

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2014/22



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0258
Naslov programa	Pretvorniki električne energije in regulirani pogoni
Vodja programa	7131 Vanja Ambrožič
Obseg raziskovalnih ur	18700
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2013
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.12 Električne naprave
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Heterogenost programske skupine je omogočila pokrivanje širokega področja implementacije električnih naprav ter sinergijo strokovnjakov s področja močnostne elektronike, projektiranja električnih strojev in elektromotorskih pogonov. Zato smo lahko rešitve določenega problema, ob ustreznih modifikacijah ter teoretičnih in praktičnih nadgradnjah, uporabili tudi v sorodnih aplikacijah.

Glavno vodilo skupine je bil razvoj rešitev za učinkovito in cenejšo rabo oziroma proizvodnjo in prenos energije, zlasti na področju čedalje aktualnejših avtonomnih napajalnih virov (skupina je obravnavala električna ali hibridna vozila) oziroma obnovljivih energetske virov (energija sonca in vetra). V obeh primerih smo razvili številne topologije pretvorniških in krmilnih vezij ter algoritmov, s katerimi dosegamo višjo izkoristek sistema. Skladno z najavo smo dosežene izkušnje in znanje uporabili tudi pri razvoju filtrskih in pretvorniških vezij za testiranje transformatorjev. Na področju obnovljivih virov smo izvedli tudi študijo upravičenosti rentabilne postavitve do sedaj zanemarjenih vodnih elektrarn z nizkimi padci, s čimer dosežemo boljše izkoriščanje vodnega potenciala.

Posebej smo se posvetili problematiki diagnostike delovanja naprav, saj je zanesljivost delovanja in zgodnje odkrivanje napak ključno za učinkovito rabo, proizvodnjo in prenos energije. V tem kontekstu smo se ukvarjali z razvojem metod in ustrezne programske opreme za diagnostiko delovanja sinhronskih in asinhronskih strojev. Hkrati smo se proti koncu obdobja financiranja posvetili tudi diagnostiki okvar na pretvorniških napajalnih napravah ter razvoju algoritmov za varno nadaljevanje delovanja po ugotovitvi napake oziroma za varno ustavitev, kar je še zlasti pomembno pri električnih in hibridnih vozilih.

Ena osnovnih komponent do sedaj opisanih aplikacij so električni stroji, potrebni za elektromehansko pretvorbo ter transformacijo električne energije. Zmanjšanje izgub v samem stroju, ob uporabi novih materialov ter učinkovitem projektiranju, znižanje stroškov njihove izdelave in izmeta tekom samega proizvodnega procesa, so tudi bili pomemben del aktivnosti skupine. Posledično so bile preizkušene in predlagane izvedbe strojev s sodobnimi mehkomagnetnimi materiali ob uporabi sodobnih optimizacijskih metod, ki, med ostalim, temeljijo na umetni inteligenci.

Poleg rezultatov na posebnih aplikacijah, so dosežena znanja uporabna tudi na drugih področjih elektrotehnike, kar je v žarišču zanimanja trenutnega dela skupine.

Več o rezultatih skupine pod točko 3.

ANG

Heterogeneity of the program group has enabled covering a wide area of implementation of electric apparatus and synergy between experts dealing with power electronics, design of electric machines and electrical drives. Consequently, some of the solutions of a particular problem, after appropriate modifications, theoretical and practical extension, have also been applied to similar applications.

Main guidance for the group was development of solutions for efficient and cost-effective energy usage and transfer, especially in the area of increasingly interesting autonomous power supplies (the group dealt with electric and hybrid vehicles) and renewables (solar and wind energy). In both cases we have developed numerous topologies of converter and control circuits as well as algorithms for higher efficiency. In accordance to the goal of the project, as declared in the original project proposal, the acquired knowledge was also applied on development of filter and converter circuits for testing of transformers. In the area of renewables, we have also performed a study of sustainability of building small power plants on rivers with low differential levels, thus enabling higher level of exploitation.

We also dealt with problems concerning diagnostics of electric actuators, as the reliability and fault detection at an early stage is essential for efficient usage, production and transfer of electrical energy. In this context, we have worked on development of methods and appropriate software tools for diagnostics of synchronous and induction motors. At the end of the grant period we devoted a lot of efforts towards fault diagnostics of power converters and development of algorithms for safe continuation of operation or safe stop, which is very important in electric and hybrid vehicles.

One of the major components of already mentioned applications are electric machines, required for electro-mechanical conversion and electrical energy transformation. Reduction of machine losses by using new materials and by more effective design, cost reduction during a manufacturing process and reduction of dropouts also played an important role in activities of the group. Consequently, configurations of machines with modern soft magnetic materials and designed with advanced optimization methods, such as artificial intelligence, have been proposed and tested.

Besides the results on special applications, acquired knowledge is applicable also to other fields of electrical engineering, being this in the focus of current work of the group.

More details are contained in section 3.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu²

SLO

Na področju hibridnih vozil smo v sodelovanju s podjetjem Hidria razvili enoto za podaljševanje dosega pri serijskih hibridnih vozilih. Za podjetje Iskra Avtoelektrika smo razvili krmilno elektroniko za električna vozila nižjih moči (skuterji, golf vozički, viličarji). Za isto podjetje smo razvili tudi

sistem za zajemanje kota s pomočjo resolverja, ki se vse pogosteje uporablja v avtomobilski industriji.

V okviru naših raziskav na temo kakovosti električne energije smo za potrebe preizkušanj distribucijskih transformatorjev v podjetju Kolektor Etra razvili aktivni serijski filter. Z njim uspešno izločamo višje harmonske komponente omrežne napetosti do 100. reda in s tem omogočamo izvedbo akustičnih meritev, ki so potrebne pred umeščanjem takšnih transformatorjev v urbano okolje.

Na področju generiranja vodika s postopkom elektrolize vode smo izdelali merilni sistem za testiranje laboratorijskih PEM elektroliznih celic. Z izdelanimi bipolarnimi ploščami z izboljšano obliko distribucijskega polja smo uspeli doseči gostoto toka do 0,8 A/cm², kar je primerljivo s sodobnimi elektroliznimi enotami na trgu.

Zaključki raziskav hibridnega filtra za enosmerne napajalne sisteme podajajo pregled potencialnih topologij hibridnih filtrov, med katerimi smo izluščili hibridno topologijo s sklopljeno dušilko in dvojevnim polmostičnim pretvornikom. Prednost tovrstnega filtra se kaže v razmejitvi slabljenja v nizkofrekvenčnem in visokofrekvenčnem pasu delovanja.

Za podjetje Iskra TELA (zdaj Iskra Sistemi) smo opravili strojno in programsko prenovno merilnikov magnetnih lastnosti tračnih jeder MDK500/15 in MDK1000, ki sedaj omogočata avtomatsko vključitev merjenca v merilni tokokrog. Na ta način se je znatno povečala zmožljivost končne kontrole kvalitete tračnih jeder.

Skupaj s slovenskim podjetjem ISKRA Ames si smo razvili in izdelali tokovni vir za umerjanje kompenziranih merilnikov toka. Generator (od 45 Hz do 6 kHz) sloni na uporabi hibridnega ojačevalnika s krmiljenim virom napajalne napetosti. Vir odlikuje tudi inovativna zasnova vpenjalnega tokokroga, v katerega se namesti testirani merilnik toka.

Zasnovali in zgradili smo tudi laboratorijski demonstracijski sistem za izkoriščanje energije vetra, ki ga sestavljajo vektorsko regulirani asinhronski motor, sinhronski generator za pretvorbo energije vetra v električno energijo in razsmernik s funkcijo sledenja točke maksimalne moči, ki električno energijo posreduje v omrežje. Sistem omogoča priključitev različnih tipov električnih generatorjev in na ta način študij različnih krmilno-regulacijskih algoritmov za vodenje vetrne elektrarne.

Kratki stiki v vzbujalnem navitju sinhronskih generatorjev (SG) povzročajo motnje v delovanju SG, ki zmanjšujejo obremenljivost in zanesljivost obratovanja. Za preprečitev takšnih okvar smo razvili sistem za spremljanje stanja in diagnostiko SG v realnem času, ki z analizo ustreznih parametrov vrednoti trenutno stanje in ga primerja s pričakovanim. Na takšen način lahko v realnem času detektiramo porajajoče se kratke stike v vzbujalnem navitju že v zelo zgodnji fazi nastanka, ko še ne povzročajo motenj v obratovanju. Sistem je v celoti operativen in instaliran v dveh slovenskih elektrarnah.

