

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/170



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-2358
Naslov projekta	Več-fazni dvosmerni DC - DC pretvorniški sistem za hibridna in električna vozila
Vodja projekta	3869 Miro Milanovič
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	5310
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1792 TECES, Tehnološki center za električne stroje
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	248 ISKRA AVTOELEKTRIKA d.d. 796 Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.12 Električne naprave 2.12.02 Pretvorniki močnostne elektronike
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.02
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Glavni projektni cilj je razvoj inovativnega, cenovno ugodnega in visoko-integriranega pretvorniškega sistema primerne za masovno proizvodnjo v hibridnih vozilih. Pretvorniški sistemi so na področju hibridnih in električnih vozil sestavljeni iz dvosmernih DC-DC in DC-AC

pretvornikov. Dvosmerni DC-AC pretvorniki napajajo motor/generator, ki je običajno preko toge vezi povezan z motorjem z notranjim zgorevanjem. Takšna naveza omogoča dvosmerni pretok energije med vozilom in napajalnim električnim krogom, ki je običajno predstavljen kot kondenzatorska banka na vhodu DC-AC pretvornika.

S stališča upravljanja teh procesov je ta izmenjava energij med vhodnim izvorom (kondenzatorska baterija) in izhodom (motor/generator) že zadovoljivo rešena. Na žalost je shranjevanje energije v vhodnih kondenzatorjih povezano z enormnim spreminjanjem napetosti, posebej v primeru zaviranja vozila, ko napetost narašča in hitro preseže mejne parametre polprevodniških stikal. Nadzor napetosti in stabilnost le-te je ena od najbolj pomembnih zahtev pri hibridnih motornih vozilih, zato je potrebno viške energije shranjevati v električne akumulatorje. Kar se izvede s pomočjo dvosmernega DC-DC pretvornika in z ustrežno baterijo (NiMH, Lt- ION, Li-polimer itn).

To izmenjavo izvedemo z DC-DC pretvornikom, ki je izveden s MOS-FET-i (za manjše moči do 200W), ali IGBT-ji (za večje moči med 10kW in 100 kW). Magnetne komponente povzročijo povečanje gabaritov pretvornikov zaradi tega se poslužujemo uporabe več-faznih struktur, ki sicer povečajo število vgrajenih elementov vendar v celoti zmanjšajo potrebne volumne. Dosedanje študije izbire pravega števila faz so bile zasnovane na zahtevah o potrebni valovitosti toka in izhodne napetosti.

Pri izvedbi regulacije DC-DC pretvorbe se zaradi visokih dinamičnih zahtev uporablja kaskadna regulacija v napetosti in toku. Tokovna regulacija nadomesti klasičen pulzno širinski modulator (PSM), ki se na žalost izvaja na analogen način. Zaradi tehnoloških zahtev se je v avtomobilski industriji pojavila želja po digitalizaciji teh algoritmov. Razvito je bilo nekaj prediktivnih algoritmov, kjer se je prevajalno razmerje (dolžina trajanja prožilnega pulza) izračunalo s pomočjo izmerjenih dveh vrednosti toka v času prevajanja tranzistorja. Ta metoda je podvržena mnogim problemom, kot so to nezmožnost reagiranja algoritma pri potrebnih zelo ozkih prožilnih pulzih, problemi šuma, ki lahko popačijo meritev. V predlaganem projektu želimo te probleme razrešiti s posebnim načinom merjenja napetosti in toka, ki bi omogočal popolno digitalizacijo tokovne in napetostne zanke z uporabo napetostno-frekvenčnih pretvornikov. Predlagana metoda posnema analogne algoritme z vsemi posledicami (mogoče je uporabljati kompenzacijsko »rampo« za stabilizacijo tokovne zanke). Reakcijski čas proženja tranzistorjev v takšni strukturi (v notranji tokovni zanki) je še vedno znotraj merilne periode. Tako zastavljene algoritme želimo testirati na DC-DC pretvornikih večjih moči.

ANG

Main objective of the project is research on innovative and cost competitive highly integrated power converter systems for mass produced hybrid vehicle. The converter systems have been used in the hybrid automotive industry for many years. Usually such converter system consists of bidirectional DC-DC and DC-AC converters. Bi-directional AC-DC converters supply electrical motor/generator rigidly connected at the same shaft with internal combustion engine. Such system enables bidirectional energy flow from motor/generator and capacitor battery. During the brake vehicle operation the kinetic energy is stored in DC capacitor and afterwards can be used for starting the vehicle.

In order to control above description process many works were done on the bidirectional DC-AC converters. Unfortunately the energy storage processes cause enormous rising of the DC capacitor voltages especially during the braking phase. Due to this energy must be transferred to the devices capable to store such energies as are batteries (NiMH, Li-ION, Li-IONpolymer). Connection between the batteries and DC capacitor can be performed by using of bi-directional DC-DC converter.

The structures of the bidirectional DC-DC converters are well known. The bi-directional DC-DC converter consists of the choke (inductor) and semiconductor devices as are the MOS-FETs for low power (until 200W) or IGBTs for high power application (5kW-100kW). The inductor and semiconductors represent the big part of the converter volume and consequently has high influence to the converter size. Due to this the multi-phase structured DC-DC converters have been introduced in such systems. The number of "power" elements increased but the size of converter is decreased. Until now the number of phases were defined according to the other converters properties as are the current and voltage ripples.

The high dynamic performances are needed for controlling the energy flow in both directions of the DC-DC converter. Current mode control (analog algorithm) is well known and it's replaced the

classical pulse width modulator (PWM). Unfortunately, the digitalization of current mode control is no so easy task. There exist a few algorithms based on measurement of the two (or more) samples of the current and afterwards the duty cycle is calculated as predicted value. This method is to subject of different drawbacks as are contamination of the measurement signals by switching noise, very narrow triggering pulses.

In this project, a new digital technique for current control of DC-DC switching power converters operating indistinctly in CCM or DCM will be proposed. The method is based on the inductor current mean value measurements which will somehow follow the inductor current instantaneous value by using the voltage to frequency conversion (VCOs) and counters. The switch-on and switch-off operation will appear at the same switching period. Such organized algorithms will be tested on the DC-DC converter of higher power.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Osnovno znanstveno izhodišče predstavlja digitalizacija regulacijskih algoritmov na večfaznem dvosmernem DC-DC pretvorniškem sistemu večjih moči (do 50 kW) za hibridna in električna vozila. Večfazne strukture pretvornikov so sicer znane iz pretvorniške tehnike nižjih moči (do 200 W), na področju višjih moči (od 10 kW do 100 kW) pa se takšne aplikacije še raziskujejo vendar zadovoljivih rešitev še ni.

Sistem, ki vsebuje digitalne komponente za izvedbo regulacije ponuja pomembne prednosti v primerjavi z analogno reguliranimi sistemi. Trenutno se je razvoj na področju DC-DC pretvornikov usmeril v digitalne strukture, ki bi omogočale zamenjavo znanih analognih pristopov z digitalnimi regulacijskimi sistemi.

V praksi digitalni sistemi imajo manjšo (ali primerljivo) porabo električne energije zahvaljujoč razvoju CMOS tehnologije. Kakorkoli, število uporabljenih komponent se z digitalizacijo drastično zmanjša in posledično razni zunanji neželeni učinki, kot so to: sprememba temperature okolice, beli šum, toleranca uporabljenih komponent ali spremembe v tehnologiji izdelave so enormno zmanjšani in ne vplivajo na obnašanje sistema. Ta stranska lastnost digitalnega sistema pa povzroči tudi večjo varnost delovanja DC-DC pretvornika, saj se zaradi manjšega števila uporabljenih komponent izboljša tudi srednji čas med izpadi (MTBF).

V digitalno reguliranih sistemih se stopnja integracije konstantno povečuje in omogoča načrtovalcem teh sistemov uporabo regulacijskih algoritmov, ki niso tako konservativni (kot je to PI ali PID algoritem). Možnost uporabe naprednejših »nelinearnih« regulacijskih tehnik je tako z digitalizacijo omogočena.

Kakorkoli, v digitalnih sistemih še vedno imamo nekaj tehnoloških omejitev, ki nam otežujejo uporabo le-teh pristopov v napravah. Velike ovire še vedno predstavljajo:

- spreminjanje temperature okolice, ki običajno povzroča neprimerne spremembe v posameznih enotah digitalnih sistemov kot so to npr. oscilatorji (clock system),
- spreminjanje referenčne vrednosti napetosti v analogno-digitalnih pretvornikih itn.

Kot ena od večjih ovir za uporabo digitalnih algoritmov zaznavamo tudi probleme delovanja teh sistemov z visokimi frekvencami, pri čemer so analogni sistemi še vedno nenadomestljivi. V glavnem se to dogaja zaradi časovnih omejitev digitalnih procesorjev, ki se uporabljajo pri digitalizaciji regulacijskih sistemov. Ti problemi se manifestirajo na omejeni pasovni širini digitalnih sistemov. Takšne zagate se trenutno rešujejo z uvajanjem več-faznih sistemov, kar je v digitalni tehniki lažje rešljivo kot v analogni. Digitalno reguliran sistem omogoča natančno sinhronizacijo več paralelno povezanih struktur DC-DC pretvornikov. Ta pristop je zelo uporaben pri večjem številu uporabljenih »faz«.

Digitalizacija omogoča načrtovalcem naprav krajši čas razvoja produkta in s tem hitrejši dostop do tržišča. To je zelo pomembno v primerih, ko se okoljski pogoji pogosto spreminjajo. V teh primerih ni potrebno razvijati novo strojno opremo, kar posredno vpliva na zmanjšanje gabaritov in cene izdelka. Kot primer lahko navedemo izločitev tradicionalnih pasivnih komponent za umerjanje regulacijskih sklopov kot je to znano pri analogni tehniki. Pri digitalnih sklopih se samo zamenja programska koda regulatorja z novo strukturo ali novimi parametri za prilagoditev novim razmeram v pretvorniških strukturah. Reprogramabilnost v digitalnih sistemih je zelo praktična v mnogih industrijskih aplikacijah. Vseeno digitalizacija pa v sisteme vnaša nekatere nevšečnosti.

Ena od večjih pomanjkljivosti je natančnost, ki je povezana z resolucijo digitalnega sistema.

Dejstvo je, da je digitalna resolucija podana z resolucijo vhodnih A/D pretvorbo kakor tudi z digitalnim pulzno širinskim modulatorjem (DPŠM) na izhodu digitalne strukture. V primerih ko

želimo doseči visoke natančnosti je visoka digitalna resolucija (na vhodu in izhodu) nujno potrebna kar nas pripelje do velikih, kompleksnih in zelo dragih struktur. Dodatno, delo v digitalnem sistemu z visoko resolucijo povzroči dvig taktne frekvence (clock frequency) za DPŠM in frekvenco tipanja A/D pretvornika. Posledica teh zahtev pa je povečana lokalna poraba energije in višje cene komponent takšnih enot.

Zato je cilj, ki ga želimo zasledovati skozi predlagan projekt zamenjati klasično analogno shemo regulacije več-faznega dvosmernega pretvornika z digitalnim sistemom, ki bo zasnovan na meritvi srednjih vrednosti toka in napetosti pri tem pa bo A/D pretvornik zamenjan z napetostno frekvenčnim pretvornikom (u/f pretvornik), ki bo omogočal digitalno izvedbo tokovne regulacije, kar bo zamenjalo klasičen PŠM algoritem.

Predlagana metoda bo omogočala delovanje digitalnih algoritmov znotraj iste stikalne periode v kateri bo izvedena meritev, tako kot se to izvaja z analognimi algoritmi. Istočasno pa se bomo izognili klasični uporabi A/D pretvornikov, ki se uporabljajo v prediktivnih algoritmih in se s tem izognemo vsem možnim napakam ocenitve trajanja prožilnega pulza, ki nam jih A/D pretvornik s svojim načinom dela lahko vnese v merjene veličine.

Znanstvena metodologija

Glede na podana izhodišča so dogajanja v večfaznem DC-DC pretvorniku opisali analitično. Na ta način smo s pomočjo znanih fizikalnih zakonitosti dobili modele procesov, kjer so se videle vse statične in dinamične povezave kakor tudi potrebe po diskretizaciji zaradi uvajanja digitalizacije. S pomočjo matematičnih formalizmov smo predlagali regulacijske algoritme in ustrezne modulacijske algoritme. Posebej smo se posvetili zmanjšanju gabaritov naprav z študijo shranjevanje energije v dušilkah. V študiji izvedljivosti 100 kW-tnega DC-DC pretvornika smo si ogledali tudi možnost vpeljave sklopljenih induktivnih krogov (dušilka z dvema navitjema na enem jedru).

