

## RAZVOJ POGONSKOG SISTEMA ZA “NISSAN FEV”

Hirohisa Yamamura, Ryoso Masaki,  
Osamu Koizumi, Keigo Naoi, Shotaro Naito  
*Hitachi Ltd. Tokyo Japan*  
Masato Fukino, Yuichi Fukuyama  
*NissanMotor Co Ltd. Japan*

**Rezime** – *Motori i kontroleri su ključne komponente ev-la. Ove komponente traže kompaktnost, malu težinu, veliku snagu, visok stepen iskorišćenja i veliku pouzdanost. Ovaj tekst opisuje neke od osobina pogonskog sistema Nissana FEV, koji se sastoji od dva motora sa visokim stepenom iskorišćenja velike brzine od 20kW indukcionog tipa i dva usavršena trofazna PWM invertora sa bipolarnim tranzistorima sa izolovanim gejtom (IGBT) i mikroprocesorski upravljanim kontrolerom. Koncept FEV-a je da smanji gubitke energije vozila i da minimizuje broj delova zarad uštede u prostoru. Da bi se smanjila veličina motora maksimalna brzina je 1500 ob/min a usvojeno je i hlađenje sa uljnim tušem. Maksimalna učestanost invertora je 500 Hz koja odgovara motoru. Da bi smanjili buku bez smanjenja efikasnosti noseća frekvencija invertora je 10 kHz.*

*Upravljač ima tri mikroprocesora zarad postizanja sigurnog rada i upravljanja. Test performansi i iskoristljivosti sistema je opisan u tekstu a odnosi se na IGBT tranzistore i indukcionu motor i iznosi maksimalno 85%.*

### UVOD

Skorašnji ekološki koncepti vezani za zagađenje atmosfere i čuvanje energije su povećale potrebu za razvojem električnih vozila. Potrebno je rešiti mnoge probleme u cilju komercijalne proizvodnje električnih vozila. Ovo uključuje veliki broj činioca vezanih za cenu i pouzdanost ev-la i zahteve koji uključuju implementaciju infrastrukture podrške na tržištu, ne govoreći samo o baterijama. Pogonski sistem FEV-a je dizajniran tako da ima dva motora sa kvadratnim, koaksijalnim prenosnikom koji pogoni levi i desni prednji točak nezavisno i dva invertora sa IGBT i kontroler sa tri mikroprocesora za kontrolu motora i vozila.

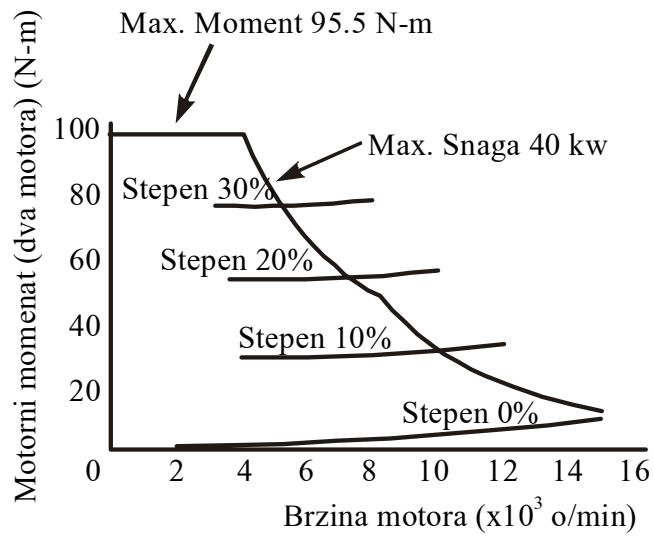
### KONCEPT DIZAJNA POGONSKOG SISTEMA

Motori i kontroleri dizajnirani da zadovolje performanse FEV-a su prikazani u tabeli 1.