Izrabo obnovljivih virov lahko povečamo z izkoriščanjem hidroenergetskega potenciala vodotokov z izredno nizkimi padci. Razvili smo računalniški model male hidroelektrarne na reki Kolpi, ki omogoča oceno optimalnega področja izrabe hidroenergetskega potenciala z novimi tehnologijami in proizvodnje električne energije ter prihodke.

Področje delovanja skupine je tudi diagnosticiranje napak v elektromotorskih pogonih, natančneje zloma rotorskih palic v asinhronskem motorju. V tem okviru smo zasnovali nove diagnostične metode, ki so naravnane k uporabi v sodobnih zaprtozančnih pogonih.

Raziskali smo uporabnost, proces izdelave in možne aplikacije mehkomagnetnih kompozitov pri gradnji električnih strojev. Pri izdelavi testnih kompozitnih jeder smo uporabili lastne surovine kot tudi tiste, ki so komercialno dosegljive, predvsem za izdelavo komponent za električne stroje zelo visokih gostot moči z geometrijsko miniaturizacijo celotnega električnega stroja. Na podlagi analize s tridimenzionalno metodo končnih elementov smo oblikovali in optimirali električni stroj s prečnim magnetnim pretokom. Stroj iz mehkomagnetnega kompozitnega materiala je enostavnejši za proizvodnjo. V sodelovanju z industrijo smo oblikovali in izdelali orodja za serijsko proizvodnjo motorja s prečnim magnetnim pretokom. V okviru raziskav mehkomagnetnih kompozitnih materialov smo na podlagi naravnih elektromagnetnih zakonitosti razvili matematični histerezni model materiala.

Za potrebe razvoja hitro tekočih električnih strojev smo vpeljali sklopitev dvodimenzionalne metode končnih elementov in genetskih algoritmov. V tem okviru smo tudi razvili programsko opremo za optimizacijo in načrtovanja energetske varčnih električnih strojev.

Opravljen je bila študija vodenja preklopnega reluktančnega (PR) generatorja na podlagi zgrajenega simulacijskega in realnega modela generatorja ter pretvornika. Rezultat raziskave je nova metoda vodenja PR generatorja, ki izboljšuje izkoristek pretvorbe energije in zmanjšuje hrup pri nižjih vrtilnih hitrostih stroja.

Raziskali smo vpliv izdelavnih netočnosti pri serijski proizvodnji sinhronskih motorjev za avtomobilске aplikacije in predlagali ukrepe za zmanjšanje števila izmeta zaradi prevelikega samodržnega vrtilnega momenta, katerega nivo je eden ključnih kriterijev kvalitete motorja.

Na področju energetskih transformatorjev smo razvili nov vezni model transformatorja za določanje poteka udarne napetosti vzdolž navitij. Na podlagi modela je omogočena določitev

zaščitnih elementov transformatorja pred škodljivimi prenapetostmi (udar strele in stikalni manevri). Za evropsko razstavo Fusion Expo, ki jo financira Evropska komisija, smo razvili eksponat Kolo elektrarna. Eksponat gostuje po vseh evropskih prestolnicah.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

V času izvajanja programa smo povečali obseg aktivnosti na področju sistemov močnostne elektronike. Opravljenih je bilo tudi več raziskav za naročnike iz industrije. Rezultati so vidni v obliki delujočih prototipov, simulacijskih modelov, nekateri projekti pa so še v zgodnejši fazi razvoja.

Ocenjujemo, da smo na podlagi analize s tridimenzionalno metodo končnih elementov oblikovali in optimirali električni stroj s prečnim magnetnim pretokom, ki zadovoljuje postavljene zahteve tako proizvajalca kot tudi potencialnega kupca. Oblikovali smo tudi orodja za serijsko proizvodnjo motorja s prečnim magnetnim pretokom iz mehko-magnetnega kompozitnega materiala. S temi orodji so izdelani prvi prototipi.

Dognanja v okviru raziskav so v Nemčiji patentno zaščitena s strani slovenskega podjetja Kolektor Group. V okviru raziskav mehkomagnetnih kompozitnih materialov smo razvili tudi matematični histerezni model, ki opisuje material.

Na področje optimizacije hitro tekočih električnih strojev smo vpeljali sklopitev dvodimenzionalne metode končnih elementov in genetskih algoritmov. Razvito računalniško orodje nam služi za nadaljnji razvoj energetsko varčnih električnih strojev.

Na področju diagnostike sinhronskih generatorjev smo v celoti izpolnili in presegle načrtovani obseg raziskav in praktične realizacije prototipnega avtomatiziranega sistema, ki že obratujeta v praksi in v realnem času nadzorujeta delovanje hidro in turbo generatorja.

Opravljen so bile analize, izdelana sta bila prototipa elektrolizne in gorivne celice, ki sta ključna za izvedbo sistema. Zaradi upokojitve dveh članov programske skupine smo v letu 2012 ustavili nadaljnje aktivnosti. Namesto tega smo raziskave in aktivnosti članov usmerili v izdelavo demonstracijskega modela vetrne elektrarne, kjer smo večji poudarek namenili sistemom močnostne elektronike.

Najavljene raziskave za avtomatizacijo procesa krivljenja žice smo izpolnili le delno, ker se je ob zamenjavi lastniške strukture industrijskega partnerja spremenila njihova razvojna strategija, kar smo pojasnili že v letnih poročilih. Raziskovalne ure smo preusmerili na področje obnovljivih virov energije in sicer z raziskovanjem možnosti izrabe hidroenergetskega potenciala vodotokov z izredno nizkimi padci.

V času najave vsebin predlaganega raziskovalnega programa je bil s strani Slovenskih železnic izražen interes po raziskavi in razvoju nizkonapetostnih zaščitnih naprav na 3 kV sistemih. Raziskave niso bile realizirane zaradi spremenjenih prioritet s strani SŽ. To temo smo nadomestili z raziskavami na področju študija vpliva toleranc in netočnosti v velikoserijski proizvodnji sinhronskih motorjev s trajnimi magneti na nivo samodržnega vrtilnega momenta.

V okviru zmanjšane obsega financiranja glede na prijavljene vsebine smatramo, da smo zastavljene cilje dosegli, v določenih delih pa celo presegle.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine⁴

V letu 2013 ni bilo sprememb v obsegu in vsebini raziskovalnih del. Ostale spremembe v prejšnjih letih so navedene v točki 4.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID 7112020 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO Prediktivna neposredna regulacija izmeničnih pogonov in aktivnih močnostnih filtrov
	ANG Predictive direct control applied to AC drives and active power filter
	Sodobni procesni računalniki omogočajo hitro obdelavo podatkov v realnem času. S tem je omogočena uporaba prediktivnih metod pri modulaciji in