Posebej moramo kot novost na znanstvenem področju omeniti modifikacijo metode povprečenja injiciranega in absorbiranega toka, ki bo prirejena za obravnavo notranje tokovne regulacijske zanke na osnovi merjene srednje vrednosti toka skozi polprevodniško stikalo. Pri tem bo tudi ohranjen znani princip pulzno širinske modulacije. Predlagano modeliranje DC-DC pretvornika in implementacija teh algoritmov v industrijskih aplikacijah bo omogočila digitalizacijo teh procesov, ki je za pretvornike večjih moči nujna.

Za vse predlagane algoritme smo zgradili ustrezne načrtovalske in simulacijske modele v programskem okolju MATLAB-SIMULINK. Tako zasnovani modeli so omogočali natančno študijo vseh mogočih režimih delovanja pretvornikov s ciljem, da skrajšamo čas in zmanjšamo stroške izdelave eksperimentalnih prototipov dvosmernih DC-DC pretvornikov. Verifikacija dela je bila izvedena na DC-DC pretvorniku (20 kW), kjer smo digitalizacijo izvedli znotraj FPGA vezja. Za implementacijo algoritmov znotraj FPGA struktur smo razvili strojno in programsko opremo, ki je omogočila razvoj digitalnih algoritmov. Programiranje FPGA je zaradi splošnosti bilo izvedeno v VHDL programski kodi.

(Priloga A)

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Bistvo pretvorniškega sistema za procesiranje moči je regulacija ene od spremenljivk, običajno je to izhodna napetost. Kot regulacijsko spremenljivko je mogoče izbrati tudi tok (običajno je to tok dušilke ali tokovi dušilk v večfaznem DC-DC pretvorniku). Regulacija smo izvedli s primerno uporabo povratne vezave, ki jo bila razdeljena v dve osnovne skupine in sicer napetostna in/ali tokovna regulacija. Pri uvedbi tokovne regulacije se uporablja meritev toka stikala ali toka dušilke, z namenom, da notranja tokovna regulacijska zanka nadomesti »klasično« pulzno širinsko modulacijo (PŠM). Tako zastavljena možnost nadzora pretoka moči (dobavljene energije) bremenu je zelo konkurenčna kaskadni regulaciji napetosti in toka z uporabo PŠM modulatorja. Zamenjava PŠM in klasične tokovne regulacije s »tokovnim modulatorjem« omogoča, za nadzor pretoka moči, uporabo velikega števila kombinacij med parametri kot so maksimalni tok dušilke, minimalni tok dušilke, časovna intervala vklopa in izklopa kot pod-intervalna stikalne periode. V projektu smo obravnavali treh osnovnih skupin "opravi" in sicer

1. Izvedba štiri-faznega DC-DC pretvorniška; v tem sklopu smo izdelali funkcionalni model štiri-faznega DC-DC pretvorniškega vezja z IGBT tranzistorji. Sistem je bil izdelan iz štirih pol-mostičnih sklopov, ki so bili povezani v večfazno strukturo. Pol-mostični močnostni moduli so omogočili dvosmerni prenos moči. V tem sklopu je bila tudi izdelana krmilna elektronika, kjer so bila izvedena vezja za obdelavo signalov, ter FPGA sklop, namesto mikroračunalniških komponent.
2. Tokovni modulator je bil izveden na inovativen način; osnova tokovnega modulatorja je bilo vezje za obdelavo merjenih signalov sestavljeno iz senzorja napetosti/toka, napetostno-frekvenčnega pretvornika in digitalnega števca, ki je opravljal nalogo integratorja. Na ta način smo v enoto za procesiranje (FPGA) vnesli želeno regulirano veličino. V našem primeru smo imeli 5 kanalov, en napetostni merilnik in 4 tokovne merilnike. Zaradi načina merjenja tokov smo morali generirati referenčne vrednosti tokov kot dinamične reference, kar predstavlja novost pri izvedbi tokovnega modulatorja-regulatorja.
3. Narejena je bila študija izvedljivosti 100kW-nega DC-Dc pretvorniška s sklopljenimi induktivnostmi.

V projektu smo izvedli vse zastavljene naloge v obliki delovnih paketov (work packages) in izvedli vse zastavljene naloge (tasks)

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Raziskovalci, ki so bili vključeni v aplikativni projekt so ostali ves čas enaki le v letu 2012 smo bili prisiljeni izvesti neke spremembe.

Janko Horvat raziskovalec TECES-a se je zaposlil pri novem delodajalcu (Magna Steier-Graz Austrija). Njegove ure smo prerasporedili na preostale člane TECES-a

Jože Seljak (IA), se je upokojil, Gorazd Modrijan (IA) in Sašo Marušič (IA) sta bila prerasporejena na druge delovne naloge. Njihove ure so bile prerasporejene na ostale člana skupine Iskre Avtoelektrike.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek														
1.	<table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>15236630</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td><i>SLO</i></td> <td>IDF korekcija pri trifaznem AC-DC pretvorniku zasnovana na PŠM algoritmu</td> </tr> <tr> <td><i>ANG</i></td> <td>IDF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td><i>SLO</i></td> <td>V prispevku je predstavljen modulacijski algoritem (PŠM) za trifazni AC-DC usmernik, kjer so tretji in peti napetostni harmoniki prisotni v vhodnih napetostih. Matematične analize, ki vključuje te harmonske komponente v funkcije prevajalnih razmerih omogoča delovanje pretvornika z korekcijo faktorja moči. PŠM algoritem je popolnoma zasnovan na teh teoretičnih izsledkih. Takšen pristop omogoča doseganje ustreznega faktorja moči brez uporabe tokovnih senzorjev kar je običajen pristop. PŠM algoritmi so bili raziskani teoretično in verificirani s simulacijo in eksperimentom.</td> </tr> <tr> <td><i>ANG</i></td> <td>This paper presents a pulsewidth modulation (PWM) algorithm for a three-phase ac-dc rectifier, where the third and fifth harmonics are indicated in the input phase voltages. A mathematical analysis, which includes this voltage harmonic's components, shows that the unity input displacement factor (IDF) can be reached by appropriate evaluation of duty-cycle functions. A PWM algorithm is proposed based on this developed theoretical achievement. This approach enables current sensorless unity IDF rectification. The PWM algorithm is investigated theoretically and verified by</td> </tr> </table>	COBISS ID	15236630	Vir: COBISS.SI	Naslov	<i>SLO</i>	IDF korekcija pri trifaznem AC-DC pretvorniku zasnovana na PŠM algoritmu	<i>ANG</i>	IDF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter	Opis	<i>SLO</i>	V prispevku je predstavljen modulacijski algoritem (PŠM) za trifazni AC-DC usmernik, kjer so tretji in peti napetostni harmoniki prisotni v vhodnih napetostih. Matematične analize, ki vključuje te harmonske komponente v funkcije prevajalnih razmerih omogoča delovanje pretvornika z korekcijo faktorja moči. PŠM algoritem je popolnoma zasnovan na teh teoretičnih izsledkih. Takšen pristop omogoča doseganje ustreznega faktorja moči brez uporabe tokovnih senzorjev kar je običajen pristop. PŠM algoritmi so bili raziskani teoretično in verificirani s simulacijo in eksperimentom.	<i>ANG</i>	This paper presents a pulsewidth modulation (PWM) algorithm for a three-phase ac-dc rectifier, where the third and fifth harmonics are indicated in the input phase voltages. A mathematical analysis, which includes this voltage harmonic's components, shows that the unity input displacement factor (IDF) can be reached by appropriate evaluation of duty-cycle functions. A PWM algorithm is proposed based on this developed theoretical achievement. This approach enables current sensorless unity IDF rectification. The PWM algorithm is investigated theoretically and verified by
COBISS ID	15236630	Vir: COBISS.SI												
Naslov	<i>SLO</i>	IDF korekcija pri trifaznem AC-DC pretvorniku zasnovana na PŠM algoritmu												
	<i>ANG</i>	IDF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter												
Opis	<i>SLO</i>	V prispevku je predstavljen modulacijski algoritem (PŠM) za trifazni AC-DC usmernik, kjer so tretji in peti napetostni harmoniki prisotni v vhodnih napetostih. Matematične analize, ki vključuje te harmonske komponente v funkcije prevajalnih razmerih omogoča delovanje pretvornika z korekcijo faktorja moči. PŠM algoritem je popolnoma zasnovan na teh teoretičnih izsledkih. Takšen pristop omogoča doseganje ustreznega faktorja moči brez uporabe tokovnih senzorjev kar je običajen pristop. PŠM algoritmi so bili raziskani teoretično in verificirani s simulacijo in eksperimentom.												
	<i>ANG</i>	This paper presents a pulsewidth modulation (PWM) algorithm for a three-phase ac-dc rectifier, where the third and fifth harmonics are indicated in the input phase voltages. A mathematical analysis, which includes this voltage harmonic's components, shows that the unity input displacement factor (IDF) can be reached by appropriate evaluation of duty-cycle functions. A PWM algorithm is proposed based on this developed theoretical achievement. This approach enables current sensorless unity IDF rectification. The PWM algorithm is investigated theoretically and verified by												

		simulations and experiment.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2011; Vol. 58, no. 8; str. 3308-3316; Impact Factor: 5.160; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.379; A'': 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Milanovič Miro, Šlibar Primož
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	15492886 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Modeliranje in načrtovanje regulacije tokovno vodenega pretvornika navzgor napajanega z gorivno celico
		<i>ANG</i> Modeling of current mode controlled boost converter supplied by fuel cell suitable for controller design purposes
	Opis	<i>SLO</i> V članku je predstavljena izpeljava linearnega modela DC / DC pretvornika s spremenljivimi parametri pri konstantni delovni frekvenci in z regulacijo temenske vrednosti toka ki ga napajamo z PEM gorivno celico. Dobljeni model ima enako strukturo, ne glede na delovanje pri zveznem oz nezveznem toku in je zato primeren za načrtovanje preprostih in zahtevnejših regulacijskih algoritmov pri regulaciji izhodne napetosti. Rezultati modeliranja so verificirani na 450 W-nom sistemu pretvornika navzgor napajanega z gorivno celico. Dobljeni eksperimentalni rezultati so potrdili tezo, da je natančen model pretvornika mogoče dobiti v izbrani delovni točki, ki je vedno določena z izhodno upornostjo bremena ali izhodnim tokom.
		<i>ANG</i> This paper presents the derivation of a linear model with changeable parameters of constant frequency peak current mode controlled DC/DC boost converter supplied by a PEM fuel cell stack. The derived model has the same structure irrespective of the conduction mode and therefore, it is suitable for design of simple and advanced controllers of the output voltage. Experimental results on the system with 450 W boost converter supplied by PEM fuel cell emulator show that the derived model accurately describes the system in a given operating point, determined by the load resistance or output current.
	Objavljeno v	Elsevier Sequoia.; Journal of power sources; 2012; Vol. 198; str. 203-217; Impact Factor: 4.951; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.505; A'': 1; A': 1; WoS: HQ, ID; Avtorji / Authors: Bjažić Toni, Ban Željko, Milanovič Miro
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	14924310 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Diskretno-dogodkovno upravljanje pretvornika navzdol izvedeno z FPGA vezjem
		<i>ANG</i> Discrete-event switching control for buck converter based on the FPGA
	Opis	<i>SLO</i> V prispevku je predstavljena diskretno-dogodkovno krmiljenje DC-DC pretvornikov, ki ga lahko uvrstimo v hibridne sisteme vodenja. Z ozirom na energijske lastnosti pretvornikov je za vodenje uporabljena Ljapunova funkcija. Sistematično izvedena Ljapunova funkcija iz modela, pretvornika vedno omogoča stabilno delovanje pretvornika, kar je bilo vključeno v algoritem vodenja, ki je zagotavljal asimptotično stabilnost. Algoritmi so bili verificirani z FPGA vezjem, ki so mu bili prigrajeni potrebni A/D pretvorniki. Eksperimentalni rezultati so potrdili učinkovitost predlaganega pristopa.
		<i>ANG</i> This paper presents a discrete-event switching control of DC-DC converters which belong to a particular class of hybrid systems. Taking advantage of the energetical properties of these converters, Lyapunov function is proposed. This function, which is systematically deduced from the physical model, allows the creation of various stabilizing switching sequences. From