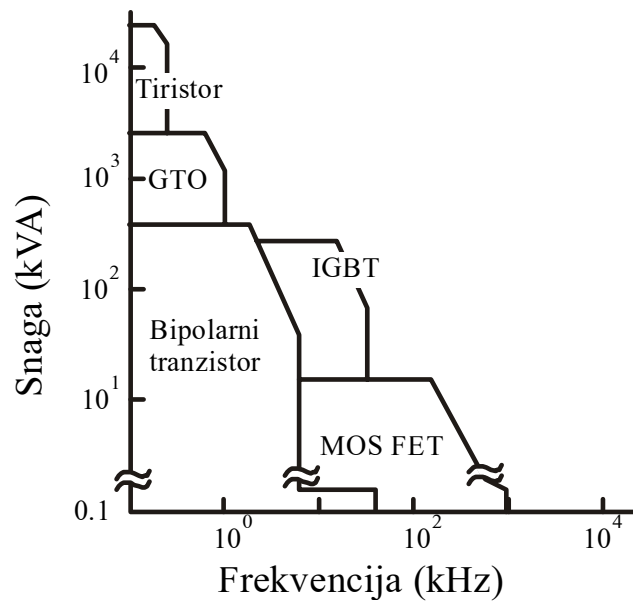
Ubrzavanje	0-400m	20s
	0-40m	3,6s
Maksimalna brzina		130km/h
Domet pri konst. Brzini	40km/h	250km
	72km/h	160km

Tabela 1. Performanse FEV-a

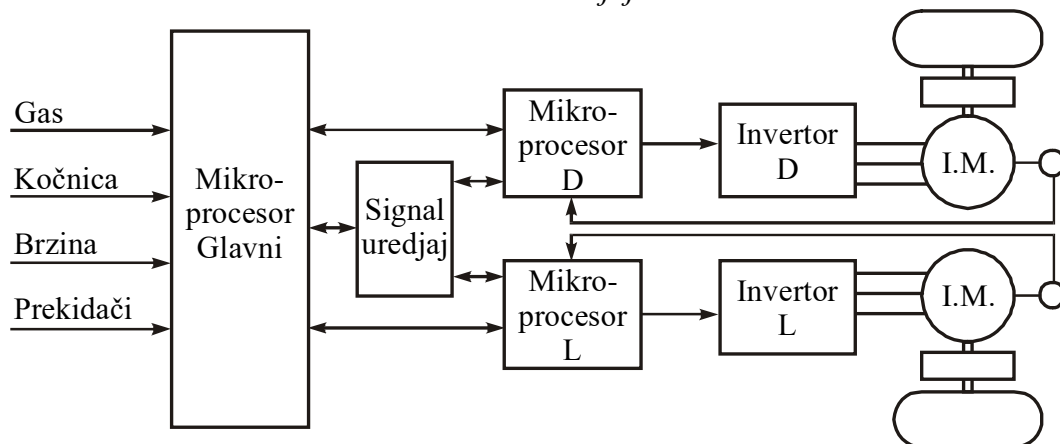
Prvo, da bi se postiglo ubrzanje i ravnomernost ubrzanja usvojena je maksimalna snaga od 40kW. Drugo, da bi se postigla maksimalna brzina i smanjila veličina motora, 15000 ob/min je odabrana kao što je prikazano na slici 1. Treće, da bi se postigao domet pri konstantnoj brzini u jednom punjenju, efikasnost kontrole je kasnije objašnjena.



Slika 1. Izlazne k-ke motora kod FEV-a



Slika 2. Izlazne k-ke uredjaja kod FEV-a



Slika 3. Blok dijagram pogonskog sistema kod FEV-a

U cilju minimizacije veličine motora, razmatran je visokobrzinski motor. Dvopolni motor na 250Hz i četvoropolni motor na 500Hz su upoređivani i četvoropolni je izabran zbog kompaktnosti. Noseća učestanost od 10kHz je određena za obrtanje motora na maksimalnoj učestanosti od 500Hz sinusnog talasa. Slika 2 prikazuje k-ke energetske elektronike. Prilikom 20kW opterećenja i 10kHz učestanosti IGBT je najbolji. U drugu ruku IGBT ima manu da mu je direktni napon polarizacije veći od poredjenog bipolarnog tranzistora.

IGBT je novi uređaj kod koga su veličine napona zasićenja i brzina prekidanja usavršavani iz godine u godinu, tako da je najprikladniji izabran, kao što je navedeno kasnije. Što se tiče motora, indukcionni motor je izabran zbog postojanosti u vozilu i adekvatan je za velike brzine. U konvencionalnom dizajnu vozila dva ili tri seta prenosnika su potrebna kod prenosa preko 30%, a maksimalna brzina treba da je 130km/h da bi se susreo sa zahtevima automobilske industrije. Ovaj sistem nema setove prenosnika zahvaljujući znatnoj redukciji od otpora kretanju i upravljanju slabljenjem polja.

