

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/117



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4114	
Naslov projekta	Razvoj novega 5kHz varilnega transformatorja	
Vodja projekta	10814 Gorazd Štumberger	
Tip projekta	L Aplikativni projekt	
Obseg raziskovalnih ur	9071	
Cenovni razred	B	
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014	
Nosilna raziskovalna organizacija	796 Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko	
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1792 TECES, Tehnološki center za električne stroje 2526 INDRAMAT ELEKTROMOTORJI, proizvodnja električnih motorjev, d.o.o. Škofja Loka	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.12 Električne naprave	
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija	
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Projekt ima tri glavne cilje:

- razvoj novega 5 kHz varilnega transformatorja
- razvoj novega sistema za monitoring varilnega transformatorja
- razvoj novega polprevodniškega vhodnega pretvornika s silicij karbidnimi stikalnimi elementi

Prvi in najvažnejši cilj je razvoj novega 5 kHz varilnega transformatorja

Ta cilj je izpolnjen z razvojem novih analitičnih metod za ovrednotenje izgub v navitjih, ki upoštevajo tudi učinke bližinskega in kožnega pojava. Za ovrednotenje izgub v železnem jedru transformatorja je bila razvita nova analitična metoda, ki upošteva tudi vplive vrtilčnih tokov in histereze v dolgih in tankih trakih lamelirane transformatorske pločevine. Analiza izvedena z dinamičnim modelom transformatorja, v katerem so upoštevane sklopjenosti med električnimi vezji in magnetnimi krogi, je jasno pokazala kam je treba postaviti posamezne navitja varilnega transformatorja, da bo izkoriščenost razpoložljivega železnega jedra čim boljša. Omenjene rešitve so pripeljale do optimalne konstrukcije varilnega transformatorja, delovanje katerega pa je bilo še izboljšano z nadgradnjo naprednega histereznega vodenja varilnega transformatorja. Večina rešitev razvitih med izvajanjem projekta je že vključenih v proizvodnjo. Iz projekta pa izhajata tudi dve doktorski disertaciji in tri prijave mednarodnih patentov.

Drugi cilj je razvoj novega sistema za monitoring varilnega transformatorja.

Sistem za monitoring varilnega transformatorja spremlja stanja varilnega transformatorja med njegovo življenjsko dobo, nadzira stanje obratovalnih parametrov ter napovedovanje okvar in načrtovanje vzdrževanja, vse s ciljem povečanja zanesljivosti delovanja varilnega sistema. Razviti sistem za monitoring je popolnoma nov in samostojen izdelek. Sposoben je zajemanja in shranjevanja vseh električnih spremenljivk varilnega transformatorja. Shranjene spremenljivke je mogoče prenesti na osebni računalnik, jih pretvoriti v decimalno obliko in ovrednotiti. Na osnovu omenjenih podatkov je mogoče sklepati o stanju varilnega transformatorja skozi celotno življenjsko dobo. V primeru okvar je z ustreznimi diagnostičnimi postopki mogoče ugotoviti vzrok za nastanek okvare. Za razviti sistem za monitoring je bila vložena mednarodna patentna prijava.

Tretji cilj projekta je razvoj novega polprevodniškega vhodnega pretvornika s silicij karbidnimi stikalnimi elementi.

Zaradi visoke cene silicij-karbidnih stikalnih elementov je bil razvit in izdelan laboratorijski prototip vhodnega pretvornika manjše moči. Sledenja zadošča za testiranje na novo razvitega varilnega transformatorja v neobremenjenem stanju. Cilj razvoja in izdelave pretvornika je bilo ovrednotenje njegovih stikalnih izgub in primerjava z izgubami obstoječega pretvornika. Rezultati primerjalne analize so pokazali, da za stikalne frekvence razreda 5 kHz, v danem trenutku, prednosti na novo razvitega pretvornike niso takšne, da bi bilo z njim smiselno nadomestiti obstoječi pretvornik.

ANG

The project has three main goals:

- **the development of a new 5 kHz welding transformer**
- **the development of a new monitoring system for welding transformers**
- **the development of a new semiconductor input converter based on silicon carbide switching elements**

The first and the most important goal is the development of a new 5 kHz welding transformer.

This goal is fulfilled by the development of new analytical methods for evaluation of winding losses, where the proximity effect and the skin effect are considered. In order to properly account for the iron core losses, a new analytical method for calculation of eddy current and hysteresis losses in a long and thin strap of laminates transformer steel was developed. Moreover, a dynamic analysis of coupled electric and magnetic circuit has shown where and how the individual welding transformer winding must be placed, in order to maximize the utilization of available iron core. The aforementioned solutions led to an optimized welding transformer design, the operation of which was improved by further development of "advanced hysteresis

control". Most of the solutions developed in the scope of the project, are already introduced in the production. Two doctoral dissertations and three international patent applications are direct result of the project.