	Opis	SLO	<p>regulaciji v aplikacijah močnostne elektronike (aktivni močnostni filtri, elektromotorski pogoni). Prediktivnost se kaže v predvidevanju izhodnih veličin (toka ali napetosti) na koncu vzorčnega časa, ki je reda velikosti nekaj deset mikrosekund. Avtorji so razvili originalno metodo prediktivne regulacije, ki omogoča popolni nadzor nad pretvorniškimi količinami. Odvisno od specifične aplikacije, so metode imenovane neposredna regulacija toka (DCC), neposredna regulacija fluksa (IFC) ter prediktivna regulacija navora (PTC). Poglavitna prednost vseh metod je v popolnem nadzoru nad krmiljenimi veličinami ob bistveno zmanjšanih preklopnih izgubah ter izjemni dinamiki v primerjavi s tradicionalnimi pristopi. Algoritmi so bili uspešno preizkušeni na zelo heterogenih končnih aplikacijah (aktivni močnostni filtri, regulirani pogoni s sinhronskimi in asinhronskimi motorji), kar kaže na univerzalnost predlaganega pristopa ob ohranjanju zgoraj omenjenih prednosti.</p>
		ANG	<p>Modern microprocessors used for process control enable fast real-time computation. Therefore, an application of predictive methods in modulation and control in power electronics (active power filters, electrical drives), is possible. The predictivity shows itself in anticipation of output variables (currents or voltages) at the end of sampling interval, the latter being in order of some tens of microseconds. The submitter of the project proposal and his team have developed an original method for predictive control that enables complete monitoring over inverters' variables. Depending on the specific application, the methods have been named direct current control (DCC), immediate flux control (IFC) and predictive torque control (PTC). The main advantage of these approaches is complete control over variables at considerably reduced switching losses and exceptional dynamics compared to the traditional approaches. The algorithms have been tested on various heterogeneous final applications (active power filters, synchronous and induction motor drives), which indicates the versatility of the method while conserving the above mentioned advantages.</p>
	Objavljeno v	<p>Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2009; Vol. 56, no. 6; str. 1884-1893; Impact Factor: 4.678; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.249; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Drobnič Klemen, Nemec Mitja, Nedeljković David, Ambrožič Vanja</p>	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	7819604	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Detekcija zloma rotorskih palic asinhronskega motorja s pomočjo analize modulacije napajalne napetosti
		ANG	Detection of broken bars in induction motor through the analysis of supply voltage modulation
	Opis	SLO	<p>Diagnostika okvar električnih strojev med obratovanjem v postroju je v zadnjih letih doživela velik zagon. Njen cilj je ugotavljanje različnih tipov okvar v zgodnji fazi, s čemer se prepreči radikalna okvara pogona ter omogoči planiranje remonta. Trenutno uveljavljeni postopki največkrat zahtevajo drago opremo in zapletene postopke za ugotavljanje okvar. Metoda, objavljena v tem članku, je namenjena zgodnjemu odkrivanju zloma rotorskih palic v asinhronskem motorju. Pri tem postopku dodatna oprema ni potrebna, razen relativno enostavnega in hitrega algoritma, ki teče vzporedno s programom za regulacijo pogona in se lahko vstavi v obstoječe mikroprocesorsko vezje. Iz meritve napetosti prek že vgrajenih sond ugotovimo srednjo vrednost odstopanja napetosti zaradi zloma palic. Podatek je diagnostični indeks, ki kaže na število zlomljenih palic oziroma na stopnjo poškodbe.</p>
			<p>In recent years, fault diagnosis of electrical machines during their operation in a plant has gained a noticeable momentum. Its goal is to detect various</p>

		ANG	types of faults at an early stage, thus preventing radical breakdown and enabling planning of a repair. In most cases, contemporary methods require expensive equipment and complicated procedures for detecting the faults. The method, presented in this paper, is intended for an early detection of broken rotor bars in induction motors. With this procedure, no additional hardware is necessary, except for a simple and fast algorithm that can run in parallel with an existing control program and can be implemented in an already present microprocessor circuitry. From voltage measurement through existing voltage probes, an average deviation from normal values, can be determined. This data serves as a diagnostic index that depends on the number of broken bars, i.e. the degree of the fault.
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2010; Vol. 57, no. 8; str. 2879-2888; Impact Factor: 3.439; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.081; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Nemeč Mitja, Drobnič Klemen, Nedeljković David, Fišer Rastko, Ambrožič Vanja
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	7253844	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Neposredna tokovna regulacija sinhronskega motorja v koordinatah polja
		ANG	Direct current control of a synchronous machine in field coordinates
	Opis	SLO	Sinhronski motorji postopoma nadomeščajo do sedaj uveljavljene asinhronske in enosmerne stroje v zahtevnih aplikacijah s servo pogoni. Na tem področju sta se doslej uveljavila dva pristopa: metoda regulacije izmeničnih motorjev s pomočjo orientacije polja (FOC) ter neposredno krmiljenje navora (DTC). Prva metoda omogoča zanesljivo vodenje, druga pa predvsem izredno dinamiko, hkrati pa obe metodi izkazujeta določene pomanjkljivosti: FOC je relativno zapletena in vsebuje inherentne zakasnitve, DTC pa zaznamuje visoko valovanje navora. Metoda, predlagana v pričujočem članku, uporablja prednosti FOC, saj se veličine transformirajo v koordinatni sistem polja, po drugi strani pa namesto modulacije prostorskega vektorja napetosti (SVM) uporablja metodo neposredne regulacije toka, razvite s strani avtorjev. Predstavljeni rezultati na laboratorijskem modelu sinhronskega motorja kažejo na zelo dobre dinamične lastnosti pogona ob zmanjšanju preklonih izgub celotnega pogona.
		ANG	Synchronous motors are gradually replacing induction and DC motors in demanding applications with servo drives. In the area of control of AC machines, two methods have established themselves: field orientation control (FOC) and direct torque control (DTC). The first one enables reliable control, whilst the second offers better dynamics. At the same time, both methods exhibit some drawbacks: FOC is relatively complicated and contain inherent delays, while DTC is characterized by high torque ripple. The proposed method uses advantages of FOC, since the variables are transformed into field coordinates. On the other side, instead of using space vector modulation (SVM) it implements original method, named direct current control (DCC). The presented results obtained on a laboratory model of a synchronous motor show very good dynamic performance while reducing the switching losses.
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2009; Vol. 56, no. 10; str. 4052-4061; Impact Factor: 4.678; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.249; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Nemeč Mitja, Drobnič Klemen, Nedeljković David, Ambrožič Vanja
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	7554388	Vir: COBISS.SI

	Naslov	<i>SLO</i>	Hibridni filter-studija
		<i>ANG</i>	A study of a hybrid filter
	Opis	<i>SLO</i>	Hibridni filter na osnovi sklopljene dušilke za vgradnjo v enosmerne napajalne vire za zmanjšanje motilnih, visokofrekvenčnih komponent toka. Članek podaja analizo dveh izvedb hibridnih filtrov, ki ju lahko uporabimo v poljubnem enosmernem napajalnem viru. Študija zajema obravnavo pasivnega filtra na osnovi sklopljene dušilke in njeno nadgradnjo z aktivnim močnostnim pretvornikom, ki izboljša slabljenje v nizkofrekvenčnem področju (15 dB) ter zmanjša energijski presežek ali primanjkljaj, ki nastopa ob visoko dinamičnem pretoku moči med napetostnim virom in bremenom.
		<i>ANG</i>	This paper presents results of a comparative study of two possible hybrid filter topologies, comprised of a passive and active stage, which can be implemented in any general dc supply distribution system. The active stage is incorporated into the passive part in order to: 1) improve its insufficient attenuation in the low-frequency range and 2) source or sink any surplus energy flow between the dc source and load in case of low frequency current dynamics. In the low-frequency range nearly for 15 dB higher attenuation compared to the passive filter is achieved.
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2010; Vol. 57, no. 3; str. 935-942; Impact Factor: 3.439; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.081; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Ostrožnik Simon, Bajec Primož, Zajec Peter
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	9305684	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Porazdelitev toka v nizko napetostnem navitju obločnega transformatorja
		<i>ANG</i>	Current distribution in the low-voltage winding of the furnace transformer
	Opis	<i>SLO</i>	V delu avtorja predstavita raziskavo na področju obločnih transformatorjev. Predstavita nov matematični model za izračun porazdelitve toka vzdolž nizkonapetostnih navitij obločnega transformatorja. Metoda je izpeljana iz porazdelitve stresanega magnetnega polja na podlagi minimuma magnetne energije. Sama energija pa je izračunana z uporabo teorema minimalne jalove moči v transformatorskem oknu. Poznavanje porazdelitve toka v nizkonapetostnih tuljavah je zelo pomembno in uporabno pri oblikovanju hladilnega sistema transformatorja.
		<i>ANG</i>	The paper describes a mathematical model to be used in calculating the current distribution among the coils in the low-voltage winding of the furnace transformer. The method is derived from the leakage magnetic-field distribution in the transformer based on the minimum magnetic-field energy. The energy is calculated by using the principle of the minimum reactive power in the transformer window. The results are validated by finite-element model. The knowledge of the proper current distribution is very useful in designing the furnace-transformer cooling system to avoid local overheating.
	Objavljeno v		Butterworth Scientific; International journal of electrical power & energy systems; 2012; Vol. 43, no. 1; str. 1251-1258; Impact Factor: 3.432; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.38; A': 1; WoS: IQ; Avtorji / Authors: Stojčić Bojan, Miljavec Damijan
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