Što se tiče mikroprocesora, da bi kontrolisao indukcionni motor algoritmom vektorske kontrole, a takodje da bi obezbedio pouzdanost u pogonu dva točka nezavisno, koristi se metod tri mikroprocesora. Slika 3 pokazuje FEV pogonski sistem blok dijagram. Kontrola vozilom je izvedena glavnim procesorom koji daje signale procesoru D i L sinhronizovano po komandi gasa, kočnice, brzinskog senzora i nekoliko prekidača. Tri procesora nadgledaju jedan drugog koristeći signale signalnog uređaja i to da li neki od njih nije prisutan. Kada bi jedan od njih nedostajao, procesorska kontrola motora bi bila u prekidu odmah i druge dve procesorske funkcije bi kočile ili rotirale kao motor u usporenju.

## KONCEPT DIZAJNA POGONSKOG SISTEMA

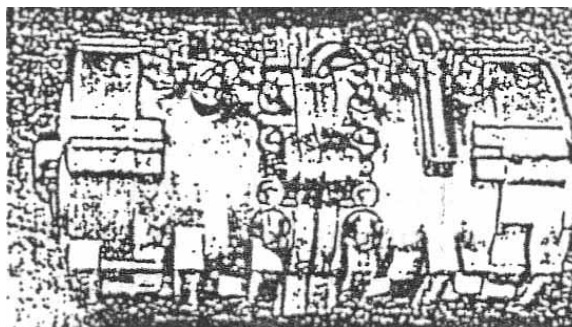
Osobine visokoiskoristljivog motora su sledeće. Laminirana tanka silikonska jezgra su upotrebljena za stator i rotor da smanje gubitke u gvoždju, a bakarne šipke su iskorišćene za kavezni rotor zarad smanjenja gubitaka u bakru, i dodatna klasa C izolacije je usvojena za statorski namotaj. Takodje je zarad smanjenja težine u proizvodnji kućišta statora i drugih delova korišćen čist aluminium. Kao ulje za hladjenje je usvojen hidraulični fluid sa niskom viskoznošću čak i pri niskim temperaturama. Uljno hladjenje tušem je takvo da je statorski namotaj direktno tuširani i hladjeni od strane ulja koje teče od nekoliko malih rupica postavljenih van namotaja i takodje smanjuje gubitke od strane frikcije izmedju brzinskog rotora i ulja. Enkoder je postavljen na suprotnu stranu od pogonskog dela da informiše obrzini i smeru kretanja.

Uljni sistem za hladjenje je forsirana uljna cirkulacija sa rashladjivačem ulja. Specijalna logika upotrebe ovog sistema je iskorišćena zarad smanjenja potrošnje energije. Takvom logikom je programiran procesor, pa ako je temperatura motor iznad dozvoljene ulje se pokreće zarad cirkulacije i hladjenja motora.

Kako uljni rashladjivač traži ekstra prostor podrazumeva se da treba da je dovolno kompaktan sa motorom tako da se može postaviti iznad njega. Dizajnirajući optimalni električnu i magnetnu opremu motora koji se sastoji od navedenih delova motor je dimenzija , prečnika 244mm i dužine 212mm svezajedno sa prenosnicima. Masa motora je 39kg pojedinačno. Specifikacije motora su date na tabeli 2. Pogonska mašina je prikazana na slici 4 i izvedena je u bek tu bek izvedbi.

No.	Predmet	Specifikacija
1.	Tip	Indukcionni motor
2.	Nominalna snaga	10kW
3.	Maksimalna snaga	20kW
4.	Maksimalni br obrtaja u min.	15000
5.	Masa	39kg
6.	Veličina	Prečnik 244mm , Dužina 212mm