		a theoretical point of view, asymptotic stability can be obtained. The digital control is implemented by FPGA system, with additional A/D peripherals. Experimental results for digitally controlled synchronous buck converter show the effectiveness of the proposed approach.
	Objavljeno v	Pergamon; Control engineering practice; 2011; Vol. 19, iss. 5; str. 502-512; Impact Factor: 1.481; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.204; WoS: AC, IQ; Avtorji / Authors: Truntič Mitja, Milanovič Miro, Jezernik Karel
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	13440534 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Visoko precizna regulacija gibanja servo pogona
		<i>ANG</i> High precision motion control of servo drives
	Opis	<i>SLO</i> V tem članku smo raziskovali prednosti in izvedljivost regulacije motorja s pretvornikom, ki lahko deluje z zelo visoko stikalno frekvenco. Istočasno predlagamo tudi integralno arhitekturo regulatorja-gibanja, ki temelji na diskretno-dogodkovnem pristopu, ki se izvaja v digitalni logiki zasnovani na digitalnem vezju. Stikalni krmilni algoritem združuje tokovno in položajno povratno vezo v eno regulacijsko zanko. Modelno zasnovan opazovalnik je uporabljen za ocenitev obremenilnega navora. V primerjavi z regulatorji drugega reda, ki se izvajajo s tradicionalnimi ojačevalniki, predlagani model izboljšuje izkoristek in boljše ocenjevanje obremenitve. Enostavno izvedba omogoča stikalnega regulatorja zelo privlačnim v sistemih za nadzor položaja pr DC ali AC servopogonih. Predlagani algoritem je mogoče izvajati z FPGA vezji.
		<i>ANG</i> In this paper, we investigate the advantages and feasibility of motor control using very fast (in megahertz) switching in place of traditional amplifiers. We also propose integrated motioncontrol architecture based on discrete-event control approach to be implemented in digital logic at an equally high rate. A switching controller combines the current and motion feedback paths into a single loop. A model-based observer estimates the load torque. When compared to second-order controllers implemented with traditional amplifiers, the proposed design promises increased performance, better efficiency, and improved load estimation. Simple implementation makes concepts of switching control very attractive in motion-control systems like control of dc or ac servomotors. The control algorithm designed by the proposed approach can be easily implemented on field programmable gate array platforms.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2009; Vol. 56, no. 10; str. 3810-3816; Impact Factor: 4.678; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.249; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Jezernik Karel, Rodič Miran
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	15478550 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> PŠM algoritem, ki omogoča korekcijo IDF pri trifaznih AC-DC buck pretvornikih
		<i>ANG</i> PWM algorithms for IDF correction of the three-phase AC-DC buck-converters

Opis	SLO	V tem članku so predstavljene modulacijske strategije za matrično organizirana AC- AC in AC-DC pretvornike. Načeloma se s podanimi trifaznimi faznimi napetostmi lahko na izhodnih priključkih lahko sintetizirajo trifazne napetosti z ustreznim preklapljanjem stikal. Delovanje z IDF=1 lahko dosežemo brez meritve vhodnih tokov ob uporabi ustrezne modulacijske strategije. Najbolj splošni direktni matrični AC-AC pretvornik z modifikacijo uporabimo tudi za AC-DC pretvorbo. Pri tem je mogoče tudi dokazati, da je tudi pri tej pretvorbi IDF doseči samo z ustrezno modulacijsko strategijo. Takšen modulacijski algoritem lahko izpeljemo ob predpostavki, da imamo na vhodu pretvornika sinusno napajalno omrežje. Kot je znano zaradi elektronskih bremen naše napajalno omrežje nima sinusnih napetosti. Popačenje vhodnih napetosti je mogoče vključiti v prevajalno funkcijo, ki generira PŠM signale. V PŠM algoritmu je dodan tretja in peta harmonska komponenta.. Matematična analiza je pokazala, da se mogoče doseči IDF=1 z ustrezno obdelavo prevajalnih funkcij. Vse PŠM algoritme smo raziskali teoretično in verificirali s simulacijami in eksperimentom.	
	ANG	The modulation strategies for a matrix structured direct ac to ac and ac to dc converter is presented in this paper. In principle, for a given set of input three phase voltages, any desired set of output voltages can be synthesized by suitable toggling matrix switches. The unity IDF operation without input currents sensing is achieved only by the appropriate modulation strategies. The most general ac to ac conversion function has been modified for using in ac to dc converter. In the case of ac to dc conversion is also possible to prove that IDF correction does not required the current measurement but it is realized only by using appropriate modulation strategy. This modulation approach is based on the presumption that the input voltages in the three-phase grid system are sinusoidal. As are well known the grid supply voltages do not have such nice properties, there are the pollutions in higher voltage harmonics. So due to this at the third step the harmonic pollution should be considered in PWM algorithm. Further this paper presents a PWM algorithm for a three phase ac-dc converter, where the third and fifth harmonics are introduced in the input phase voltages. Mathematical analysis shows that the unity IDF can be reached also by appropriate evaluation of the duty-cycle functions. A PWM algorithm is proposed based on this developed theoretical achievement. All PWM algorithms were investigated theoretically and verified by simulations and experiment	
Šifra	B.04 Vabljen predavanje		
Objavljeno v	Slovak Electrotechnical Society; Branch at the Faculty of Electrical Engineering and Informatics; Technical University of Košice, Slovak Republic; EDPE 2011; 2011; 12 str.; Avtorji / Authors: Milanovič Miro		
Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)		
2.	COBISS ID	16117014	Vir: COBISS.SI
Opis	SLO	Pulzno širinske modulacije eno in trifaznih razsmernikov- analitični pristop	
	ANG	Pulse width modulation for single - and three-phase inverters - analytical approach	
Opis	SLO	Barcelona (20 hours - Programa de doctorat en enginyeria electronica UPC-UIB, Cursos i seminaris de formacio doctoral - CURS 2011-2012), 18-27 June, 2012. Barcelona, 2012. Za doktorske študente na UPC je dr. Miro Milanovič izvedel 20 urni kurs Pulzno širinskih modulacij, za enofazne in trifazne razsmernike. Kurs je bil zasnovan na analitičnem pristopu. Obravnavani so bili tudi modulacijske tehnike, ki omogočajo uporabo razsmernikov pri omrežno napajanih pretvornikih s korekcijo faktorja moči. Za vse te tehnike je bila uporabljena tehnika poznana iz teorije stikalnih	
	ANG		

		matričnih pretvornikov.
	ANG	Barcelona (20 hours - Programa de doctorat enenginyeria electronica UPC-UIB, Cursos i seminaris de formacio doctoral - CURS 2011-2012), 18-27 June, 2012. Barcelona, 2012. The pulse width modulation techniques for single and three-phase inverters are performed on UPC as doctoral course. The lectures were based on the analytical approach. Also the switching matrix theory was used for describing the modulation principle appropriate for grid connected converters with power factor correction.
Šifra	B.05	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
Objavljeno v	2012; Avtorji / Authors: Milanovič Miro	
Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

V letu 2010 so člani našega raziskovalnega tima bili udeleženi tudi v aktivnostih pri projektih HiCEPS in HySYS. Oba projekta sta bila zaključena, projekt HySYS je zaključen v letu 2010. Ob zaključku projekta je bil izdelan diseminacijski film, kjer je predstavljeno delovanje električnega vozila na vodikov pogon. Film si je mogoče ogledati na <http://www.hysys.org/film-documentation.htm>. Pri tem projektu smo sodelovali pri izvedbi regulacije motorja. Projekt HiCEPS je bil zaključen v letu 2011. Naš prispevek so bili algoritmi za vodenje multifaznega DC-DC pretvornika z digitalizacijo tokovne zanke s predikcijo izračuna prevajalnega razmerja tranzistorjev iz meritev trenutnih vrednosti vejnih tokov dušilk. Naši algoritmi so bili vgrajeni v DC-DC pretvornik v validacijskem vozilu, kar je bilo prikazano na zaključnem srečanju v Firencah

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

UM-FERI je vključila dejavnosti, ki se izvajajo na tem projektu tudi v pedagoški proces. Študenti so izvajali diplomske naloge, ki so bili spodbujene z aktivnostmi iz te tematike. Na samem FERI smo razpisali in zaključili z diplomsko nalogo »Enostopenjski DC-AC pretvornik za solarne sisteme«, kjer se je uporabila struktura, dvosmernega dvo-faznega DC-DC pretvornika (boost pretvornika), kjer je nastal pretvorniški sistem, ki omogoča priključitev foto-napetostnega sistema na omrežje. V nadaljevanju te teme smo v letu 2010-2011 razpisali diplomsko nalogo, kjer je bil rešen priključek pretvornika na omrežje. Glede znanstveno-raziskovalnih prispevkov pa lahko rečemo, da smo razvijali znanja in metode, ki so bile usmerjene za razvoj novih izdelkov. Posebni poudarek je bil na dimenzioniranju močnostnih komponent večfaznih DC-DC pretvornikom z optimizacijskim kriterijem doseganja minimalnega mogočega volumne z maksimalnim možnim prenosom energije skozi pretvornik. V ta namen razvijamo tudi tri-dimenzionalne modele uporabljenih komponent tudi za potrebe termičnih analiz. V letu 2011 se prijavili na razpis za mlade raziskovalce in smo pridobili štipendijo za enega kandidata. Naš kandidat je za šolsko leto 2013-14 pridobil Fulbright-ovo štipendijo in je trenutno na izpopolnjevanju na Virginiatech-u v ZDA.

ANG

UM-FERI has included the activities undertaken in this project in the educational process. Students have carried out the thesis that they were encouraged by the activities of this issue. The diploma work titled "Single-stage DC-AC converter solar systems, « was finished and concluded. Following this theme we have in 2010-2011 imply a new diploma proposal, which will be considered the converter connection with a grid. According to the scientific and research contributions performed here, we can say that we develop knowledge and methods that have been directed to develop new products. Special emphasis was given to dimensioning power components of multiphase DC-DC converter to achieve the minimum possible volume of the maximum possible energy transfer through the converter. This year, we signed up to the call

for young researchers and doctoral scholarship was obtained for one candidate. Currently this young researcher applies also for Fulbright scholarship in year 2013-14, and he was granted. He is already a visiting scholar in Virginiatech USA.

10.2.Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Prijavitelj in partner projekta TECES, Tehnološki center za električne stroje (<http://www.teces.si>) združuje svetovno uveljavljena slovenska podjetja in izobraževalno-raziskovalne institucije na področju električnih pogonov z namenom akumulacije in prenosa specifičnih znanj in RR infrastrukture (med ustanovitelje TECES spadata tudi UM FERI in Iskra Avtoelektrika). Obstoječe rešitve in pridobljena znanja so primerna za prenos industrijske aplikacije, saj se odpirajo možnosti za hiter razvoj industrijskih izdelkov, ki so predmet industrijske proizvodnje za partnerje. Na koordinacijskih sestankih med udeleženci projekta so se tudi izoblikovale nove ideje za uporabo pridobljenih znanj iz več-faznih struktur in mišljenje Iskre Avtoelektrike so razvidne iz njihove ocene dela. Novo pridobljena znanja in rešitve kažejo izredno veliko uporabnost na področjih raznih industrijskih aplikacij ter razvoj industrijskih izdelkov večih slovenskih podjetij, ki so predmet in področje dejavnosti partnerjev projekta.

ANG

The applicant and project partners TECES, (technological center for electrical machines (<http://www.teces.si>) combines world-class Slovenian companies and research institutions in the area of electric drives in order to accumulate and transfer the specific skills within the R & D infrastructure among the founders (the founders belong TECES are also UM-FERI and Iskra Avtoelektrika). Existing solutions and knowledge acquired are suitable for transfer into industrial applications; it provides excellent opportunities for rapid development of industrial products, which are the subject of industrial production of the industrial partner. In coordination meetings between the project participants have also created new ideas for using the skills of multi-phase structures and the opinion of Iskra Avtoelektrika is indicated in their assessment of the performed work. The new developed knowledge and proposed solutions show the usability of the obtained results in industrial applications and open the possibility for development of different products for many domestic companies.