--	--

Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	Mednarodna IEEE konferenca "Compatibility and Power Electronics" - CPE 2013
	ANG	International IEEE konferenca "Compatibility and Power Electronics" - CPE 2013
Opis	SLO	Člani programske skupine so organizirali mednarodno konferenco Compatibility and Power electronics, ki jo je podprlo Društvo za industrijsko elektroniko (Industrial Electronic Society), del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), največje svetovne organizacije inženirjev. V. Ambrožič je predsedoval konferenci, ostali člani programske skupine (D. Nedeljković, R. Fišer, M. Nemec, P. Zajec, K. Drobnič in H. Lavrič) pa so sodelovali kot člani organizacijskega in izvršnega odbora. Konferenci je prisostvovalo več kot osemdeset udeležencev iz trinajstih držav. Na konferenci je bilo predstavljenih 65 prispevkov, predavali pa so tudi trije vabljeni predavatelji: dva svetovno znana profesorja (prof. Buja, Univerza v Padovi, Italija ter prof. Couto, Univerza Minho, Portugalska) in predstavnik slovenske industrije (dr. Bajec, Hidria).
	ANG	Members of the research group have organized the international conference Compatibility and Power electronics, technically supported by Industrial Electronic Society, a part of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). V. Ambrožič has chaired the conference, while other members of the research group (D. Nedeljković, R. Fišer, M. Nemec, P. Zajec, K. Drobnič and H. Lavrič) have been involved as members of the organizing and executive committee. More than 80 participants from 13 countries have attended the conference. Apart from 65 presentations, three invited speakers have lectured: two worldly renowned professors (prof. Buja, University of Padova, Italy and prof. Couto, University of Minho, Portugal) and a representative of Slovenian industry (dr. Bajec, Hidria).
Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja	
Objavljeno v	http://cpe2013.fe.uni-lj.si	
Tipologija	3.13 Organiziranje znanstvenih in strokovnih sestankov	
2.	COBISS ID	9274708 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Prediktivna regulacija električnih pogonov
	ANG	Predictive control of electrical drives
Opis	SLO	Prof. Ambrožič je na letnem srečanju italijanskega Združenja raziskovalcev na področju pretvorniške tehnike, električnih strojev in pogonov imel vabljeno predavanje iz področja Prediktivnih regulacij v močnostni elektroniki in električnih pogonih. Prof. Ambrožič in sodelavci iz programske raziskovalne skupine so med pionirji te veje regulacij naprav močnostne elektronike. Skupina je med prvimi na svetu objavila svoj pristop k omenjeni problematiki. Poleg zgodovine razvoja tega področja, je prof. Ambrožič predstavil aktualne trende ter delo svoje skupine na tej tematiki.
	ANG	Prof. Ambrožič has had an invited lecture on predictive control in power electronics and drives on an annual gathering of Italian Association of researchers in electrical converters, machines and drives. Prof. Ambrožič and his collaborators from the scientific group are among the pioneers of this branch of control of power electronics devices. The group has published their approach to this topic among the first in the world. Apart from the history of evolution of this field, prof. Ambrožič has presented current trends and work of his group in this area.
Šifra	B.04 Vabljeno predavanje	
	CMAEL 2012 - Riunione Annuale, Associazione Italiana dei ricercatori in	

	Objavljeno v	convertitori, macchine e azionamenti elettrici; 2012; Avtorji / Authors: Ambrožič Vanja	
	Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa	
3.	COBISS ID	241151232	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vezna teorija električnih strojev
		ANG	Circuit theory of electric machines
	Opis	SLO	Knjiga obravnava lastnosti električnih strojev v ustaljenih in spremenljivih pogojih obratovanja. Najprimernejše raziskovalno orodje predstavljeno v knjigi je teorija vezij. Električni stroj je predstavljen samo z elementi vezja kot so; upornosti, lastne in medsebojne induktivnosti ter morebitne kapacitivnosti. Teorija vezij s svojim matematičnim aparatom postane tako osnovno orodje za obravnavo lastnosti električnih strojev. Vsebina knjige obravnava štiri vrste električnih strojev: transformatorje, komutatorske stroje, sinhronske stroje in asinhronske stroje. Knjiga vsebuje osnovne principe uporabe teorije vezij na električnih strojih. Obravnavane so transformacije spremenljivk, ki jih omogoča in ponuja teorija vezij. In to je prav tista prednost, ki je pripomogla k široki uporabi teorije vezij v električnih strojih.
		ANG	The book covers the electric machines in steady and variable operating conditions. The preferred research tool presented in the book is the circuit theory. An electrical machine is presented only with circuit elements; resistance, inductances and mutual inductances and optionally with capacitance. Circuit theory with its mathematical apparatus becomes the basic tool for the modeling of electric machines. Content of the book deals with four types of electrical machines: transformers, DC machines, synchronous machines and induction machines. The book contains the basic principles of the circuits theory applied in electric machines and it deals with the transformation of variables. This is the main advantage that has contributed to the widespread use of the circuit theory in the field of electrical machines.
	Šifra	D.10 Pedagoško delo	
	Objavljeno v	Fakulteta za elektrotehniko; 2009; VIII, 384 str.; Avtorji / Authors: Jereb Peter, Miljavec Damijan	
	Tipologija	2.03 Univerzitetni, visokošolski ali višješolski učbenik z recenzijo	
4.	COBISS ID	9818196	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Električni stroj s krempljasto oblikovanimi poli
		ANG	Dynamoelctrische Maschine der Klauenpolbauart
	Opis	SLO	Predlagani izum se nanaša na električni stroj s krempljastimi poli. Stroji s krempljastimi poli so znani v raznih izvedbah. Patent rešuje problem elektronske komutacije, trajnostno in zanesljivo obratovanje, nizke stroške vzdrževanja in izdelave ter primernost za uporabo v s hrupom občutljivih okoljih. Ob enem pa stroj s krempljastimi poli, zlasti v izvedbi z zunanjim rotorjem, razvija tudi razmeroma visok vrtilni moment. Predlagani izum se prav tako nanaša na oblikovanje statorja in rotorja električnega stroja. Ta obsega oblikovanje pola statorja v smeri boljšega delovanja, zlasti v smislu izkoristka in učinkovitosti proizvodnega procesa.
		ANG	The presented invention refers to the electric machine with claw poles. Machines with claw poles are known in various versions. Patent solves the problem of electronic commutation, sustainable and reliable operation, low maintenance and manufacturing costs and suitability for use in noise-sensitive environments. At the same time, a machine with claw poles, especially the version with external rotor develops a relatively high torque. The presented invention also relates to the design of the stator and rotor electric machine. This envisages the design of the stator poles in the

		direction of a better performance, in particular in terms of energy efficiency and the yield of manufacturing process.
Šifra	F.32	Mednarodni patent
Objavljeno v	Deutsches Patent- und Markenamt; 2012; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Kumar Ludvik, Miljavec Damijan	
Tipologija	2.24	Patent
5.	COBISS ID	8593748 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Projekt izvedbe diagnostičnega sistema kratkih stikov v vzbujalnem navitju sinhronskih generatorjev - III. faza
	ANG	Realization and installation of diagnostic system for detecting short-circuits in excitation winding of synchronous generators – III.phase
Opis	SLO	V okviru projekta je zasnovana, realizirana in v realnem industrijskem okolju aplicirana specifična strojna in programska oprema sistema za on-line spremljanje stanja vzbujalnih navitij turbo in hidro sinhronskih generatorjev, ki omogoča pravočasno detekcijo in diagnostiko morebitnih kratkih stikov. Na osnovi avtomatiziranega vrednotenja signalov iz magnetnih sond nameščenih v zračni reži je podana ocena o simetričnosti magnetenja generatorja in iz morebitnih odstopanj izhajajočih nepravilnosti v vzbujalnem navitju. Koncept strojne in programske zasnove diagnostičnega sistema omogoča nadgradnjo in razširitev detekcije in diagnostike tudi na druge možne okvare sinhronskih generatorjev.
	ANG	The project comprises of design, realization and implementation of hardware and software solutions of diagnostic system for on-line detection of short-circuits in excitation windings of hydro and turbo synchronous generators. It evaluates the signals from flux probes installed in the air-gap and detects possible asymmetries in magnetic field which are characteristic for faults in excitation windings. The concept of diagnostic system design enables its upgrade and expansion also for other possible faults of synchronous generators.
Šifra	F.06	Razvoj novega izdelka
Objavljeno v	ELEK; 2011; IX, 60 f.; Avtorji / Authors: Bugeza Miroslav, Košnjek Zvonko, Sirk Anton, Kragelj Andraž, Kopše Damijan, Makuc Danilo, Lavrič Henrik, Miljavec Damijan, Fišer Rastko	
Tipologija	2.13	Elaborat, predštudija, študija

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine^Z

V okviru seminarja, ki ga je organiziralo podjetje Kolektor Etra v letu 2013, je bil predstavljen prispevek z naslovom Numerični 2D in 3D izračun dodatnih izgub v navitjih transformatorja.