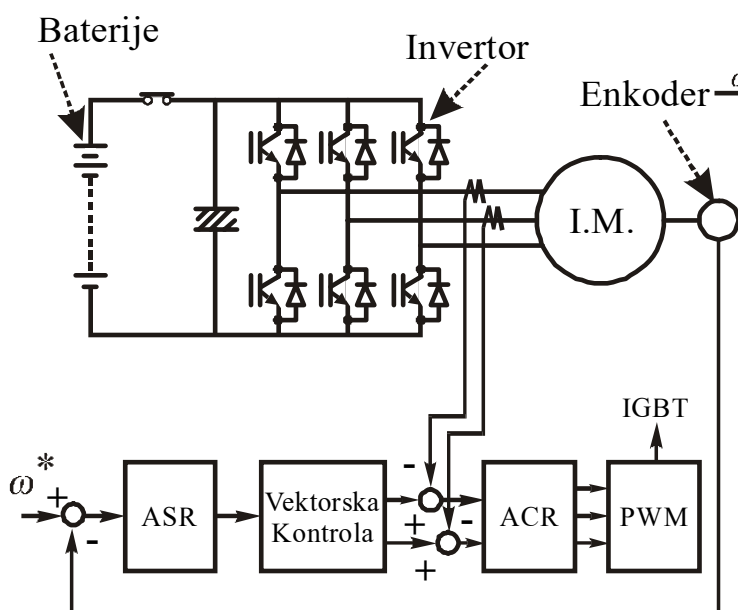
Tabela 2. *Spesifikacije morora*



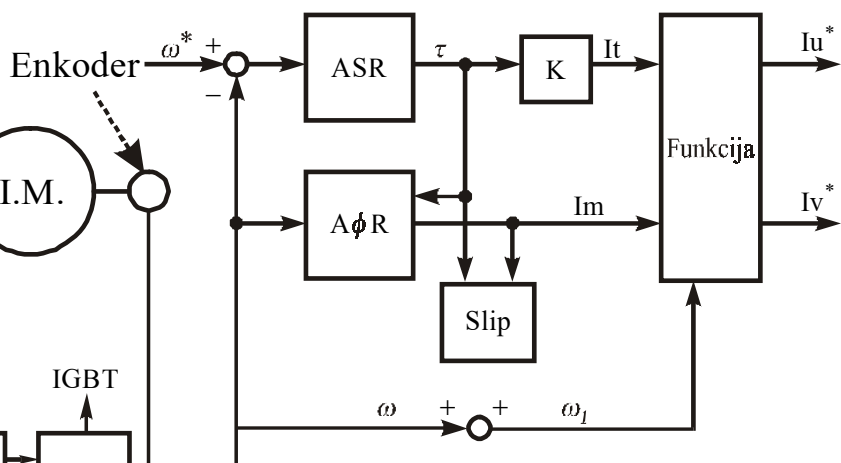
Slika 4. Spoljni izgled pogonske jedinice

## DIZAJN UPRAVLJAČKE JEDINICE

IGBT bazirano invertorsko kolo je prikazano na slici 5.



Slika 5. IGBT dijagram invertora

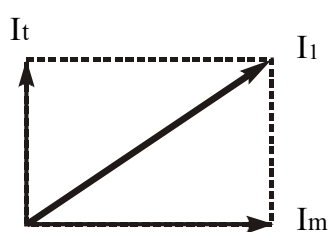


$\omega^*$ : Komanda brzine  
 $\omega$ : Brzina motora  
 $\omega_1$ : Sinhrona brzina  
 $A\phi R$ : Logika za pobudjivanje polja

Slika 6. Blok dijagram vektorske kontrole

Njegov dizajn je baziran na novim tehničkim dostignućima. Jedan je visokobrzinski IGBT upravljač, a drugi je visoko efikasni upravljač sa vektorskom kontrolom. Fundamentalna kontrola je automatski regulator brzine (ASR) kontroler koji koristi enkoderski senzor i da bi postigao iskoristljivost, automatski regulator struje (ACR) i impulsni širinski modulator (PWM) kao metod je usvojen zarad održanja malog faktora distorzije i to oko 15%. Blok dijagram vektorske kontrole je prikazan na slici 6. Koncept visokoiskoristljivog indukcionog motora je da minimizuje struju motora računajući struju momenta i struju polja koje su vektorske komponente struje motora. Vektor struje je tako podešen da su momentna struja i struja polja pod uglom od 90 stepeni kao na slici 7. Strujne komande kao što su  $I_u$  i  $I_v$  na slici 6 su proračunate sinusoidne komande od f-ja  $I_m, I_t$  i frekvencije. Frekvencija je proračunata dodavanjem frekvencije klizanja na frekvenciju obrtanja motora. Struja polja ( $I_m$ ) je održana računanjem logike slabljenja polja momenta i brzine. Struja momenta ( $I_t$ ) je takodje računata od momenta kroz ASR.

