DC pretvarač – DC čoper. Jednostavnom regulacijom faktora ispunje tranzistora, reguliše se izlazni napon čopera, odnosno napon na priključcima DC motora, a time i brzina obrtanja. Komanda za regulaciju dobija se sa papučice „gasa“ (*Throttle potbox*). Promena smer obrtanja, postiže se promenom polariteta pobude.



Sl. 20. Blok šema sa opisom načina rada DC pogona.

4.2. Električni automobil CRESQ EA2

Električni automobil CRESQ EA2 je kineske proizvodnje prilagođen za uslove vožnje u Srbiji (slika 21). To je mali jednosjed, pogodan za gradsku vožnju sa pogonom u sva četiri točka i očekivanim dometom oko 60 km [5]. Prikazan je tokom ispitivanja u praznom hodu, kada je kompletan automobil odignut od zemlje.



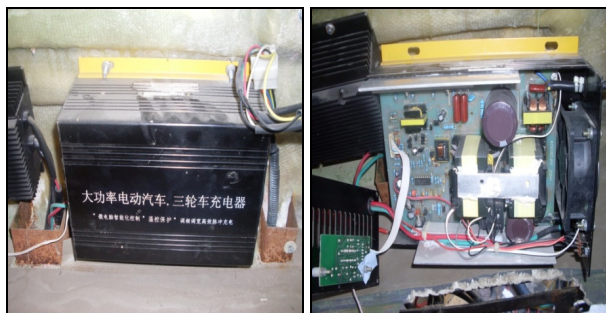
Sl. 21. Ispitivanje CRESQ-EA2 u praznom hodu.

Automobil se pogoni sa 4 sinhrona motora sa pobudom od permanentnih magneta (SMPM). Motori su ugrađeni u točkove, tako da se automobil ponaša kao *four-wheel drive*. Na slici 22 dat je izgled motora, nakon što je skinut točak.



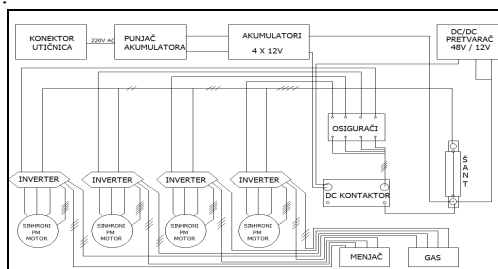
Sl. 22. Sinhroni (SMPM) pogonski motor.

Napajanje motora je iz 4 baterije kapaciteta 55 Ah i napona 12 V vezanih na red, tako da je izlazni napon baterijskog paketa 48 V. Ovim naponom se napaja DC/DC pretvarač, koji ga spušta na 12 V, odakle se vodi na invertore za svaki motor po jedan. Baterije se pune iz javne distributivne mreže (220 VAC) preko ugrađenog punjača. Na slici 23 prikazana je jedna baterija i regulator punjenja.



Sl. 23. Akumulator i regulator punjenja.

Blok šema električnog pogona automobile data je na slici 24, a izgled invertora sa skinutim poklopcem kućišta, na slici 25.



Sl. 24. Električna šema pogona CRESPO-EA2.



Sl. 25. Izgled invertora - električna pločica.

5. REZULTATI ISPITIVANJA

5.1. Ispitivanje električnog automobila CRESPO-EA1

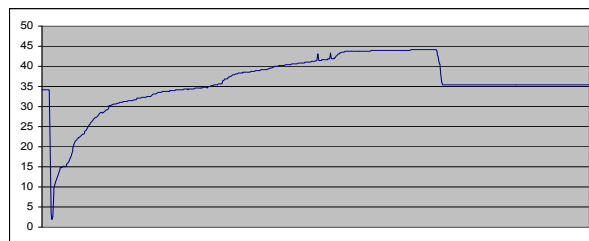
Automobil CRESPO EA1 testiran je pod opterećenjem i uz vožnju na otvorenom poligonu. Urađena su tri testa:

1. Ubrzavanje do pune brzine
2. Ubrzavanje do 50% brzine sa usporavanjem bez kočenja
3. Rad pri malim brzinama.

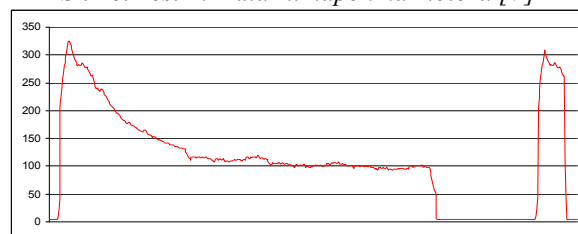
Posmatrani su napon i struja na motoru, a korišćeni su ampermetar i voltmetar, kao i osciloskop. Na slikama 26-30, predstavljeni su rezultati ispitivanja.