Predstavljen je bil postopek izračuna dodatnih vrtničnih izgub v navitjih transformatorja s pomočjo modernih programskih orodij. Le-ta omogočajo projektantu natančnejšo oceno izgub izgotovljenega transformatorja in s tem večjo optimizacijo konstrukcije.

Za podjetje Kolektor Etra smo opravili raziskavo o možnosti dušenja višjiharmonskih komponent napetosti pri sinhronskih generatorjih za preizkušanje energetskih transformatorjev. Izbrana rešitev temelji na uporabi treh enofaznih serijskih aktivnih filtrov, ki so preko vmesnih transformatorjev vezani zaporedno s faznimi navitji sinhronskega generatorja. Prednost predlagane metode je uporaba nizkonapetostnih komponent, saj je posamezni aktivni filter v sistem priključen na strani skupne nevtralne točke trifaznega navitja generatorja. Rešitev je primerna tudi za visokonapetostne generatorje. Zahvaljujoč zelo obetavnim eksperimentalnim rezultatom na dveh generatorjih različnih nazivnih napetosti in moči je predlagana zasnova nadvse primerna za uporabo v različnih visokonapetostnih aplikacijah, kjer je zahtevano majhno harmonsko popačenje izhodne napetosti.

Razvita je bila nova metoda vodenja preklopnega reluktančnega generatorja, ki omogoča zmanjšanje hrupnosti in zvišanja izkoristka stroja. Slednje je pomembno predvsem pri uporabi omenjenega tipa generatorja v vetrnih elektrarnah in mobilnih aplikacijah. Zaključki študije hibridnega filtra podajajo pregled dveh najprimernejših topologij za enosmerne napajalne sisteme. Zajema poglobljeno obravnavo pasivnega filtra na osnovi sklopljene dušilke in njeno nadgradnjo z aktivnim močnostnim pretvornikom, ki poveča slabljenje v nizkofrekvenčnem področju za 15 dB na način zmanjšanja energijskega neravnovesja, ki nastopa ob visokodinamičnem pretoku moči med napetostnim virom in bremenom.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Opravljen raziskava o možnosti dušenja višjeharmonskih komponent napetosti pri sinhronskih generatorjih za preizkušanje energetskih transformatorjev je kot rezultat podala nov pristop na področju visokonapetostne tehnike. Posebna prednost predlagane metode je uporaba nizkonapetostnih komponent, saj je posamezni aktivni filter v sistem priključen na strani skupne nevtralne točke trifaznega navitja generatorja.

Razvita je bila nova metoda vodenja preklopnega reluktančnega generatorja, ki omogoča zmanjšanje hrupnosti in zvišanje izkoristka stroja. Slednje je pomembno predvsem pri uporabi omenjenega tipa generatorja v vetrnih elektrarnah in mobilnih aplikacijah.

Študija hibridnega filtra je bila zasnovana kot študija izvedljivosti kompaktnega filtra za enosmerne napajalne tokokroge, ki se je končala s poglobljenim pregledom dveh najprimernejših topologij in izgradnjo treh različnih prototipnih izdelkov. Predlagana rešitev filtra poveča slabljenje v nizkofrekvenčnem področju za 15 dB na način zmanjšanja energijskega neravnovesja, ki nastopa ob visokodinamičnem pretoku moči med napetostnim virom in bremenom. S tem se frekvenčna meja pasivnega filtra zviša, ob hkratnem zmanjšanju zunanjih dimenzij pasivnih komponent, ki pretežno zavise od sklopljene dušilke.

Za vodilnega proizvajalca industrijskih merilnikov toka in napetosti MBS-AG (Nemčija) smo zasnovali in izdelali prototipni precizijski tokovni vir za umerjanje kompenziranih merilnikov toka. Tehnična zasnova izstopa zaradi uporabe hibridnega ojačevalnika, ki združuje pozitivne lastnosti stikalnega (visok energijski izkoristek) in linearne ojačevalnik (majhno popačenje), ter na uporabi krmiljenega vira napajalne napetosti. Zaradi visokih zahtev glede doseganja točnosti in ponovljivosti meritev je bila posebna pozornost namenjena inovativni zasnovi vpenjalnega tokokroga.

S teoretično raziskavo uporabnosti in z razvojem procesa izdelave mehkomagnetnih kompozitnih materialov smo postavili nove mejnike v oblikovanju tridimenzionalnih struktur kot gradnikov električnih strojev. Na podlagi analize z metodo končnih elementov smo oblikovali in optimirali strukturo električnega stroja s tridimenzionalno vodljivim magnetnim pretokom. V okviru raziskav mehkomagnetnih kompozitnih materialov smo na podlagi naravnih elektromagnetnih zakonitosti razvili matematični histerezni model materiala, ki nam omogoča boljše razumevanje elektromagnetnega dogajanja tako na mikroskopskem kot tudi na makroskopskem nivoju.

V raziskavi vpliva izdelavnih netočnosti pri velikoserijski proizvodnji sinhronskih motorjev s trajnimi magneti na nivo samodržnega vrtilnega momenta smo razvili nov teoretičen pristop, s katerim natančno določimo vsebnost in nivoje dodatnih harmonskih komponent vrtilnega momenta, ki jih idealno izdelan motor ne vsebuje. Na ta način lahko definiramo tolerančne meje dovoljenih odstopanj dimenzij trajnih magnetov, da ostane delež izmeta pri izdelavi motorja na najnižjem nivoju.

Pri raziskavah na področju diagnostike rotacijskih električnih strojev smo razvili nove pristope k zgodnji detekciji okvar, ki zagotavljajo neprekinjen avtomatiziran nadzor stanja tekom celotne življenjske dobe stroja. Pri sinhronskih generatorjih smo poglobljeno obravnavali kratke stike v

vzbujalnih navitjih, pri asinhronskih motorjih pa okvare rotorske kratkostične kletke, ki jih je posebej v sodobnih zaprtotlačnih pogonih težko detektirati. Razviti simulacijski model male hidroelektrarne z nizkim padcem omogoča poglobljene raziskave delovanja posameznih sklopov in znanstveno utemeljeno izbiro optimalni komponent za konkretno lokacijo ob upoštevanju realnih hidroloških podatkov.

ANG

Research study on possibilities for reduction of higher harmonics in the output voltage of synchronous generators that are used for power transformers testing resulted in a new approach in the field of high-voltage technology. A particular advantage of the proposed method is the use of low-voltage components, since the active filter is inserted close to the neutral point of the three-phase windings of the generator.

A new control method that enables noise reduction and overall system efficiency increase for switched reluctance generators (SRG) was developed. This is of great importance when SRG is used in wind power stations and mobile applications.

The study of the hybrid filter has been designed as a feasibility study of a compact filter for DC power supply systems, which ended with in-depth review of the two most suitable topologies and with three different prototypes build. The proposed solution increases the filter attenuation in the low-frequency range for 15 dB by reducing the energy imbalance that occurs in power flow between the voltage source and the load at high dynamics.

For a leading manufacturer of industrial current and voltage meters MBS-AG (Germany), we carried out R&D on a prototype of precision current source for calibration of compensated current meters. It is based on the performance of the hybrid amplifier, which successfully combines the features (efficiency and low distortion) of commercially available linear power amplifier and specifically developed switching power converter - amplifier. Due to high requirements in terms of achieving the accuracy and repeatability of measurements, a special attention was paid to the innovative design of the clamping joke.

Based on the theoretical study of usability and the development of the manufacturing process using soft magnetic composite materials, we have set a new milestone in the creation of three-dimensional structures as building blocks of electrical machines. Based on the finite element analysis, we designed and optimized the structure of an electric machine with three-dimensionally guided magnetic flux. Within the research of soft magnetic composite materials we developed a mathematical hysteresis model which allows us to better understand the electromagnetic phenomena at both microscopic as well as macroscopic level.

Influence of manufacturing imperfections in the process of mass production of permanent magnet synchronous motors on the level of cogging torque was investigated and a new approach for determination of additional harmonic components in torque spectrum which are not present in the case of a perfect manufactured motor was developed and proposed. This enables the precise definition of tolerances for permanent magnets' anomalies so that the amount of motors exceeding the required cogging torque is successfully minimized. Research in the field of rotating electrical machines diagnostics have resulted in new methods of early detection of faults, which enable automated online supervision during the lifetime period of machine operation. For synchronous generators a precise analysis of short circuits in excitation windings was carried out, whereas in case of induction motors we focused on rotor cage faults, which are difficult to detect at an early stage of propagation, especially in sophisticated closed loop drives.