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	

	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih

F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	

	izdelkov/storitev na trgu					
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

Sofinancer		
1.	Naziv	LETRIKA (ISKRA AVTOELEKTRIKA) d.d.
	Naslov	Polje 15 5290 Sempeter pri Gorici Slovenia
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	54.620,23 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	DF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter. [COBISS.SI-ID 15236630] A.01
	2.	Automatika. Milanović, Miro (odgovorni urednik 2011-2012). Zagreb: Korema, 1960-. ISSN 0005-1144. [COBISS.SI-ID 4026370] C.04
	3.	HiCEPS: Split electro-magnetic hybrid powertrain: (hibrid EMCVT): [COBISS.SI-ID 14708502] D.06
	4.	Metoda slabljenja polja sinhronskega stroja s trajnimi magneti z uporabo celotne razpoložljive napetosti in izboljšano stabilnostjo.[COBISS.SI-ID 69091329] F.33
	5.	Pulse width modulation for single-and three-phase inverters-analytical approach : short course at UPC, Barcelona [COBISS.SI-ID 16117014] B.05
	Komentar	<p>Kot glavno tezo našega projekta smo predlagali možnost digitalizacije regulacijskih algoritmov pri dvosmernem več-faznem DC-DC pretvorniku s pomočjo uporabe napetostno-frekvenčnih pretvornikov in namesto mikroračunalniških komponent uporabo FPGA vezij. Za te potrebe smo najprej razvili »navadni« dvosmerni DC-DC pretvornik, kjer smo verificirali naše regulacijske algoritme. Pri tem se je izkazalo, da je v primeru tokovne regulacije potrebno generirati dinamično referenco toka kar predstavlja novost pri tokovnih modulatorjih-regulatorjih. Uporabljen merilni princip smo tudi primerjali z metodami digitalizacije, ki smo jih na spoznali in izvajali z partnersko špansko univerzo (URV) v okvirju enega od njihovih doktorskih nalog [COBISS.SI-ID 13185302]. Njihov pristop je bil zasnovan na meritvah trenutnih vednostih tokov z A-D pretvornikom, kjer se je čas vklopa tranzistorja nato izračunal s predikcijo. Metoda je bila občutljiva na stikalni šum in na parazitne oscilacije, ki se dogajajo pri vsakem vklopu in izklopu tranzistorja. Naši u-f pretvorniki so po tej plati delovali kot nizko-pasovni filtri in so te nevšečnosti odpravili. Istočasno je za prenos informacije o toku na FPGA vezju bil zadosti ena linija, pri čemer smo z izbranim u-f pretvornikom dosegli 10-bitno resolucijo. V takšnem primeru bi potrebovali 6 deset-bitnih A-D pretvornikov, kar bi zasedlo 60 linij na FPGA-ju, če jih bi delali brez multipleksorja. Izdelani so bili tudi štiri pol-mostični moduli za štiri-fazni dvosmerni DC-DC pretvornik. Z metodo FEM so bile izvedene tudi termična analiza, ki nam je pokazala, da je s tako zgrajenim pretvornikom in prisilnem zračnim hlajenjem mogoče je doseči moč cca 20kW. Za potrebe izdelave funkcionalnega modela smo izdelali module za obdelavo signalov, kjer smo predvideli štiri tokovne meritve in dve</p>

	<p>napetostne meritve zaradi omogočenega dvosmernega pretoka energije. Kompletna signalna elektronika je bila integrirana v »signalnem« modulu, kjer je bilo nameščeno tudi FPGA vezje. Celotni pretvornik je nato bil testiran. V času, ko se je izvajal ta projekt se je pri sofinancjerju takšen pretvornik naročila firma TAM-BUS vendar so potem odstopili od pogodbe zaradi stečaja.</p> <p>V avtomobilski industriji se pri napajalnih sistemih hibridnih vozil uporabljajo pretvorniki večjih moči (do 100kW). Zaradi velikih stroškov, ki bi se pojavili pri nabavi opreme za testiranje takšnih DC-DC pretvornikov, namreč samo cena potrebne Li-Ion baterije bi preseгла celotne odobrene stroške projekta. Zato smo izvedli študijo izvedljivosti pretvorniškega vezja kjer smo s simulacijsko metodo analizirali vse možne načine delovanja takšnega pretvornika. Izvedene so bile tudi termične analize kakor tudi uporaba sklopljenih induktivnosti, s ciljem zmanjšanja števila pasivnih komponent, ki se izražajo v teži pretvorniškega sistema.</p>
Ocena	<p>Letrika d.d. sodeluje pri projektu "Večfazni dvosmerni DC-DC pretvorniški sistem za hibridna in električna vozila" (L2-2358), kot partner in sofinancer, zaradi interesa prenosa znanja, ki se je pridobil skozi izvajanje projekta. Znanja želimo vključiti v nove izdelke, ki bodo zvišali konkurenčnost družbe na področju aplikacije elektromotornik pogonov v vozilih in plovilih. V obeh primerih se pojavljajo strukture DC-DC pretvornikov navzdol, DC-DC pretvornikov navzgor, kakor tudi dvosmernih, ki združujejo obe omenjeni strukturi. Izvedba predstavljenega postopka regulacije delovanja štiri-faznega dvosmernega DC-DC pretvornika je za Iskro Avtoelektriko zanimiva, ker predstavlja potencialno prednost pred konkurenco s podobnimi izdelki. Prednost vidimo predvsem v hitrosti izvajanja regulacijske zanke kakor tudi v izvedbi merilne verige, ki omogoča preprostejšo aplikacijo digitalnih algoritmov. Predstavljena merilna metoda in regulacija predstavlja novost na tem področju.</p> <p>Nezanemarljiva je tudi možnost pocenitve celotnega pretvornik, vendar bo potrebno slednje preučiti s stališča uporabe v "automotive" aplikacijah. Pretvornik bo treba predelati po "prototipnih" navodilih ter ga izpostaviti ostrejšim delovnim pogojem (povišane temperature, vibracije...).</p> <p>Potrebno mu bo dodati tudi elemente, ki bodo omogočile integracijo naprave v komunikacijska omrežje (CAN). Zaradi potreb testiranja prtvorniškega sistema je bila izvedena samo USB komunikacijska povezava z PC-jem. Slednje ni v sklopu projekta in izhaja iz Iskrinih potreb po industrializaciji izdelka ter predstavlja osnovo za nadaljnje sodelovanje s TECES-om in UM-FERI. Nenazadnje pa Letrika izkazuje tudi vedno prisoten interes po pridobivanju morebitnih novih patentov s tega področja.</p> <p>(priloga_C)</p>

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

IDF korekcija pri trifaznem AC-DC pretvorniku zasnovana na PŠM algoritmu:

V prispevku je predstavljen modulacijski algoritem (PŠM) za trifazni AC-DC usmernik, kjer so tretji in peti napetostni harmoniki prisotni v vhodnih napetostih. Matematične analize, ki vključuje te harmonske komponente v funkcije prevajalnih razmerih omogoča delovanje pretvornika z korekcijo faktorja moči. PŠM algoritem je popolnoma zasnovan na teh teoretičnih izsledkih. Takšen pristop omogoča doseganje ustreznega faktorja moči brez uporabe tokovnih senzorjev kar je običajen pristop. PŠM algoritmi so bili raziskani teoretično in verificirani s simulacijo in eksperimentom. (Priloga_B)

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Profesor Miro Milanovič je bil povabljen Univerzo v Barcelon (Universidad Politecnica de Barcelona UPC), kjer je na doktorskem študiju imel predavanja kot gostujoči profesor. Kursu je prisostvovalo 10 študentov:
Barcelona (20 hours - Programa de doctorat en ingenieria electronica UPC-UIB, Cursos i seminaris de formacio doctoral - CURS 2011-2012), 18-27 June, 2012. Barcelona, 2012. Za doktorske študente na UPC je dr. Miro Milanovič izvedel 20 urni kurs Pulzno širinskih modulacij, za enofazne in trifazne razsmernike. Kurs je bil zasnovan na analitičnem pristopu. Obravnavani so bili tudi modulacijske tehnike, ki omogočajo uporabo razsmernikov pri omrežno napajanih pretvornikih s korekcijo faktorja moči. Za vse te tehnike je bila uporabljena tehnika poznana iz teorije stikalnih matričnih pretvornikov.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

TECES, Tehnološki center za
električne stroje

Miro Milanovič

ŽIG

Kraj in datum:

Maribor

12.3.2013

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/170

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja

izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

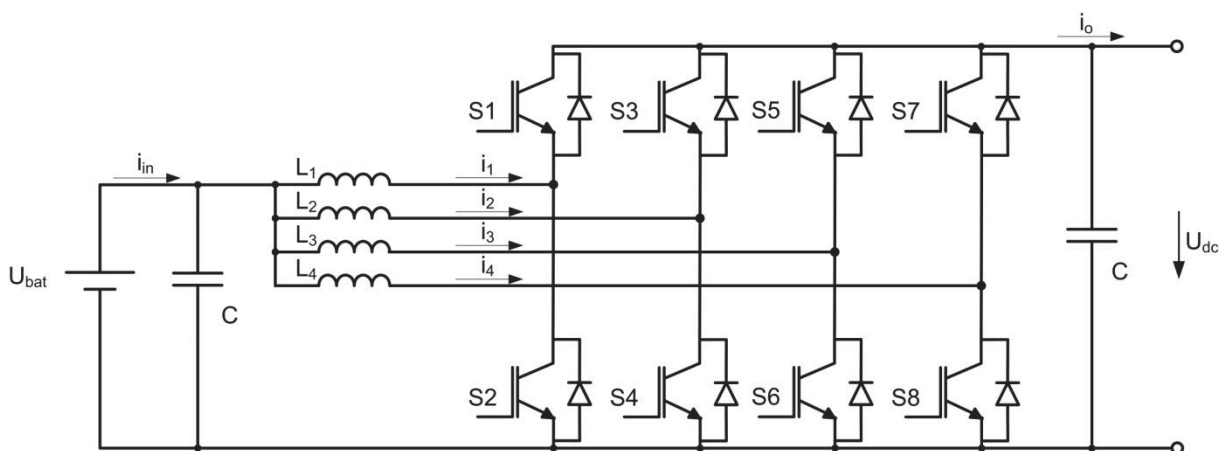
¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitve dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00

F6-93-DD-F2-90-08-7F-64-F4-66-6D-55-0C-7C-75-A5-EB-42-FF-0E

1 PRETVORNIK: DVOSMERNI ŠTIRIFAZNI DC - DC PRETVORNIK

Slika 1 prikazuje vezje dvosmernega DC-DC pretvornika, ki povezuje baterijo z enosmernim DC porabnikom. Pri dvosmernem delovanju lahko baterija uporabljena kot stalen vir energije ali pa se lahko uporabi kot stalen porabnik le te. Prenos energije iz baterije se vrši, kadar dvosmerni pretvornik deluje v režimu delovanja pretvornika navzgor. V nasprotnem primeru, ko se baterija polni se energija prenaša v nasprotni smeri in takrat pretvornik deluje v režimu pretvornika navzdol. Pri štirifaznem načinu delovanja pretvornika so prožilni pulzi za proženje stikal posamezne veje med seboj premaknjeni za 90° s čimer dosežemo samo delovanje pretvornika s štiri krat višjo frekvenco od prožilne frekvence na posamezni veji. Delovanje pretvornika z višjo frekvenco pa omogoča uporabo manjših pasivnih elementov v zgradbi pretvornika.