Struja motora formirana na prekidačkoj učestanosti 10kHz na radnih 386Hz je prikazana na slici 8. Vidi se da je motorska struja vrlo bliska sinusoidalnoj struji komandnoj i distorzijom faktoru od 10% na slici 8. To govori o željenoj vrednosti i postignutoj sa redukcijama.



$$I_1 = \sqrt{(I_t^2 + I_m^2)}$$

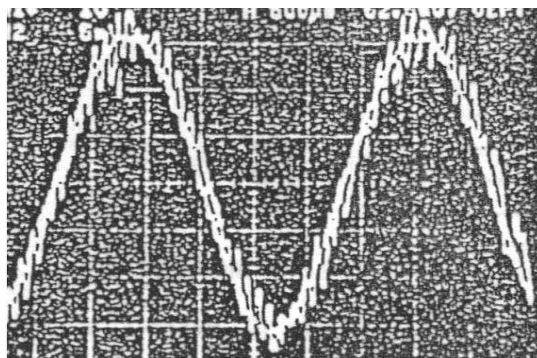
Gde je:

$I_1$ : Struja motora

$I_t$ : Struja momenta

$I_m$ : Struja polja

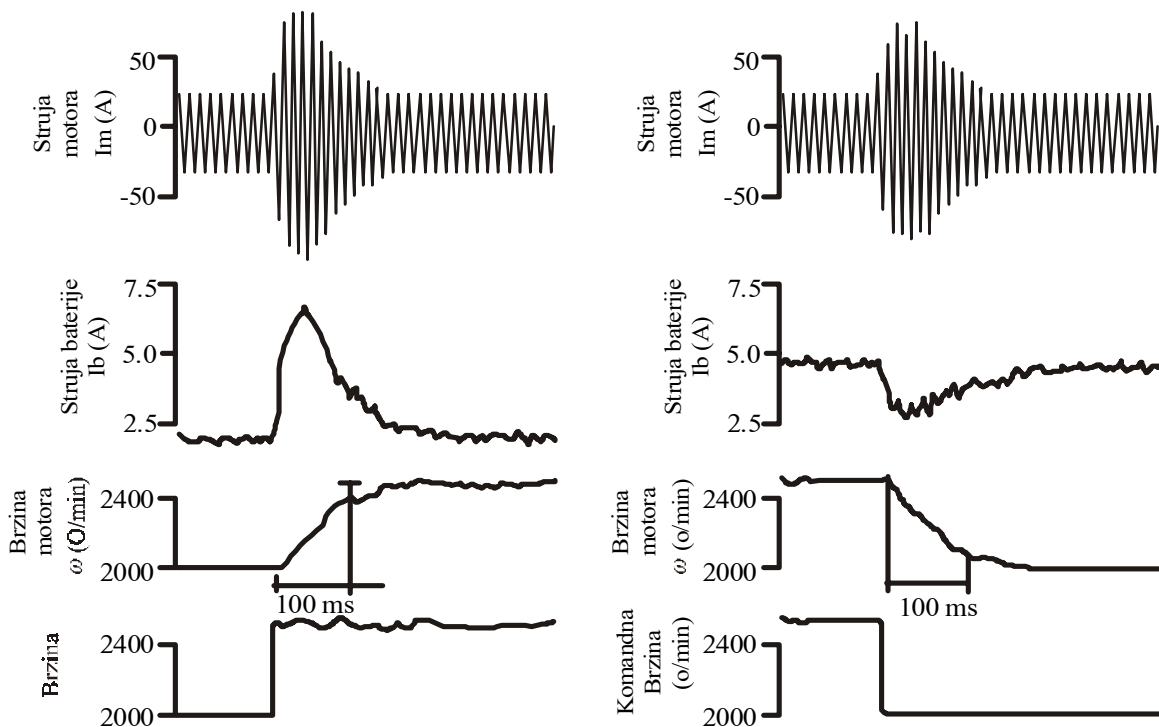
Slika 7. Vektorski dijagram



$f=368\text{Hz}, I=25\text{A/pod}, n=11350\text{ob/min}$

Slika 8. Talasni oblik struje

Drugi talasni oblici invertora su prikazani na slici 9. Odzivna funkcija gasa je brzine odziva od 100ms. Kočiona struja je kontrolisana tako da vraća energiju baterije.