The second goal is the development of a new monitoring system for welding transformers.

Monitoring system for welding transformer was developed in the scope of the project. It is intended to monitor the fitness of the welding transformer during its life span, changes in operational parameters, prediction of faults and maintenance planning, with the aim to improve reliability of the welding system operation. The developed monitoring system is a completely new and standalone product, capable of taking measurements and recording data of electrical variables of a welding transformer. It is able to transfer data to the PC, where they can be converted into DEC code and evaluated. Based on obtained data it is possible to conclude about fitness of welding transformer during its life span and to perform a diagnostic procedure in case of failure. An international patent application for the developed monitoring system has been filled.

The third goal is the development of a new semiconductor input converter based on silicon carbide switching elements.

A small scale semiconductor input converter, based on silicon carbide switching elements, has been developed and built. Due to high price of silicon carbide switching elements, the power of built converter prototype was limited. The comparison of losses in a conventional converter and in a converter with silicon carbide switching elements has shown, that at the time being and for the switching frequency of 5 kHz, the advantages of converters with silicon carbide switching elements are insufficient to replace the conventional converters in resistance spot welding applications.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Cilji raziskovalnega projekta so bili:

1. **razvoj novega 5 kHz varilnega transformatorja,**
2. **razvoj sistema za monitoring varilnega transformatorja in**
3. **razvoj vhodnega razsmernika s silicij karbidnimi stikalnimi elementi.**

Cilje raziskovalnega projekta je mogoče združiti tri glavne raziskovalne hipoteze, ki so:

1. Za razvoj optimalne geometrije varilnega transformatorja je treba razviti ustrezne metode za opis in izračun izgub v navitjih in v železnem jedru varilnega transformatorja, ki upoštevajo vplive magnetne nelinearnosti sosedstvenega (bližinskega) pojava, kožnega pojava, vrtničnih tokov in histereze. Slednje morajo biti primerne za uporabo v veznem dinamičnem modelu varilnega transformatorja, s katerim se med optimizacijskim postopkom določijo geometrija železnega jedra, geometrija navitij in prostorska razporeditev navitij. Optimizacija novega transformatorja se zaključi načrtovanjem ustreznega hladilnega sistema in ohišja.
2. Za varilni transformator je mogoče izdelati sistem za monitoring v obliki poceni

prenosne samostojne enote. Ta spremlja bistvene parametre varilnega transformatorja in jo je v primeru odpovedi mogoče uporabiti za iskanje vzroka za odpoved.

3. Vhodni razsmernik sistema za uporovno točkovno varjenje je mogoče izdelati s silicij karbidnimi elementi in tako zmanjšati izgube.

Pri izvajanju projekta so bili osnovni cilj ustvarjanje novega znanja, sproten prenos ustvarjenega znanja v proizvodnjo, zaščita nastale intelektualne lastnine s patenti in šele za tem objave v znanstvenih revijah.