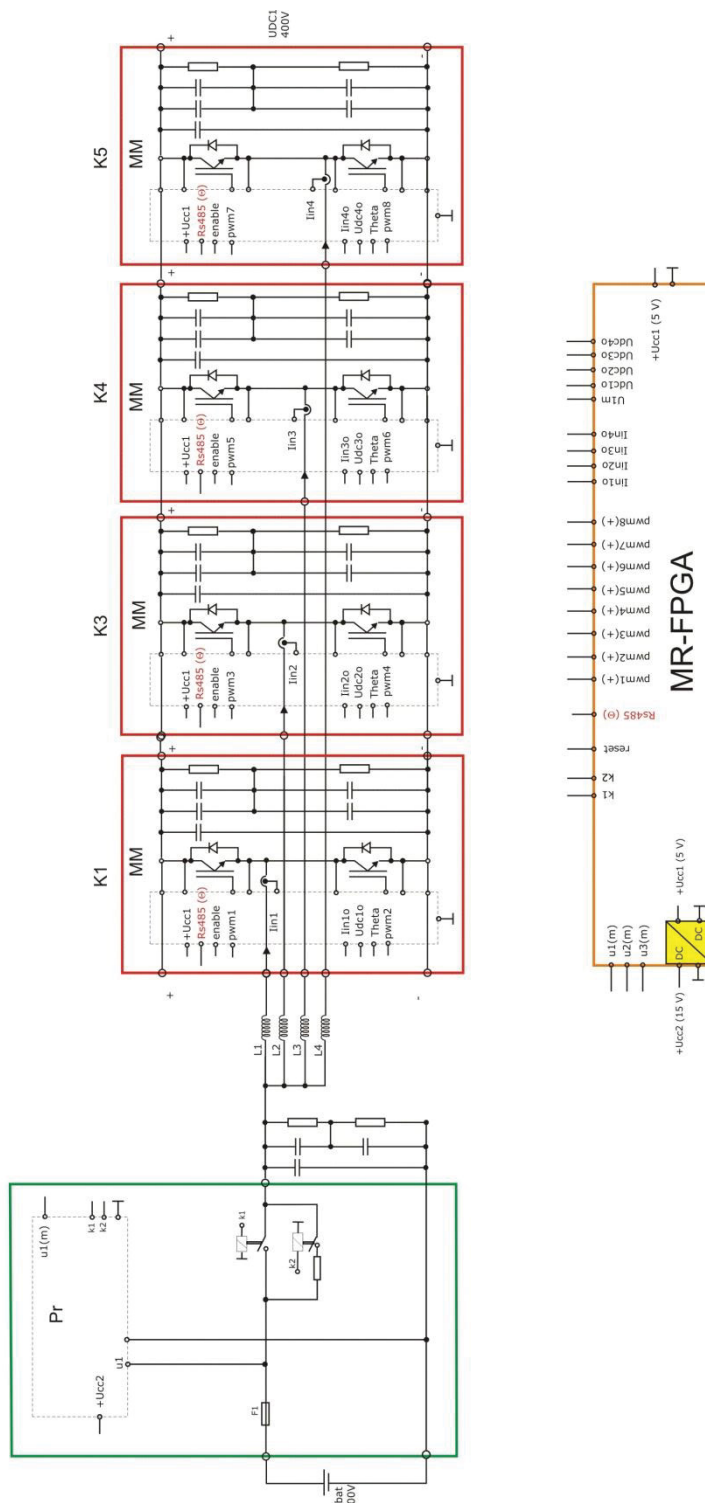


Slika 1: Shema dvosmernega DC-DC pretvornika

2 IZVEDBA DVOSMERNEGA ŠTIRIFAZNEGA DC - DC PRETVORNIKA

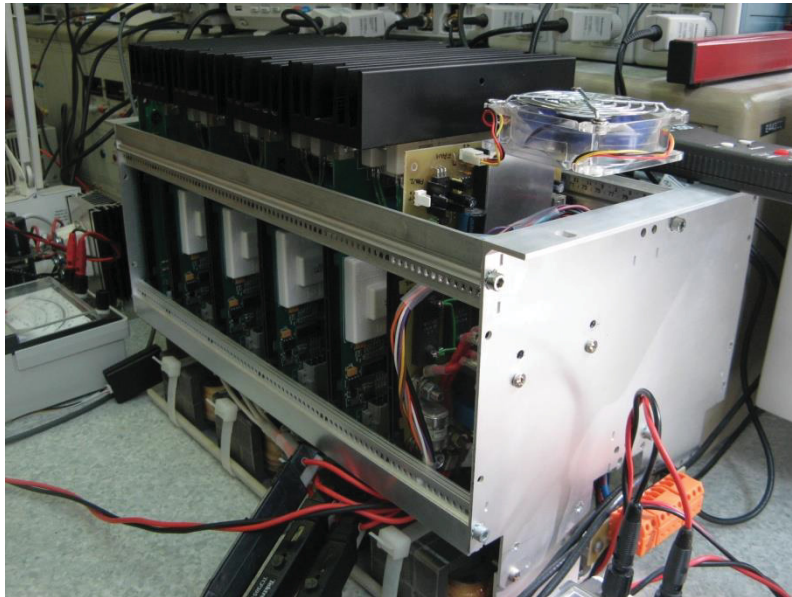
Zgradili smo 10 kW pretvornik, ki omogoča dvosmeren prenos energije . Slika 2 prikazuje shemo izvedbe pretvornika

Dvosmerni DC-DC pretvornik 4 fazni

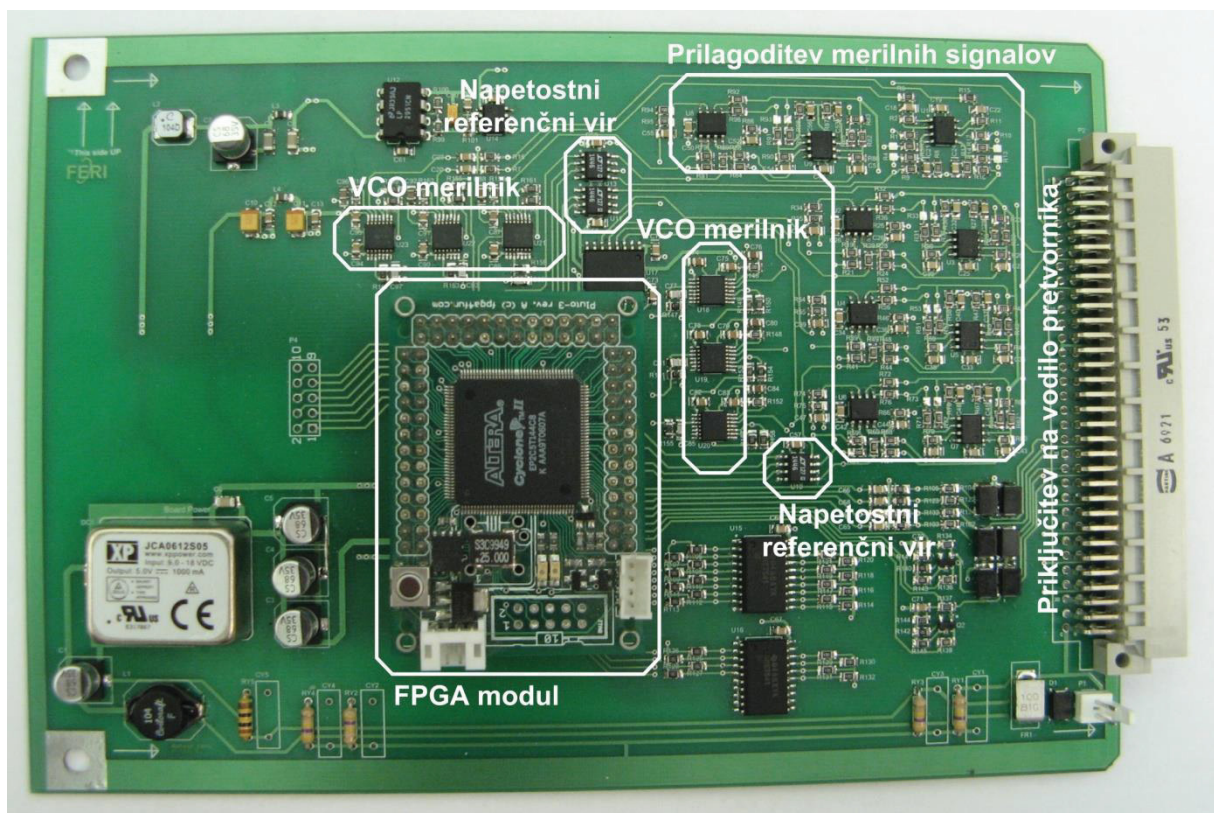


Slika 2: Shema dvosmernega DC-DC pretvornika

Na osnovi zgornje sheme smo sestavili dvosmerni pretvornik, ki je prikazan na sliki 3. Pretvornik je sestavljen iz energetskega dela in vmesniške karte.



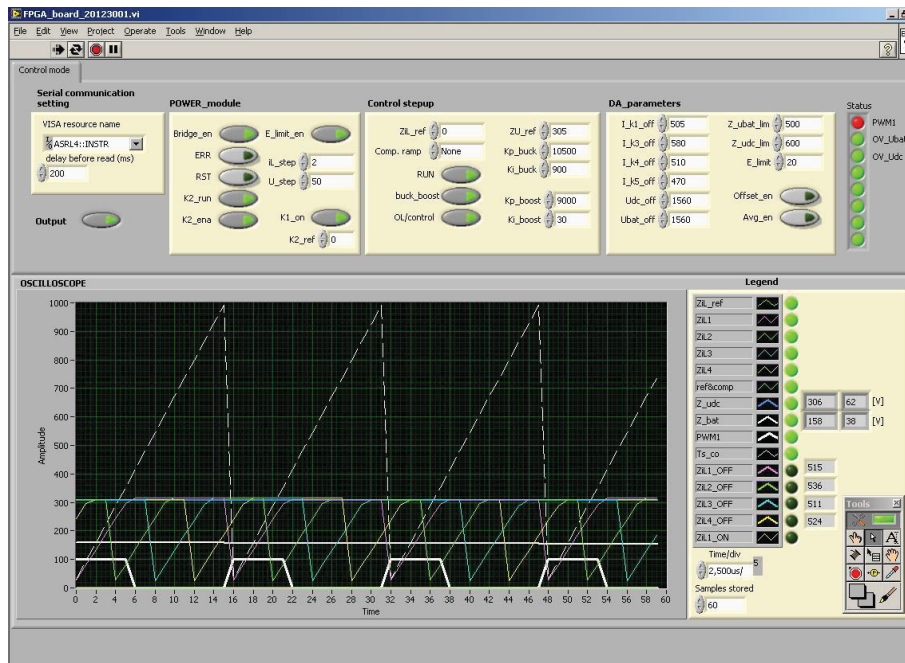
Slika 3: Fotografija energetskega dela pretvornika



Slika 4: Fotografija vmesniške karte

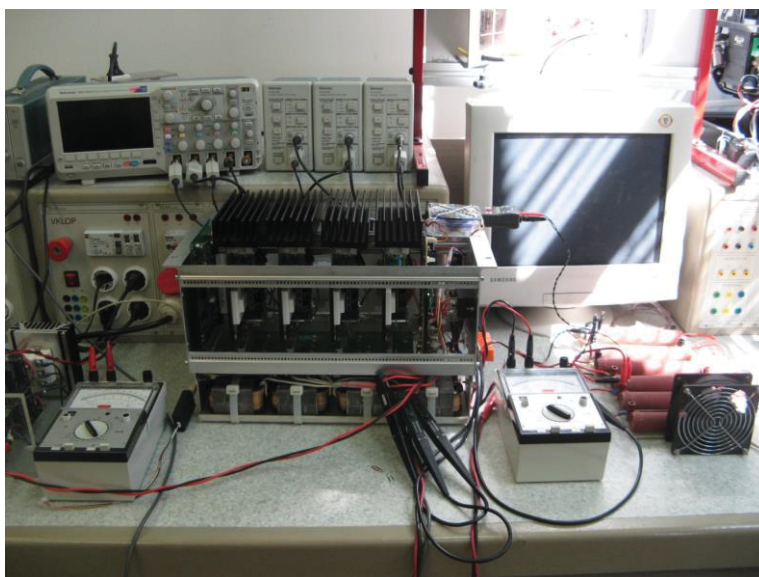
Vmesniška karta je opremljena s prilagoditvijo merilnih signalov za šest meritev izvedenih z VCO merilniki in sicer za dve napetostni in štiri tokovne meritve. Merilni signali se zajamejo

na pretvorniku in so preko vodila povezani z vmesniško karto. Tokovne meritve so prilagojene za dvosmerno meritev. Merilnim vezjem so dodani napetostni referenčni viri za prilagoditev merilnega območja VCO. Za referenčne vire napetosti so uporabljeni trije DA pretvorniki s serijsko komunikacijo. Izhodi VCO merilnikov so povezani z FPGA modulom. Komunikacija z FPGA modulom in računalnikom je vzpostavljena preko serijske komunikacije. Za namen komunikacije je v programskem okolju Labview zgrajen uporabniški vmesnik.