To enable a detailed insight in the energy capacity of the planned small hydropower plant we developed an innovative computer model. It takes into account hydrological data, technical characteristics, optimization algorithm for water-flow distribution between two turbines and finally restrictions imposed in water-flow utilization in order to ensure a modified environmental flow, or in an extreme case, standstill at the time of high waters. The model enables the determination of optimal area of the hydro power potential, and consequently the optimal plant capacity.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati raziskovalnega dela programske skupine so tudi prototipi naprav, nove metode vodenja naprav s področja mehatronike, izboljšave izdelavnih postopkov in izvedbene študije. Večina dela je bila opravljena v sodelovanju s slovenskimi podjetji, ki imajo cilj ohraniti oz. izboljšati svoj položaj na svetovnem trgu. Tu bi izpostavili predvsem podjetja, ki dobavljajo tudi zahtevnejše sklope za avtomobilsko industrijo.

V sodelovanju z industrijo smo oblikovali in izdelali orodja za serijsko proizvodnjo električnega stroja s tridimenzionalno vodljivim magnetnim pretokom. Orodja omogočajo izdelavo električnih strojev zelo visokih gostot navora z geometrijsko miniaturizacijo celotne strukture stroja. Pri izdelavi testnih mehkomagnetnih kompozitnih jeder smo uporabili lastne surovine kot tudi tiste, ki so komercialno dosegljive. Stroj iz mehkomagnetnega kompozitnega materiala je enostavnejši za proizvodnjo in je v podjetju Kolektor že pripravljen do faze trženja.

Predlagani pristop pri odpravi višjih harmonskih komponent v izhodni napetosti sinhronskih generatorjev je bil razvit v sodelovanju s ključnim proizvajalcem energetskih transformatorjev v Sloveniji. Glede na obetavne rezultate testiranj bi vpeljava rešitve v proizvodni proces podjetja predstavljala precejšnjo konkurenčno prednost pred ostalimi proizvajalci na svetovnem trgu.

Opravljeno raziskovalno delo na področju izboljšav postopka merjenja magnetnih lastnosti mehkomagnetnih materialov omogoča industrijskemu partnerju ohranjanje in pridobivanje novih poslov doma in v tujini.

Na področju energetskih transformatorjev smo razvili nov vezni model transformatorja za določanje poteka udarne napetosti vzdolž navitij. Na podlagi modela je omogočena določitev zaščitnih elementov transformatorja pred škodljivimi prenapetostmi (udar strele in stikalni manevri). S tem je zaščita energetskega transformatorja zanesljivejša in stroškovno optimalna.

Nov pristop analize samodržnega vrtilnega momenta je v celoti prenešen v industrijsko prakso slovenskega proizvajalca električnih komponent za avtomobilsko industrijo. Izsledki raziskave so občutno povečali kvaliteto izdelave motorjev in s tem konkurenčnost podjetja na svetovnem trgu.

Razviti diagnostični sistemi za nadzor stanja sinhronskih generatorjev in asinhronskih motorjev so instalirani v termo in hidro energetskih objektih v Sloveniji in skrbijo za nemoteno obratovanje pomembnih komponent v sklopu elektrarn.

V Sloveniji je do sedaj veljalo, da izkoriščanje hidro potenciala pri ekstremno nizkih padcih ni rentabilno. Z raziskavo in razvitim simulacijskim modelom smo dokazali, da je z uporabo sodobne tehnologije (Arhimedova turbina, pretvorniško voden asinhronski generator) tudi na takšnih rekah možno ekonomsko upravičeno proizvajati električno energijo in to brez poseganja v prostor, saj je energetska izraba vodnega potenciala takšnih vodotokov na lokacijah opuščanih mlinov.

ANG

The results of the research programme group are also prototypes of new devices, new control methods for devices in the field of mechatronics, improvements of manufacturing processes and implementation studies. Most of the work was done in collaboration with Slovenian companies, which have the objective to maintain or to improve their position in the global market. Here, in particular, companies supplying demanding assemblies for the automotive industry are to be exposed.

In the cooperation with Slovenian industry, we designed and developed the tools for serial production of electric machine with three-dimensional guided magnetic flux. These tools enable the production of electrical machines with very high torque density and with miniaturization of its overall size. During the production of soft magnetic composite prototype samples, we used our own raw materials as well as those that are commercially available. Electric machines based on soft magnetic composite material are easier to manufacture and material consumption is lower compared to the classical production. So developed and manufactured electric machine prototypes are brought already to the marketing stages at the Slovenian company Kolektor.

The proposed approach for elimination of higher harmonics in the output voltage of synchronous generators has been developed in collaboration with the key producer of power transformers in Slovenia. Based on promising experimental results, the introduction of the solution into company's production process would represent a significant competitive advantage in the global market.

Our research work in the field of soft-magnetic material measurements resulted in an improved measuring process that was crucial for our industrial partner to preserve and to acquire new clients at home and abroad.

In the area of power transformers, we have developed a new transformer circuit model allowing the determination of surge voltage distribution along the windings. On the basis of the model, the determination of the safety features of the transformer against harmful surges (lightning and switching maneuvers) is enabled. Thus, the protection of power transformer is more reliable and financially more convenient.

New approach to cogging torque analysis is fully used by Slovenian producer of permanent magnet synchronous motors for automotive industry. Research results have increased the quality of mass-produced motors and reduced the percentage of samples which did not fulfill the stringent demands of the market.

Developed diagnostic systems for on-line condition monitoring of synchronous generators and induction motor drives are installed in several thermal and hydro power plants and supervise their operational states in order to prevent unexpected faults during their life time, thus increasing their reliability.

In the past hydro power potential of Slovenian watercourses with ultra-low heads were not exploited for electrical energy production due to insufficient profitability. Research results confirm that by using appropriate modern technology (Archimedes screw and inverter controlled induction generator) such renewable energy potential could be interesting for potential investors.

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2013¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	77
bolonjski program - II. stopnja	0
univerzitetni (stari) program	71

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
29260	Blaž Štibelj	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
27521	Uroš Flisar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29022	Simon Ostrožnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29070	Peter Kosmatin	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29555	Klemen Drobnič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22082	Lovrenc Gašparin	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31585	Bojan Stojčić	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

0	Žgajner Miran	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Tajnikar Uroš	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Sladić Saša	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

- Mag.** - Znanstveni magisterij
Dr. - Doktorat znanosti
MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
29070	Peter Kosmatin	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
29555	Klemen Drobnič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
27521	Uroš Flisar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
29022	Simon Ostrožnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
B - gospodarstvo
C - javna uprava
D - družbene dejavnosti
E - tujina
F - drugo

12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2013

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
29022	Simon Ostrožnik	A -	48	
35808	Andraž Kontarček	A -	34	
32741	Gorazd Gotovac	A -	36	
25604	Janez Leskovec	A -	24	
32845	Gregor Vidmar	A -	21	
0	Lindita Dharmo	C - študent - doktorand	4	
0	Elodie Krummenacker	C - študent - doktorand	3	
0	Thomas Marchand	C - študent - doktorand	3	
0	Robin Dumenil	C - študent - doktorand	3	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
B - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
C - študent - doktorand iz tujine
D - podoktorand iz tujine

13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2013 z vsebinsko obrazložitvijo porabe dodeljenih sredstev iz naslova dodatnega letnega sofinanciranja mednarodnega sodelovanja na podlagi pozivov za EU vpetost.¹⁵

SLO

Vključeni smo v mednarodni projekt evropske skupnosti FP7 z naslovom Asterics (Ageing and efficiency Simulation & TEsting under Real world conditions for Innovative electric vehicle Components and Systems), št. pogodbe 314157. V iniciativi zeleni avtomobil "Green Car Initiative (GCI)", ki je vključena v načrtu Evropske ekonomske rasti je zapisan jasen zahtevek po elektrifikaciji transporta v Evropi. Trenutno je mnogo konceptov popolnih električnih vozil (FEV) in hibridnih električnih vozil (HEV), ki podpirajo to zahtevo po električni mobilnosti. Razvoj in izboljšave različnih konceptov električnih vozil zahtevajo obsežne dejavnosti na področju analize, oblikovanja, implementacije in testiranja. S tem pa povratno vplivamo na izkušnje, kvaliteto rezultatov in znanje vgrajenih v nove generacije električnih vozil. Napredna orodja za modeliranje ter testni postopki potekajo od enodimenzionalnih do tridimenzionalnih pristopov in imajo temeljno vlogo pri optimizaciji razvoja energijskega dimenzioniranja FEV & HEV. Poleg tega so tudi uporabna v določanju strategije upravljanja z energijo v vozilu. Obenem se zmanjša čas razvoja, kot tudi čas za določitev karakteristik za izgradnjo zahtevnih podsistemov in njihovih nadzornih enot. Raziskave na tem projektu so osredotočene na razvoj in preverjanje računalniških orodij za simulacijo, virtualno izdelavo prototipov in naprednih testnih postopkov ter na standardizacijo teh orodij z namenom:

Raziskati rešitve za izboljšanje izkoristka in zmogljivosti bodočih generacij električnih vozil, kot tudi njihovih podsistemov.