5.1.1 Rezultati Testa 1

Prvo ispitivanje je vršeno pri ubrzavanju automobile od nulte brzine do nominalne. Rezultati su dati na slikama 26 (napon) i 27 (struja). Na slikama se vidi da nakon starta automobila, napon na motoru ima najmanju vrednost (1,96V), dok struja je kreće do najveće vrednosti. To znači da prilikom starta auta na motoru ima tri ili četiri puta veću vrednost nominalne struje. Kako brzina raste, ekponencijalno raste i napon, dok struja po istoj funkciji opada. Na kraju zaleta, napon ima vrednost oko 45 V, a struja dostiže svoju nominalnu veličinu (oko 105 A). Rezultati potvrđuju pravilan rad čopera i motora.



Sl. 26. Test 1: Izlazni napon na motoru [V]



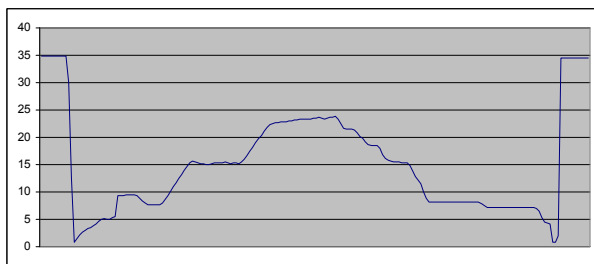
Sl. 27. Test 1: Struja armature motora [A]

5.1.2 Rezultati Testa 2

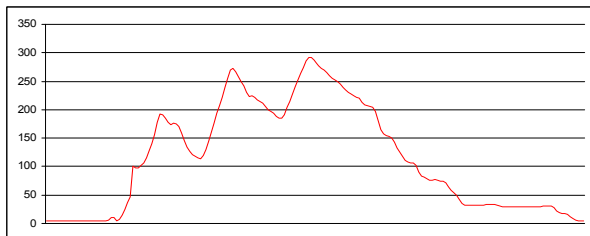
Tokom 2. testa vršeno je ubrzavanje automobila do 50% nominalne brzine, a zatim smanjivanje na nultu, bez kočenja. Rezultati su dati na slikama 28 (napon) i 29 (struja). Vidi se slično kretanje napona i struje, kao i u prvom testu, samo što se umesto ekponencijalnog rasta vidi stepenasta karakteristika. Ovo je posledica nemogućnosti održavanja konstantnog pritiska na papučicu gasa. Očekivano ekponencijalno opadanje struje je jasno vidljivo prilikom usporavanja.

5.1.2 Rezultati Testa 3

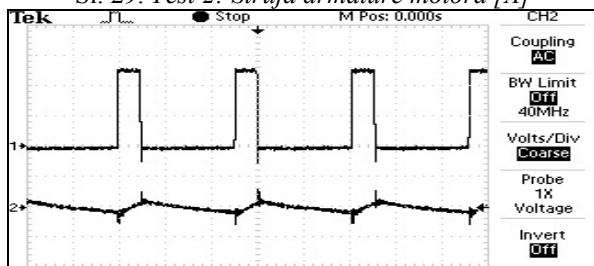
Cilj trećeg testa je da se proverí rad upravljačkog kola jednosmernog, jednokvadrantnog čopera. Osciloskopom je posmatran su posmatrani napon i struja pri kretanju sa malom brzinom. Na slici 30 su prikazani rezultati i to za napon na gornjem, a za struju na donjem dijagramu. Uočava se impulsni karakter napona na motoru, kao i ekponencijalni oblik struje u ustaljenom stanju. Ovo odgovara očekivanim karakteristikama rada čopera.



Sl. 28. Test 2: Izlazni napon na motoru [V]



Sl. 29. Test 2: Struja armature motora [A]

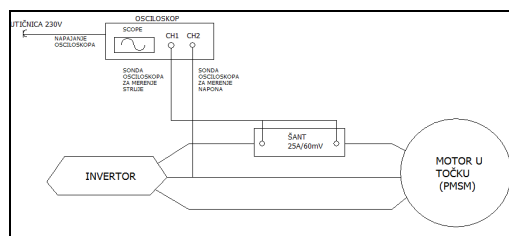


Sl. 30. Test 3: Talasni oblik napona (gore) i struje (dole).