Slika 4: Uporabniški vmesnik zgrajen v okolju Labview

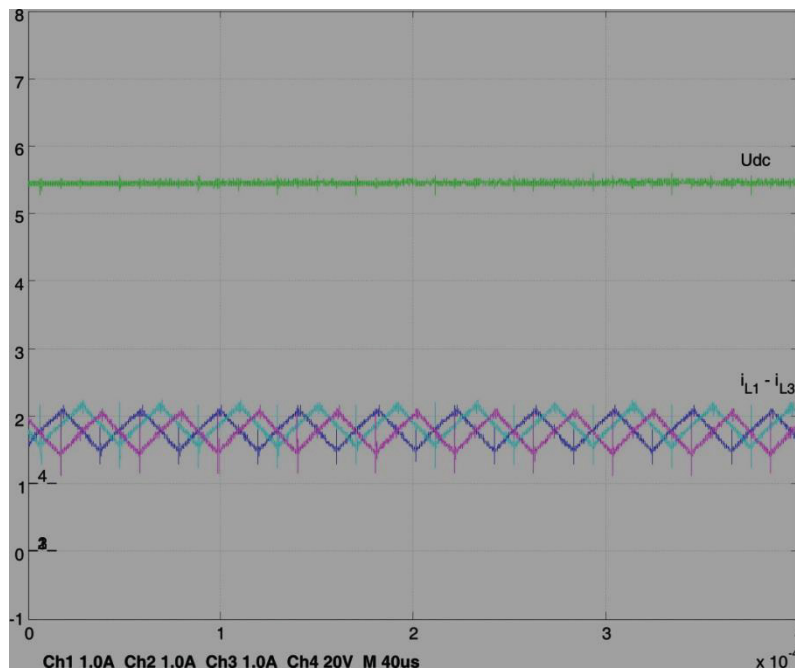
Meritve delovanja dvosmernega DC-DC pretvornika – režim delovanja kot pretvornik navzgor



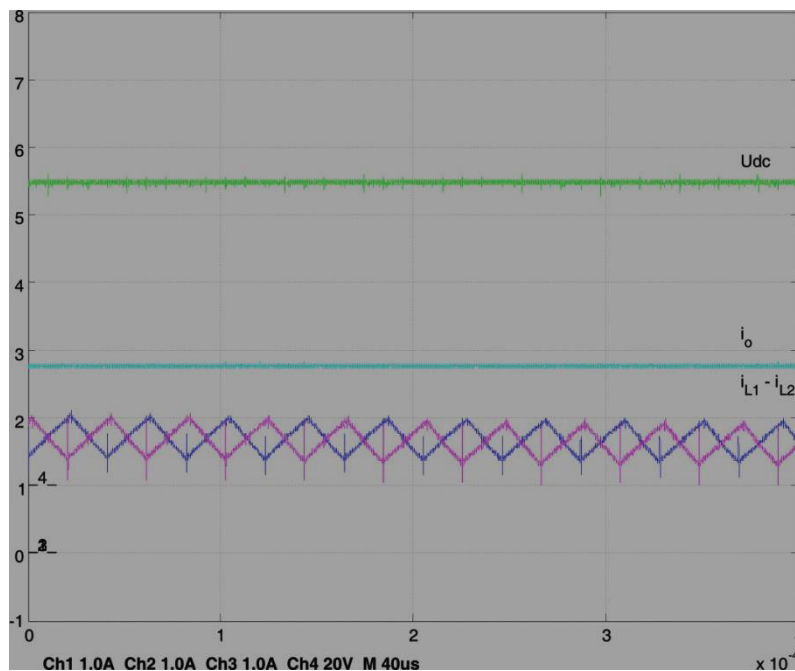
Slika 1: Fotografija funkcionalnega modela pretvornika (štiri-fazna izvedba), na katerem so bile izvedene meritve



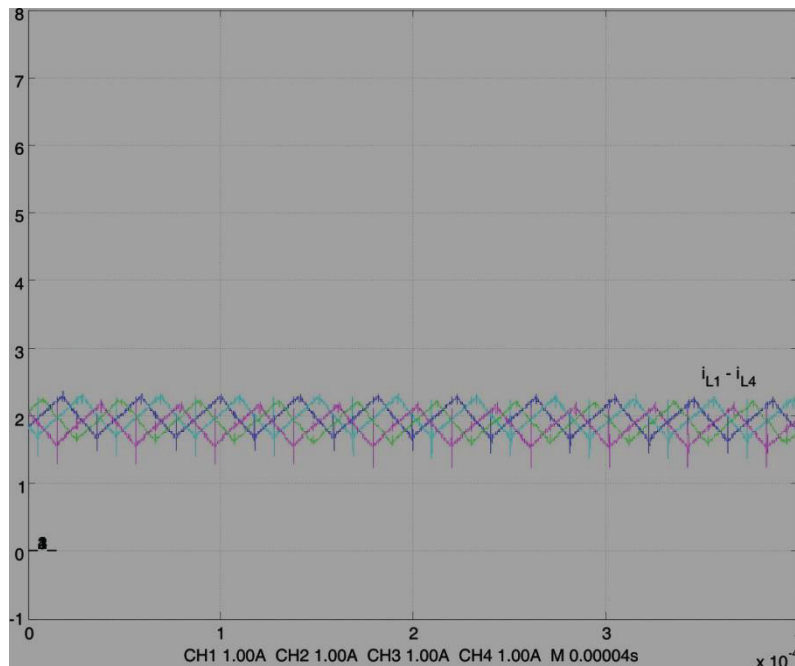
Slika 2: Fotografija celotnega sistema za izvajanje meritev



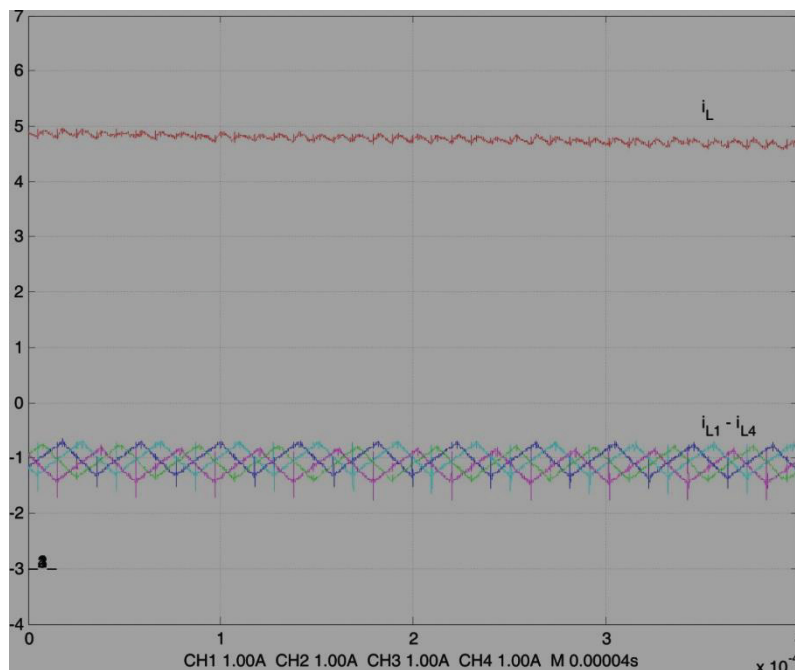
Slika 3: Meritev delovanja dvosmernega pretvornika v stacionarnem režimu delovanja kot pretvornik navzgor ob pogojih kjer je bila vhodna napetost $U_{bat}=40V$, izhodna napetost $U_{dc}=90V$ ob priključenem bremenu na izhodu $R=30\Omega$. Merjeni so bili trije tokovi skozi dušilke $i_{L1} - i_{L3}$ ter izhodna napetost U_{dc} . Toki so med seboj premaknjeni za 90° .



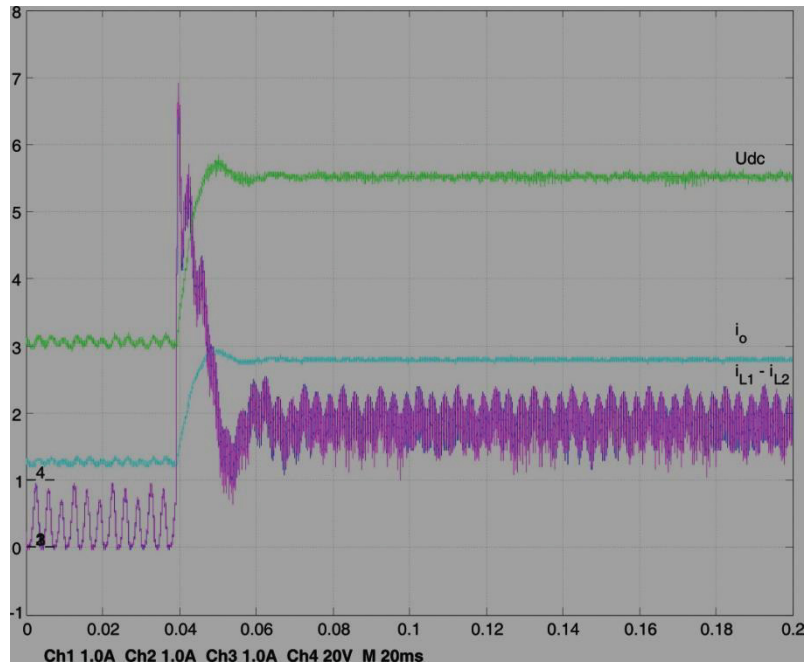
Slika 4: Meritev stacionarnega delovanja dvosmernega pretvornika pri enakih pogojih kot v prejšnjem primeru pri čemer so merjeni izhodna napetost U_{dc} , izhodni tok i_o ter dva vejna toka skozi dušilko i_{L1} in i_{L2} .



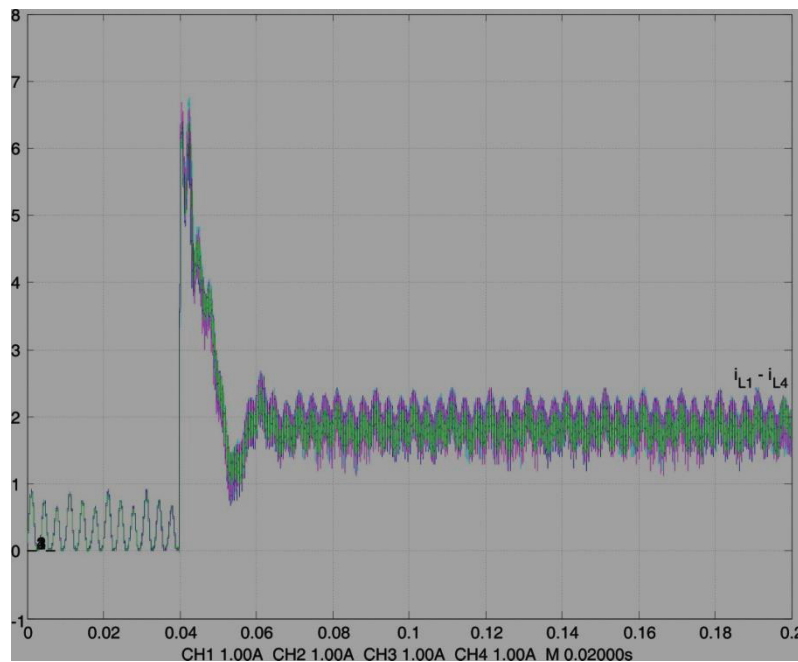
Slika 5: Meritev stacionarnega delovanja dvosmernega pretvornika pri enakih pogojih kot v prejšnjem primeru pri čemer so merjeni štirje vejni tokovi i_{L1} in i_{L4} .



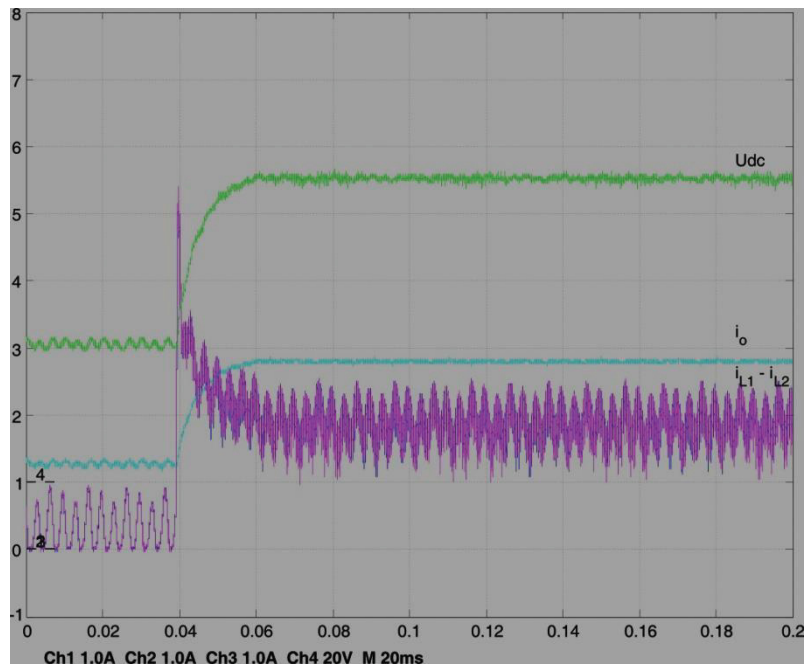
Slika 6: Meritev stacionarnega delovanja dvosmernega pretvornika pri enakih pogojih kot v prejšnjem primeru pri čemer so merjeni štirje vejni tokovi i_{L1} do i_{L4} , ki tvorijo skupni tok skozi dušilke i_L . Iz skupnega toka je razvidno, da lahko s premaknitvijo proženja posameznih vej dosežemo na skupnem toku višjo frekvenco ter manjšo valovitost toka, kot na posamezni veji.