Oceniti učinek različnih rešitev podsistemov v oziru na energijski izkoristek in povečano avtonomijo glede na različne vozne cikle. Vozni cikli bodo vključevali tudi omejitve prometa. Preveriti tehnološko izvedljivost in ekonomsko upravičenost predlaganih naprednih rešitev.

Cilj projekta ASTERICS je razvoj naprednih modelov, testnih orodij in metod, ki bodo podlaga za prihodnji razvoj FEV in HEV vozil po vsej Evropi. Sredstva so namenjena za pokrivanje stroškov dela. V veliko manjši meri pa za licenčnine in za potne stroške, nastale v okviru obiskov partnerjev.

Član programske skupine Damijan Miljavec je vodja navedenega projekta na strani Fakultete za elektrotehniko UL. Projekt se je začel oktobra 2012 in bo trajal do leta 2015.

Sodelovali smo v mednarodnem bilateralnem slovensko-ukrajinskem projektu »Motor na prečni magnetni pretok iz mehkomagnetnega kompozitnega materiala« 20072009. Vodja projekta na Fakulteti za elektrotehniko UL je izr. prof. dr. Damijan Miljavec. Sredstva so bila namenjena zgolj za pokrivanje potnih stroškov in nastanitve partnerjev.

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki v so obdobju trajanja raziskovalnega programa (1. 1. 2009 – 31. 12. 2013), potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

»Bipolarna plošča za reverzibilno pretvarjanje električne energije v kemično energijo vodika«
Naročnik: Elgoline, 2009
Nosilec: dr. Peter Zajec

»Programska in strojna nadgradnja merilnika dinamičnih krivulj MDK 500/15«
Naročnik: Iskra TELA, 2012
Nosilec: dr. Marko Petkovšek

»Načrtovanje, izdelava, programiranje in testiranje krmilne elektronike AVL range extender«
Naročnik: HIDRIA, 2010
Nosilec: dr. Vanja Ambrožič

»Razvoj modela za učinkovito napovedovanje in merjenje vibracij in hrupa energetskega transformatorja«
Naročnik: Kolektor Etra, 2009
Nosilec: dr. Danjel Vončina

»Načrtovanje, izdelava, programiranje in testiranje krmilne elektronike 48 V / 150 A za sinhronske motorje«

Naročnik: Iskra Avtoelektrika, 2010
Nosilec: dr. Vanja Ambrožič

»Umerjevalni tokovni vir 300A/1kHz«
Naročnik Iskra Ames, 2012
Nosilec: dr. Peter Zajec

»Programiranje krmilnika in CAN komunikacije«
Naročnik: HIDRIA AET, 2012, 2013
Nosilec: dr. Danjel Vončina

»Magnetni in elektrostatični izračuni energetskih transformatorjev«,
Naročnik: Kolektor Etra, d.o.o., 2012, 2013.
Nosilec: dr. David Nedeljković

»Neodvisno mnenje potrditve izvedljivosti konstrukcije novega transformatorja GT2«
Naročnik: Nuklearna elektrarna Krško, 2012
Nosilec: dr. Damijan Miljavec

»Fusion expo – kolo elektrarna«
Nosilec: Institute Josef Stefan, 2011
Nosilec: dr. Maks Berlec

»Primerjalna analiza energetske učinkovitosti frekvenčnih pretvornikov«
Naročnik: Krka, 2009.
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Izvedba seminarjev za uporabnike napajalnih pretvornikov elektromotorskih pogonov Danfoss«
Naročnik: Danfoss, 2009.
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Realizacija avtomatiziranega sistema za on-line detekcijo in diagnostiko kratkih stikov v
vzbujalnem navitju sinhronskih generatorjev – I.faza«
Naročnik: Elek Svetovanje, 2009
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Realizacija avtomatiziranega sistema za on-line detekcijo in diagnostiko kratkih stikov v
vzbujalnem navitju sinhronskih generatorjev – II.faza«
Naročnik: Elek Svetovanje, 2010
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Projekt izvedbe diagnostičnega sistema kratkih stikov v vzbujalnem navitju sinhronskih
generatorjev – III.faza«
Naročnik: Elek Svetovanje, 2010
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Izvedba seminarjev za uporabnike napajalnih pretvornikov elektromotorskih pogonov Danfoss«
Naročnik: Danfoss, 2010
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Izdelava in dobava posameznih komponent diagnostičnega sistema vzbujalnega navitja
sinhronskih generatorjev v HE Zlatoličje«
Naročnik: Elek Svetovanje, 2012
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Strokovne podlage za preveritev ustreznosti tehnologij in izračuna možne proizvodnje električne
energije za primer malih hidroelektrarn na belokranjskih vodotokih«
Naročnik: občina Črnomelj, 2012.
Nosilec: dr. Rastko Fišer

»Izvedba seminarjev za uporabnike napajalnih pretvornikov elektromotorskih pogonov Danfoss«
Naročnik: Danfoss, 2013
Nosilec: dr. Rastko Fišer

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo

v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

Pri projektu aktivnega serijskega filtra, ki je bil narejen za podjetje Kolektor Etra, smo ravno v prvi polovici leta 2013 opravili zadnje meritve na prototipni napravi. Sedaj pa s podjetjem pričujemo pogovore o postavitvi končne naprave v njihov merilni laboratorij.

Krmilna elektronika za električna vozila nižjih moči, ki smo jo izdelali za podjetje Iskra Avtoelektrika, je prešla s stopnje laboratorijskega prototipa do industrijskega prototipa. Le-ta je bil načrtovan in izdelan tako, da zadosti vsem zahtevanim standardom, da je primeren za serijsko proizvodnjo in da uporablja komponente, ki se vgrajujejo tudi v ostale produkte tega podjetja, saj se tako znižajo nabavne cene materialov.

Enoto za podaljševanje dosega pri serijskih hibridnih vozilih pa je podjetje Hidria d.o.o. pričelo tržiti praktično takoj za tem, ko so bile opravljene meritve na prvem prototipu.

Avtomatiziran sistem za detekcijo in diagnostiko kratkih stikov v vzbujalnem navitju sinhronskih generatorjev je zasnovan, razvit in realiziran v sodelovanju z industrijskim partnerjem Elek Svetovanje d.o.o. za naročnika HSE ter je že instaliran v dveh objektih za proizvodnjo električne energije – eden v termo in drugi v hidro elektrarni. Sistema testno delujeta že več mesecev, pridobljene podatke pa se redno spremlja in analizira. Diagnostični sistem je univerzalen in omogoča zgodnjo detekcijo kratkih stikov v vzbujalnem navitju tako hidro kot turbo generatorjev in je praktično pripravljen za ponudbo na trgu.

Električni stroj s prečnim magnetnim pretokom, ki zadovoljuje postavljenim zahtevam tako proizvajalca kot tudi potencialnega kupca so izdelani iz mehko-magnetnega kompozitnega materiala, kar omogoča enostavnejši postopek njihove izdelave. Oblikovali smo tudi orodja za serijsko proizvodnjo motorja s prečnim magnetnim pretokom. S temi orodji so izdelani prvi prototipi. Predstavljena dejstva potrjujejo implementacijo rezultatov programa v prakso. Dognanja v okviru raziskav so v Nemčiji patentno zaščitena (Patent »Dynamoelektrische Maschine der Klauenpolbauart“ : DE 102010018145) s strani slovenskega podjetja Kolektor Group.