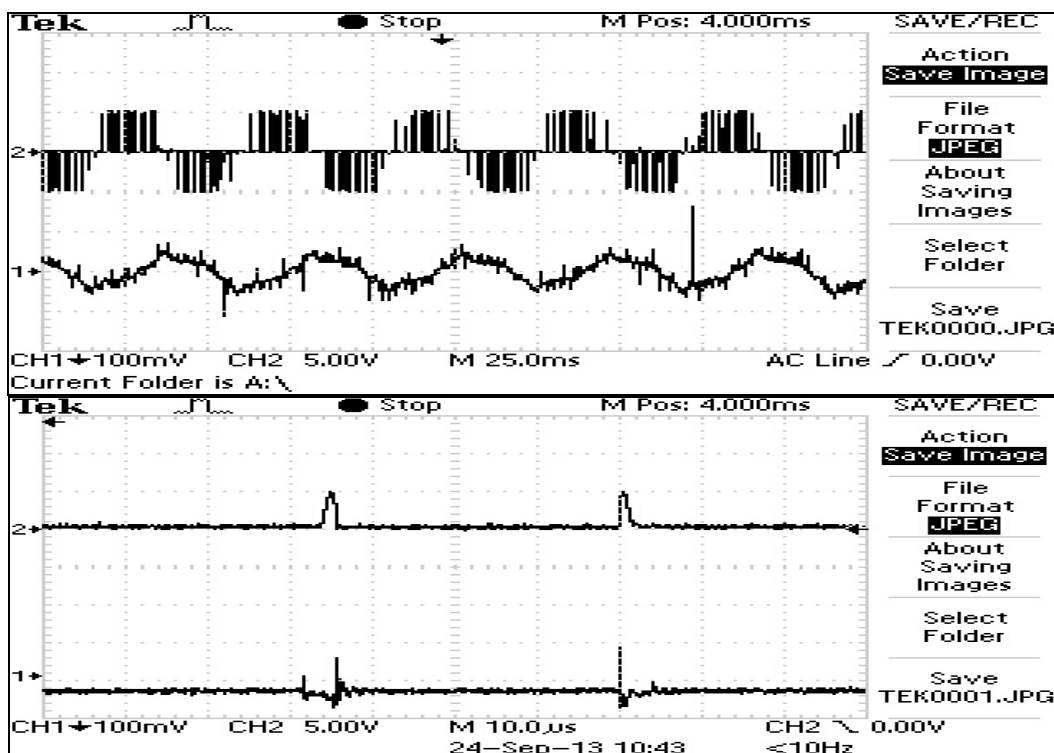
5.2. Ispitivanje električnog automobila CRESPQ-EA2

Planirano je da se testiranje električnog vozila izvrši u dve faze: 1. u praznom hodu i 2. pri opterećenju (u vožnji). Međutim, usled kvara na jednom od četiri motora, u koji se ulila voda i koji je usled toga korodirao (slika 21, motor levog, zadnjeg točka), vozilo nije moglo da se testira u vožnji u saobraćaju. Ovakav korodirali motor se pri pokretanju automobila ponašao kao kočnica jer zbog korozije u vazдушnom zazoru između rotora i statora nije mogao da se pokrene. Zato je zakočeni točak morao biti prespojen, a izvršeno je samo testiranje u praznom hodu.

Da bi se dobio jednostavan sistem za ispitivanje u praznom hodu, automobil je odgnut od podloge. Na slici 21 prikazan je položaj automobila tokom testiranja sa vozilom podignutim na betonske blokove, demontiranim točkom i sa odspojenim motorom koji je korodirao od invertora koji ga napaja. Šema priključenja mernih instrumenata, odnosno osciloskopa, data je na slici 31. Na kanalu 1 posmatrana je struja motora, dobijena preko mernog šanta, dok je na kanalu 2 posmatran napon motora.