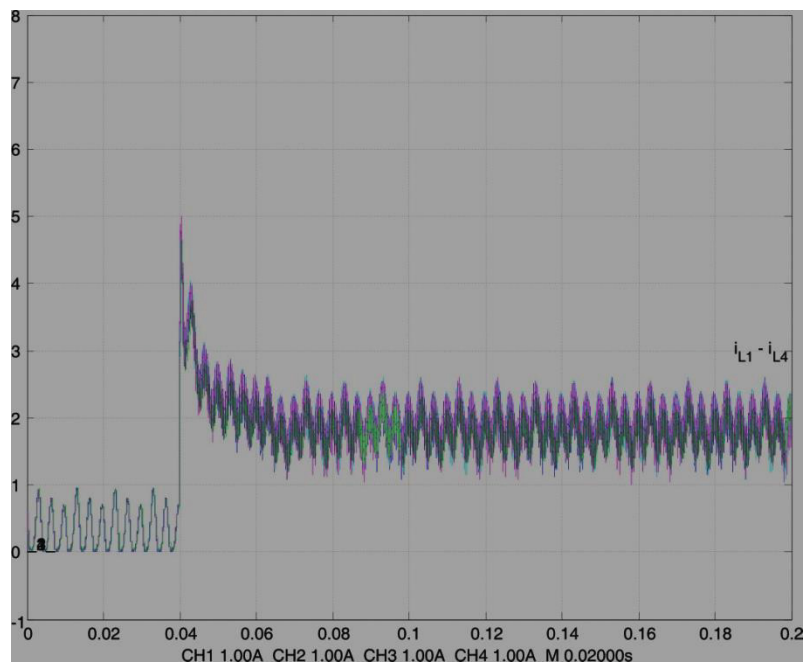
Slika 7: Meritev zagona pretvornika pri čemer so merjeni izhodna napetost U_{dc} , izhodni tok i_o ter dva vejna toka skozi dušilko i_{L1} in i_{L2} . Na izhodu je bilo priključeno breme $R=30\Omega$. Pri zagonu pretvornika je bila strmina naraščanja referenčne napetosti omejena. Pri delovanju ni bila uporabljena kompenzacijska strmina pri tokovni modulaciji.



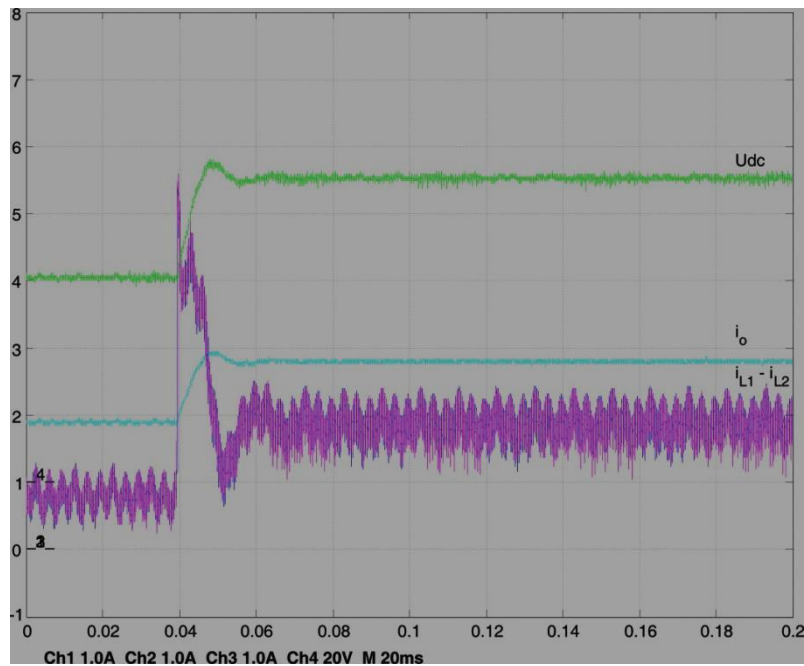
Slika 8: Meritev izvedena ob zagonu pretvornika pod enakimi pogoji pri čemer so merjeni štirje vejni tokovi i_{L1} do i_{L4} .



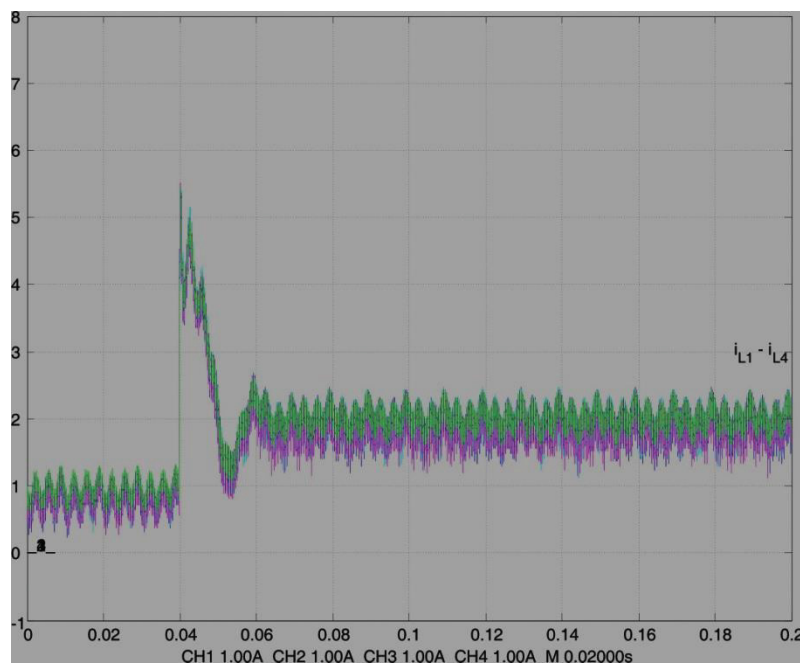
Slika 9: Meritev zagona pretvornika pri čemer so merjeni izhodna napetost U_{dc} , izhodni tok i_o ter dva vejna toka skozi dušilko i_{L1} in i_{L2} . Pri zagonu pretvornika je bila strmina naraščanja referenčne napetosti omejena. Pri delovanju je bila dodatno uporabljena kompenzacijska strmina pri tokovni modulaciji s katero lahko vplivamo na potek toka ter omejimo vdor toka ob zagonu.



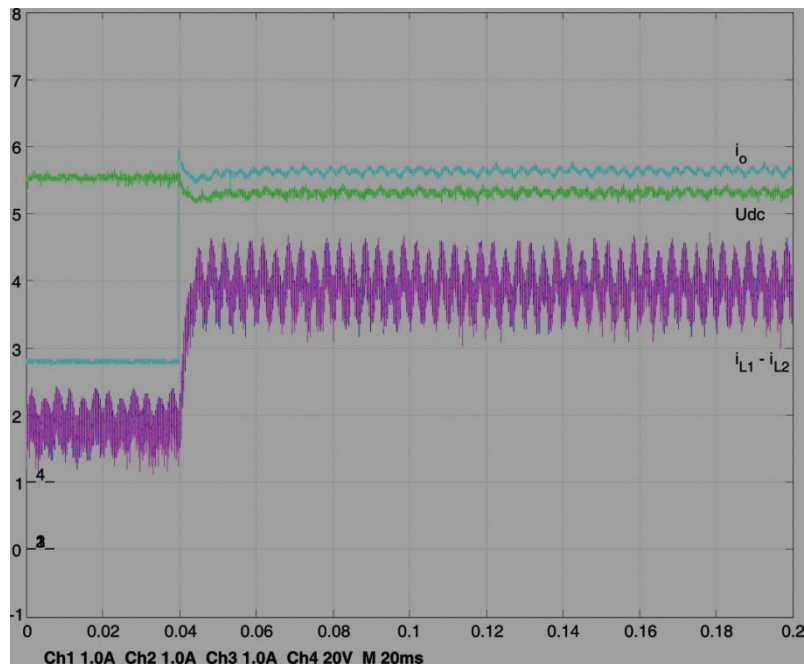
Slika 10: Meritev izvedena ob zagonu pretvornika pod enakimi pogoji pri čemer so merjeni štiri vejni tokovi i_{L1} do i_{L4} .



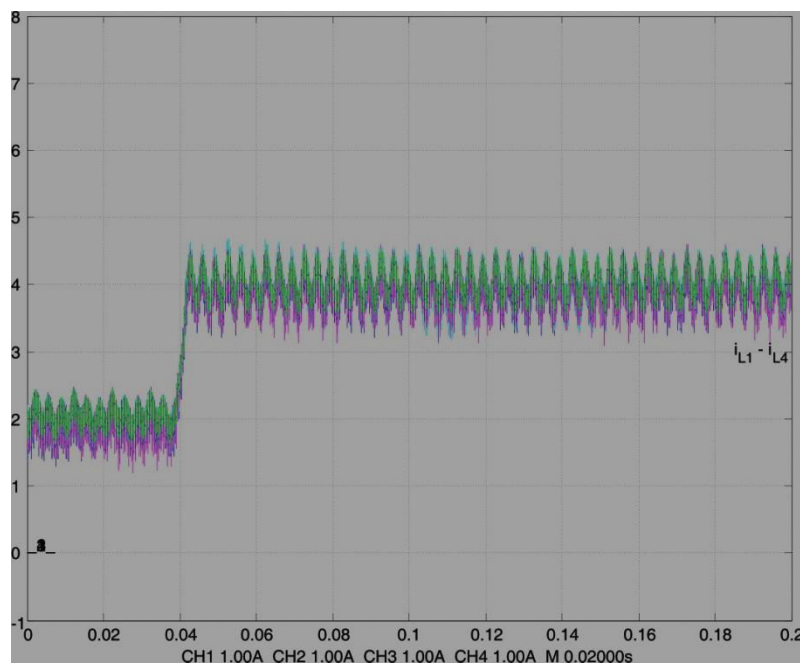
Slika 11: Meritev delovanja pretvornika ob skočni spremembi referenčne napetosti iz $U_{dc}=60V$ na $U_{dc}=90V$ zagona pretvornika. Merjeni izhodna napetost U_{dc} , izhodni tok i_o ter dva vejna toka skozi dušilko i_{L1} in i_{L2} . Na izhodu je bilo priključeno breme $R=30\Omega$. Pri delovanju ni bila uporabljena kompenzacijska strmina pri tokovni modulaciji.



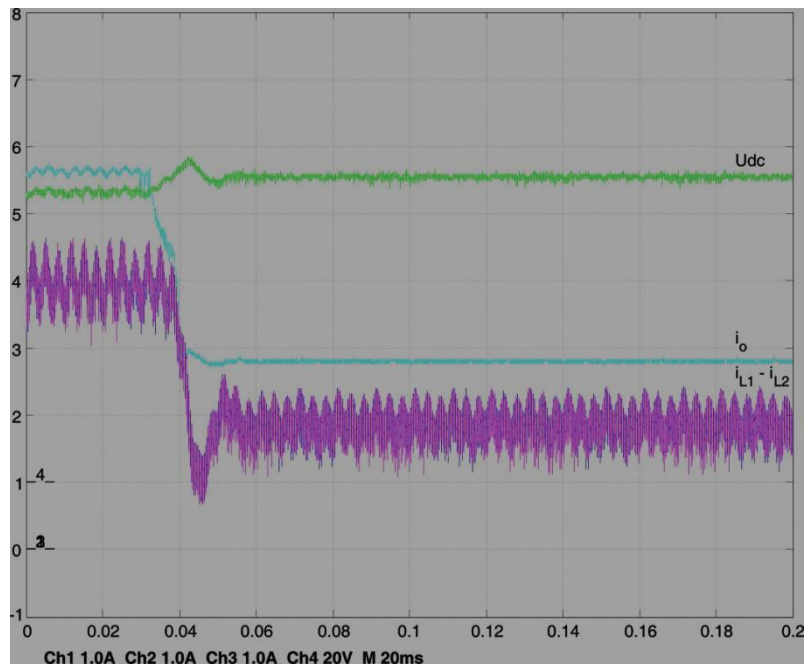
Slika 12: Meritev izvedena ob spremembi reference pod enakimi pogoji pri čemer so merjeni štirje vejni tokovi i_{L1} do i_{L4} .



Slika 13: Meritev delovanja pretvornika ob skočni spremembi obremenitve iz $R=30\Omega$ na $R=15\Omega$. Merjeni izhodna napetost U_{dc} , izhodni tok i_o ter dva vejna toka skozi dušilko i_{L1} in i_{L2} . Dinamični pogrešek v izhodni napetosti je bil -6%. Kompenzacijska strmina pri tokovni modulaciji ni bila uporabljena.