(a) 2000 o/min → 2500 o/min

(b) 2500 o/min → 2000 o/min

Slika 9. Odziv upravljanju brzine

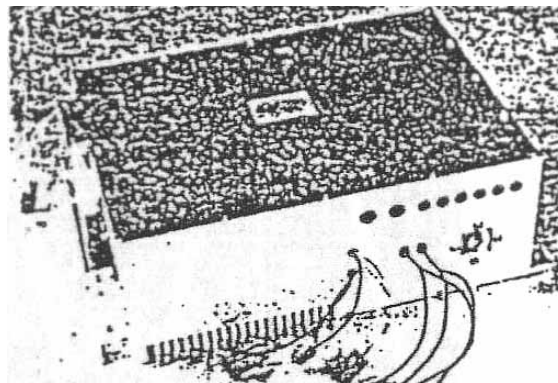
Da bi se smanjili gubici pri komutaciji , novi tip IGBT je izabran.Specifikacije IGBT su prikazane u tabeli 3.Specifikacije invertora suprikazane u tabeli 4.Slika 10 prikazuje spoljašnji izgled upravljača.

Predmet	Oznaka	Specifikacija
Kolektorsko emitterski napon	V <sub>ceo</sub>	600V
Gejt emitterski napon	V <sub>geo</sub>	20V
Kolektorska struja	I <sub>c</sub>	300A
Kolektorsko emitterski napon zasićenja(pri 300A)	V <sub>cesat</sub>	2,7V
Vreme uključenja	t <sub>r</sub>	0,4ns
Vreme isključenja	toff	0,7ns

Tabela 3. *Specifikacije IGBT*

Predmet	Specifikacija
Nominalni napon baterije	267V
Maksimalna izlazna snaga	30kVA x2
Maksimalna struja motora	140A
Napon motora	160
Noseća učestanost	10kHz
Maksimalna učest. motroa	500Hz
Zapremina	50l
Masa	43kg
Hladjenje	Forsirano

Tabela 4. *Specifikacije invertora*



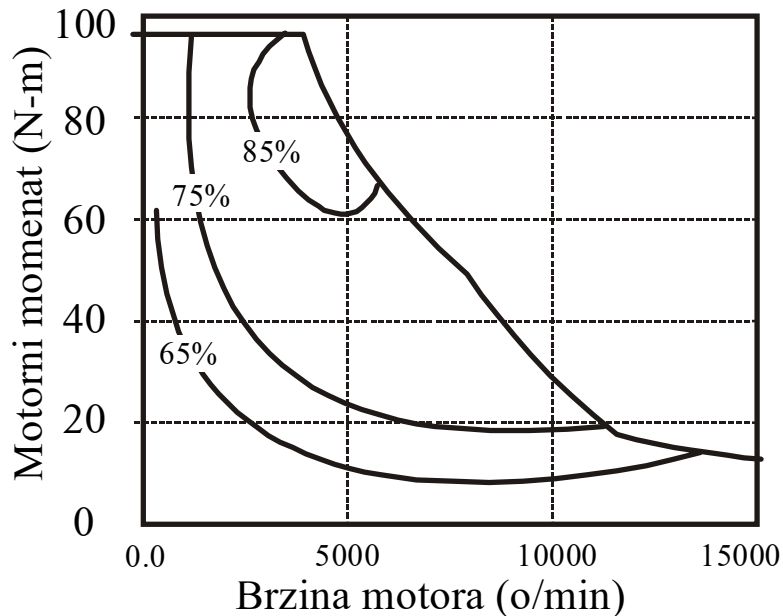
Slika 10. *Spoljni izgled upravljača*

## PROCENA SISTEMA

Slika 11 prikazuje merenu iskorišćenost sistema uključujući i motor sa prenosnikom i invertorom.Rezultati testa su prikazani u tabeli 5.

Predmet	Rezultati(dva motora)
Maksimalni moment	95,5 Nm
Maksimalna brzina	15000 o/min
Maksimalna učestanost	500 Hz
Maksimalno iskorišćenje	85 %

Tabela 4. Rezultati testa



Slika 11. Iskoristljivost sistema

## ZAKLJUČAK

Novi indukcioni pogonski sistem je razvijen. Sistem ima sledeće osobine:

1. Brzinski 20kW indukcion motor hladjen uljem male težine i kompaktnih dimenzija. Mase od samo 39 kg i dimenzija dijametra 244mm i dužine 212mm.
2. 30 kVA IGBT invertoru je omogućeno da daje 500Hz-ni PWM izlazni napon sa nosećom učestanošću od 10 kHz , koja je takva zarad sinusoidne struje i smanjene buke motora.
3. Maksimalno iskorišćenje sistema je otprilike 85%.

## LITERATURA

- (1) Masako Fukino, Namio Irie, Hideo Ito , *Nissan Motor Co., Ltd.*  
“Razvoj koncepta električnog vozila sa superbrzim ponjenjem” SAE 1992.