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	Finančne strukture in potrebnega vložka v tej fazi še nismo analizirali.
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	Naši rezultat raziskav v okviru programske skupine so že integrirani v aplikativne projekte z industrijo in v njihove izdelke. Smatramo, da obstaja velik potencial za nastanek spin-off podjetja, predvsem na področju elektronike, diagnostike ter smotrne rabe in proizvodnje električne energije.

17. Izjemni dosežek v 2013¹⁹**17.1. Izjemni znanstveni dosežek**

V sodelovanju s podjetjem Kolektor Group. d.o.o. je bila razvita in patentirana izvedba stroja s krempljastimi poli. Patent (Dynamoelektrische Maschine der Klauenpolbauart: DE 102010018145 B4, 2012-07-26 / Izumitelja: Ludvik Kumar, Damijan Miljavec) kot izjemni znanstveni dosežek je rezultat dela na skupnem projektu sofinanciranim tudi s strani ARRS.

Dosežek se nanaša na obliko statorskih zobov, optimizacijo celotnih krempljastih polov, doseganje idealne gostote mehkomagnetnega kompozita, oblikovanje statorskih segmentov, segmenten stator, njegovo izdelavo in pozicioniranje segmentov, način navijanja statorske fazne tuljave, njeno pozicioniranje in vstavljanje v stator, način zlaganja statorskih segmentov v eno fazo in nato tvorjenje več-faznega motorja. Izvedba stroja se odlikuje z obliko krempljastih polov, z uporabo mehko magnetnih kompozitnih materialov, s specifično obliko

prečnega magnetnega polja, s segmentno sestavo statorja in obročastih tuljav.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Člani programske skupine so organizirali mednarodno konferenco Compatibility and Power electronics, ki jo je podprlo Društvo za industrijsko elektroniko (Industrial Electronic Society), del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), največje svetovne organizacije inženirjev. V. Ambrožič je predsedoval konferenci, ostali člani programske skupine (D. Nedeljković, R. Fišer, M. Nemeč, P. Zajec, K. Drobnič in H. Lavrič) pa so sodelovali kot člani organizacijskega in izvršnega odbora. Konferenci je prisostvovalo več kot osemdeset udeležencev iz trinajstih držav. Na konferenci je bilo predstavljenih 65 prispevkov, predavali pa so tudi trije vabljeni predavatelji: dva svetovno znana profesorja (prof. Buja, Univerza v Padovi, Italija ter prof. Couto, Univerza Minho, Portugalska) in predstavnik slovenske industrije (dr. Bajec, Hidria).

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 in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba JRO
in/ali RO s koncesijo:*

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Vanja Ambrožič

ŽIG

Kraj in datum:

Oznaka prijave: ARRS-RPROG-ZP-2014/22

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa (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](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Družbeno-ekonomski

dosežek iz obdobja izvajanja programa (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 programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

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

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1. 1. 2009 – 31. 12. 2013), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času trajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času trajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite MR. [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2013), ustrezno označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Točko izpolnijo tudi izvajalci raziskovalnega programa, prejemniki sredstev iz naslova dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanja v projektih okvirnih programov Evropske unije). Izvajalec, ki je na podlagi pogodbe prejel sredstva iz navedenega naslova, vsebinsko opiše porabo prejetih sredstev za financiranje stroškov blaga in storitev ter amortizacije, nastalih pri izvajanju tega raziskovalnega programa. V primeru, da so bili v okviru raziskovalnega programa prejemniki različni izvajalci, vsak pripravi vsebinsko poročilo za svoj delež pogodbenih sredstev. Vodja raziskovalnega programa poskrbi, da je vsebinsko poročilo, ločeno za vsakega izvajalca, vključeno v navedeno točko poročila. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). 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/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2014 v1.00a
FB-5C-A9-2C-A0-79-F8-57-58-55-9B-BE-DC-77-F7-0C-4A-23-15-D6

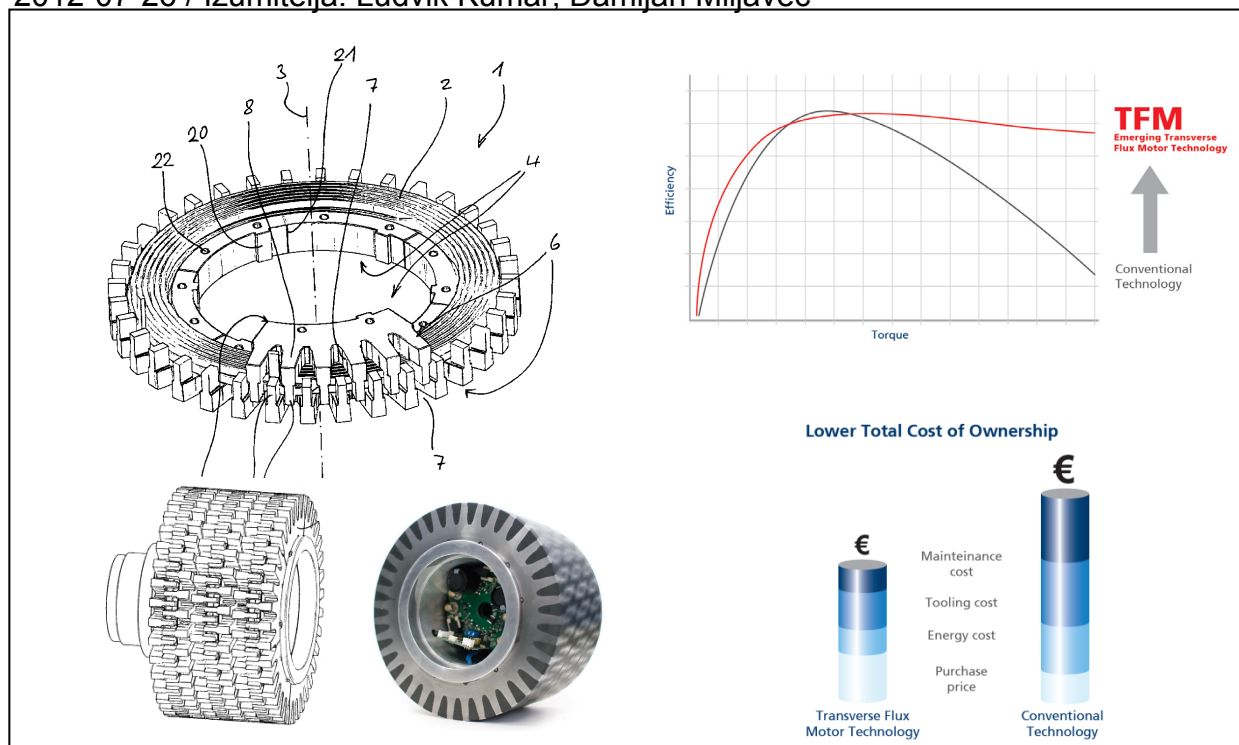
Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.12 – Električne naprave

Dosežek 1: Elektrodinamični stroj s krempljastimi poli (ang. Transverse flux motor),

Vir: patent Dynamoelektrische Maschine der Klauenpolbauart : DE 102010018145 B4, 2012-07-26 / Izumitelja: Ludvik Kumar, Damijan Miljavec



- V sodelovanju s podjetjem Kolektor Group. d.o.o. je bila razvita in patentirana izvedba stroja s krempljastimi poli (ang. Transverse flux motor - TFM).
- Patent je rezultat dela na skupnem projektu sofinanciranem s strani ARRS.
- Dosežek (patent) se nanaša na:
 - obliko statorskih zobov,
 - optimizacijo celotnih krempljastih polov,
 - doseganje idealne gostote mehkomagnetnega kompozita,
 - oblikovanje statorskih segmentov, kateri tvorijo statorsko fazo,
 - segmenten stator, njegovo izdelavo in pozicioniranje segmentov,
 - način navijanja statorske fazne tuljave, njeno pozicioniranje in vstavljanje v stator,
 - način zlaganja statorskih segmentov v eno fazo in nato tvorjenje več-faznega motorja.
- S patentom zaščitena izvedba stroja se odlikuje z obliko krempljastih polov, z uporabo mehkomagnetnih kompozitnih materialov, s specifično obliko prečnega magnetnega polja, s segmentno sestavo statorja in obročastih tuljav.
- Stroj ima izboljšane obratovalne lastnosti, med katere prav gotovo sodita povečan navor in izboljšan izkoristek.
- Zmanjšana je poraba energije pri proizvodnji motorja, nižja cena proizvodnih orodij in manjši vzdrževalni stroški.
- Motor je pripravljen do stopnje trženja.