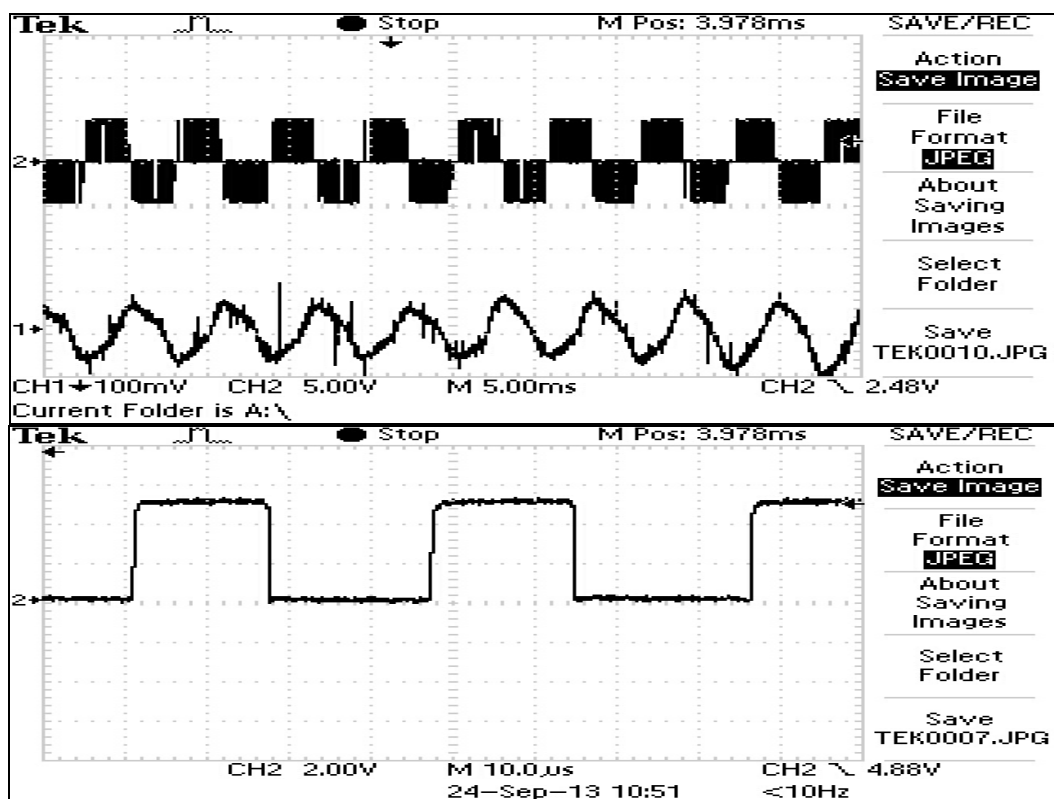
Sl. 31. Šema ispitivanja



Sl. 32. Rezultati ispitivanja u praznom hodu pri 20% nominalne brzine: Napon i struja (gore) i Impulsi u izlaznom naponu - faktor ispunje 5% (dole)

Urađena su dva testa. Rezultati ispitivanja prikazani su na slikama 32 i 33. U prvom testu posmatran je prazan hod motora pri komandi 20% od nominalne brzine (slika 32). Vidi se eksponencijalni karakter struje i PWM napona. Na donjoj slici vide se impulsi napona, odnosno mali faktor

ispune. U drugom testu posmatran je prazan hod pri obrtanju motora sa 100% nominalne brzine (slika 33). Ponovo su izraženi očekivani oblici struje i napona. Na donjoj slici se vidi da je PWM oblik napona dostigao maksimalni faktor ispunje od 50%.



Sl. 33. Rezultati ispitivanja u praznom hodu pri 100% nominalne brzine: Napon i struja (gore) i Impulsi u izlaznom naponu - faktor ispunje 50% (dole)

6. ZAKLJUČAK

U radu jesu predstavljena ispitivanja električnog pogona dva mala automobile. U prvom slučaju, posmatran je pogon sa DC motorom, čija brzina je regulisana DC/DC pretvaračem – jednokvadrantnim čoperom. U drugom slučaju je ispitivan pogon SMPM upravljan PWM inverterom. U oba slučaja dobijeni su očekivane električne karakteristike ovog pogona. Ovim ispitivanjem su stečena dragocena iskustva o načinu realizacije malih električnih automobila, kao i uvid u praktične probleme eksploatacije.

Na osnovu ovih rezultata, u daljem radu predviđeno je projektovanje novog pogona automobila CRESPO EA1 sa asinhronim naizmeničnim motorom. Cilj je da je postojeći DC pogon zameni sa savremenim AC pogonom, te da se poređenjem karakteristika utvrde prednosti novog rešenja.

7. LITERATURA

- [1] <http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearllyIII.htm>
- [2] <http://www.edisontechcenter.org/ElectricCars.html>
- [3] I.Mihalec, "Zašto hibridna vozila?", Mart 2006., <http://www.fsb.unizg.hr/miv/razno/korisno/Prius.pdf>
- [4] T. Lauc, „Prikaz i testiranje električnog vozila“, Diplomski rad (mentor prof. dr Vladimir Katić), Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2013.
- [5] N. Tovilović, "Testiranje pogona električnog automobila - prva faza" Diplomski rad (mentor prof. dr Vladimir Katić), Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2013.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu sufinansiranom od strane Pokrajinskog sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine pod brojem 114-451-3508/2013-04.

Abstract – The paper gives an overview of the research on electrical vehicles of the group of Power electronics converters at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad. The purpose of the paper is presentation of the testing results of electric cars. A brief history of electric vehicles and their classification is given at the beginning of the paper. Principles of electric drive operation of a battery electric vehicle are presented. The different concept of Chinese-made electric drives, which is used in research at the Faculty of Technical Sciences is shown. The first car (CRESPO EA1) is driven with a DC motor, while the other vehicle (CRESPO EA2) has AC drive with four small synchronous motors with permanent magnets (SMPM) built-in. Results of testing of electric drives of these vehicles in the laboratory conditions are presented. Possibilities to improve these drives and plans for further research in this field are given.

SMALL ELECTRIC CARS-TESTING BASIC CHARACTERISTICS OF THE DRIVE

Vladimir A. Katić, Zoltan Čorba, Boris Dumnić, Dragan Milićević, Bane Popadić