Slika 14: Meritev izvedena ob spremembi obremenitve pod enakimi pogoji pri čemer so merjeni štiri vejni tokovi i_{L1} do i_{L4} .

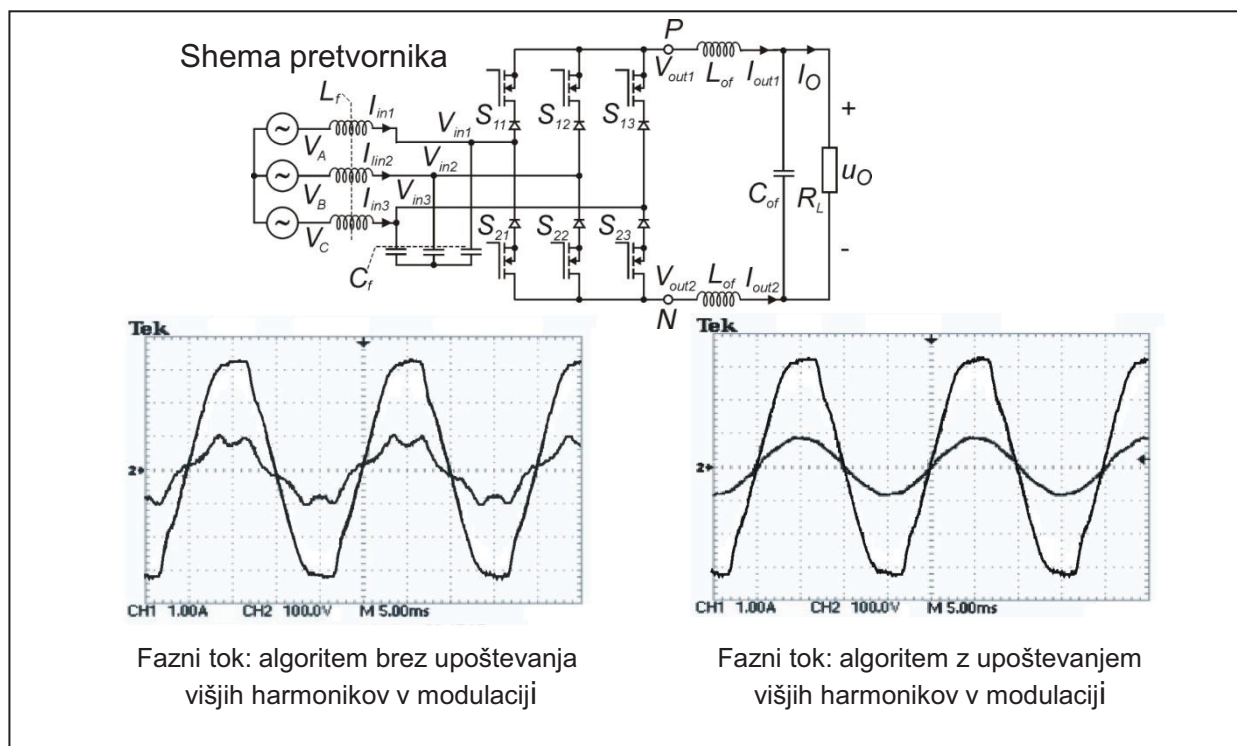


Slika 15: Meritev delovanja pretvornika ob skočni spremembi obremenitve iz $R=15\Omega$ na $R=30\Omega$. Merjeni izhodna napetost U_{dc} , izhodni tok i_o ter dva vejna toka skozi dušilko i_{L1} in i_{L2} . Dinamični pogrešek v izhodni napetosti je bil -5%. Kompenzacijska strmina pri tokovni modulaciji ni bila uporabljena.

TEHNIKA

Področje: 2.12 – Električne naprave-Pretvorniki močnostne elektronike

Dosežek: Algoritem pulzno širinske modulacije za popravek faktorja premaknitve za trifazni usmernik, zasnovan na strukturi pretvornika navzdol., Vir: Miro Milanovič in Primož Šlibar, IDF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter, *IEEE Trans. on industrial electronics*, 2011, vol. 58, no. 8, str. 3308-3316.



- Raziskovalna skupina Laboratorija za energetske elektrone z UM-FERI je razvila algoritem za korekcijo faktorja moči, za AC-AC pretvornike. Vir: Miro Milanovič in Bojan Dobaj, Modulation strategy for unity power factor correction in direct AC to AC converters, *IEEE Trans. Circuits Syst. Part 1*, 2000, vol. 47, no. 2, str. 221-230.
- Na osnovi omenjene študije je v bila izvedena modifikacija algoritma za korekcijo faktorja moči primerna za uporabo pri AC-DC pretvornikih. Vir: Miro Milanovič, Rudolf Prosen, Luis Martinet-Salamero, Switching matrix approach based modulation for AC to DC converter. *J. circuits syst. comput.*, 2004, vol. 13, no. 4, str. 829-843.
- Razviti algoritem je predpostavljal, da so omrežne napajalne napetosti sinusne oblike. Ker ni bilo regulacije vhodnih tokov, so bili ti popačeni.
- V nadaljevanju raziskave smo s "kontaminacijo" funkcij prevajalnega razmerja z višjimi harmonskimi komponentami dosegli korekcijo faktorja moči tudi pri močno popačenih vhodnih napajalnih napetostih.

IZJAVA SOFINANCERJA APLIKATIVNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

1. Sofinancer (naziv in naslov)

LETRIKA d.d.
Poje 15
5290 Sempeter pri Gorici
Slovenia

2. Vrednost sofinancerja za projekt L2-2358 (šifra projekta) je znašala 54.620,23 EUR,
kar predstavlja 25,00 % utemeljenih stroškov projekta.

3. Sofinanciranje je bilo izvedeno (datum; obdobje): 2009-2012

4. Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja

Zap. št.	Rezultati (znanstvena dela, patenti, prenosi v prakso, programska oprema, kongresi, izvedena dela, razstave, itd.) ¹	Šifra ²
1.	IDF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter. [COBISS.SI-ID 15236630]	A.01
2.	Automatika. Milanović, Miro (odgovorni urednik 2011-2012). Zagreb: Korema, 1960-. ISSN 0005-1144. [COBISS.SI-ID 4026370]	C.04
3.	HiCEPS: Split electro-magnetic hybrid powertrain: (hybrid EMCVT): [COBISS.SI-ID 14708502]	D.06
4.	Metoda slabljenja polja sinhronskega stroja s trajnimi magneti z uporabo celotne razpoložljive napetosti in izboljšano stabilnostjo. [COBISS.SI-ID 69091329]	F.33
5.	Pulse width modulation for single-and three-phase inverters-analytical approach : short course at UPC, Barcelona [COBISS.SI-ID 16117014]	B.05

¹ Navedite najpomembnejše rezultate (najmanj enega) raziskovanja. Največ 200 znakov vključno s presledki.

² Izberite ustrezno šifro (A-F) po Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov <http://www.arts.gov.si/sl/gradivo/sifrant/sif-razisk-rezult.asp>

Komentar:³

Kot glavno tezo našega projekta smo predlagali možnost digitalizacije regulacijskih algoritmov pri dvosmernem več-faznem DC-DC pretvorniku s pomočjo uporabe napetostno-frekvenčnih pretvornikov in namesto mikračunalniških komponent uporabo FPGA vezij. Za te potrebe smo najprej razvili »navadni« dvosmerni DC-DC pretvornik, kjer smo verificirali naše regulacijske algoritme. Pri tem se je izkazalo, da je v primeru tokovne regulacije potrebno generirati dinamično referenco toka kar predstavlja novost pri tokovnih modulatorjih-regulatorjih. Uporabljen merilni princip smo tudi primerjali z metodami digitalizacije, ki smo jih na spoznali in izvajali z partnersko špansko univerzo (URV) v okvirju enega od njihovih doktorskih nalog [COBISS_SI-ID 13185302]. Njihov pristop je bil zasnovan na meritvah trenutnih vednostih tokov z A-D pretvornikom, kjer se je čas vklopa tranzistorja nato izračunal s predikcijo. Metoda je bila občutljiva na stikalni šum in na parazitarne oscilacije, ki se dogajajo pri vsakem vklopu in izklopu tranzistorja. Naši u-f pretvorniki so po tej plati delovali kot nizko-pasovni filtri in so te nevspečnosti odpravili. Istočasno je za prenos informacije o toku na FPGA vezju bil zadosti ena linija, pri čemer smo z izbranim u-f pretvornikom dosegli 10-bitno resolucijo. V takšnem primeru bi potrebovali 6 deset-bitnih A-D pretvornikov, kar bi zasedlo 60 linij na FPGA-ju, če jih bi deljali brez multipleksorja.

Izdelani so bili tudi štirje pol-mostični moduli za štiri-fazni dvosmerni DC-DC pretvornik. Z metodo FEM so bile izvedene tudi termična analiza, ki nam je pokazala, da je s tako zgrajenim pretvornikom in prisilnem zračnim hlajenjem mogoče je doseči moč cca 20kW.

Za potrebe izdelave funkcionalnega modela smo izdelali module za obdelavo signalov, kjer smo predvideli štiri tokovne meritve in dve napetostne meritve zaradi omogočenega dvosmernega pretoka energije. Kompletna signalna elektronika je bila integrirana v »signalnem« modulu, kjer je bilo nameščeno tudi FPGA vezje. Celotni pretvornik je nato bil testiran. V času, ko se je izvajal ta projekt se je pri sofinancjeru takšen pretvornik naročila firma TAM-BUS vendar so potem odstopili od pogodbe zaradi stečaja.

V avtomobilski industriji se pri napajalnih sistemih hibridnih vozil uporabljajo pretvorniki večjih moči (do 100kW). Zaradi velikih stroškov, ki bi se pojavili pri nabavi opreme za testiranje takšnih DC-DC pretvornikov, namreč samo cena potrebne Li-Ion baterije bi preseгла celotne odobrene stroške projekta. Zato smo izvedli študijo izvedljivosti pretvorniškega vezja kjer smo s simulacijsko metodo analizirali vse možne načine delovanja takšnega pretvornika. Izvedene so bile tudi termične analize kakor tudi uporaba sklopljenih induktivnostih, s ciljem zmanjšanja števila pasivnih komponent, ki se izražajo v teži pretvorniškega sistema.

³ Največ 3000 znakov vključno s presledki.

5. Ocena sofinancerja o pomenu oziroma vplivu rezultatov projekta za sofinancersko organizacijo⁴:

Letrika d.d. sodeluje pri projektu "Večfazni dvosmerni DC-DC pretvorniški sistem za hibridna in električna vozila" (L2-2358), kot partner in sofinancer, zaradi interesa prenosa znanja, ki se je pridobil skozi izvajanje projekta. Znanja želimo vključiti v nove izdelke, ki bodo zvišali konkurenčnost družbe na področju aplikacije elektromotorik pogonov v vozilih in plovilih. V obeh primerih se pojavljajo strukture DC-DC pretvornikov navzdol, DC-DC pretvornikov navzgor, kakor tudi dvosmernih, ki združujejo obe omenjeni strukturi. Izvedba predstavljenega postopka regulacije delovanja štiri-faznega dvo-smernega DC-DC pretvornika je za Letriko zanimiva, ker predstavlja potencialno prednost pred konkurenco s podobnimi izdelki. Prednost vidimo predvsem v hitrosti izvajanja regulacijske zanke kakor tudi v izvedbi merilne verige, ki omogoča preprostejšo aplikacijo digitalnih algoritmov. Predstavljena merilna metoda in regulacija predstavlja novost na tem področju. Nezanemarljiva je tudi možnost pocentive celotnega pretvornik, vendar bo potrebno slednje preučiti s stališča uporabe v "automotive" aplikacijah. Pretvornik bo treba predelati po "prototipnih" navodilih ter ga izpostaviti ostrejšim delovnim pogojem (povišane temperature, vibracije...). Potrebno mu bo dodati tudi elemente, ki bodo omogočile integracijo naprave v komunikacijska omrežje (CAN). Zaradi potreb testiranja prtvorniškega sistema je bila izvedena samo USB komunikacijska povezava z PC-jem. Slednje ni v sklopu projekta in izhaja iz Letrikinih potreb po industrializaciji izdelka ter predstavlja osnovo za nadaljnje sodelovanje s TECES-om in UM-FERL. Nenazadnje pa Letrika izkazuje tudi vedno prisoten interes po pridobivanju morebitnih novih patentov s tega področja.

Datum:

11. 3. 2013

Žig


Letrika d.d.

Podpis:


(zakoniti zastopnik sofinancerja)



⁴ Podatek je obvezen. Največ 3000 znakov vključno s presledki.