1.1 Varilni transformator: železno jedro, navitja in porazdelitev navitij

Med najpomembnejše dejavnike za proizvodnjo visoko učinkovitih varilnih transformatorjev spada njihova elektromagnetna zasnova, zato so bili v okviru izvedenega projekta analizirani vplivi navitij in magnetnih jeder na izkoristek in delovanje varilnih transformatorjev. Vplivi jedra in navitij so med seboj tesno in neločljivo povezani in neposredno vplivajo na ključne pojave v varilnem transformatorju. Med ključne pojave spadajo izriv toka v navitjih zaradi kožnega pojava in sosedstvenega pojava, izriv magnetnega polja v lamelah magnetnega jedra, nehomogeno razporejen magnetni pretok v magnetnih jedrih, neuravnotežen magnetni pretok v magnetnih jedrih ter nasičenje magnetnih jeder. Za reševanje opisanih pojavov so bile razvite in uporabljene različne metode podrobnejšega modeliranja magnetnih komponent, s katerimi so bili upoštevani opisani ključni pojavi in njihovi vplivi. Prva metoda predstavlja uporabo metode končnih elementov. Novost pri uporabi modela končnih elementov je, da je le-ta povezan z ustreznim veznim modelom varilnega sistema, v katerem so upoštevane lastnosti aktivnih in pasivnih komponent varilnega sistema, za izračun pa je uporabljena integracija v časovnem prostoru. Druga metoda za podrobnejše modeliranje magnetnih komponent predstavlja uporabo metode koncentriranih parametrov. Novost pri uporabi te metode je, da je na podlagi reluktančnih vezij upoštevana topologija magnetnega podsistema, kjer so upoštevani tudi delni magnetni sklepi med navitji transformatorja. Prednost te metode je ob nižji numerični zahtevnosti tudi vključitev ustreznih histereznih modelov, posledično pa so lahko v reluktančnem modelu upoštevane histerezne lastnosti uporabljenega materiala. Ob opisanih metodah so bile posebej razvite tudi izvirne analitične metode za izračun izriva toka, ki temeljijo na postopku postopnega približevanja. Razvit je tudi dinamičen model mehkomagnetne pločevine, ki upošteva vpliv induciranih vrtničnih tokov na porazdelitev magnetnega polja znotraj mehkomagnetne pločevine. Novost modela je enostavnost, računska učinkovitost, prilagodljivost in preprosta vključitev v vezne modele naprav. Na področju magnetnih jeder je prav tako uporabljen izviren model cevki magnetnega pretoka, ki kaže na dejstvo, da je potrebno upoštevanje prostorsko porazdeljenih lastnosti pločevine. Prav tako je bila razvita nova metoda za določitev težko določljivih parametrov veznih modelov varilnih sistemov, ki temelji na uporabi optimizacijskega algoritma diferenčne evolucije in enostavnim meritev napetosti in tokov naprave. Prednost metode je preprostost in uporabnost, saj so parametri modela kompleksne naprave določeni na podlagi enostavni in nezahtevnih meritev, ki so opravljena med obratovanjem naprave. Nadalje so bili analizirani vzroki za pojav neuravnoteženega in nehomogeno porazdeljenega magnetnega pretoka v magnetnih jedrih varilnih transformatorjev. Neuravnoteženi magnetni pretok je posledica pojava lezenja oziroma enosmerne komponente magnetnega pretoka v jedru transformatorja. Izviren zaključek analize predstavlja odkritje nehomogeno porazdeljenega magnetnega pretoka, ki je posledica neustrezne razporeditve navitij na jedru varilnega transformatorja. Le-ta povzroči neuravnotežene delne magnetne sklepe v oknu transformatorja. Oba opisana pojava lahko povzročita nasičenje jeder transformatorjev, v splošnem pa znižujeta izkoristek, gostoto moči in zanesljivost delovanja naprave in sta bistvenega pomena pri načrtovanju transformatorjev. Na podlagi ugotovitev so bile predstavljene izvirne rešitve, ki predlagajo ustrezne razporeditve navitij varilnega transformatorja in preprečujejo nastanek opisanih pojavov. Omenjene rešitve so v postopku patentne zaščite. Nadalje so predstavljeni tudi izvirni aktivni ukrepi za preprečevanje opisanih

pojavov. Ugotovljeno je, da lahko neuravnoteženost magnetnega pretoka preprečujemo tako z aktivnimi kot tudi pasivnimi ukrepi, v nasprotju s tem pa lahko nehomogeno porazdelitev magnetnega pretoka zmanjšujemo samo s pasivnimi ukrepi (zasnova naprave, razporeditev navitij). Analizirani so tudi načini in senzorji za ugotavljanje neuravnoteženosti magnetnega pretoka in nasičenja jeder magnetnih komponent, kjer sta podrobneje predstavljena senzor v obliki magnetnega mostiča in zaznavanje nasičenja na osnovi primarnega toka. S pomočjo različnih senzorjev so načrtovane tudi izvirne aktivne metode za preprečevanje nasičenja v jedrih transformatorjev, ki temeljijo na histerezni regulaciji magnetnega pretoka. Tudi izvirne rešitve za zaznavanje in preprečevanje nasičenja so v postopku patentne zaščite.

1.2 Varilni transformator: hladilni sistem in ohišje

Načrtovanje in optimizacija hladilnega sistema in ohišje varilnega transformatorja so bili izvedeni s komercialnim programom za "multi-physics" izračune v raziskovalni organizaciji industrijskega partnerja, kjer je bili izdelani tudi prototipi. Pri tem so rezultati simulacij in testiranj jasno pokazali, da je za optimalno delovanje novega varilnega transformatorja temu treba prilagoditi tudi hladilni sistem, ki preprečuje lokalne dvige temperature. Slednji mora biti integriran tako v aktivne elemente varilnega transformatorja kot tudi v ohišje.

2. Sistem za monitoring varilnega transformatorja

Pri razvoju sistema za monitoring varilnega transformatorja se je bilo najprej treba odločiti kakšen naj bo ta sistem. Pri tem bilo treba upoštevati naslednja izhodišča: nameščen mora biti direktno na varilni transformator; shranjevati mora čim več bistvenih podatkov o delovanju varilnega transformatorja; v primeru uničenja slednjega mora obstajati možnost shranjenih podatkov, prenesti mora velike pospeške (varilni transformator je nameščen na robotski roki) in industrijsko okolje. Po preučitvi zahtev in obstoječih tehnologij je prišlo do odločitve, da se sistem za monitoring razvije kot samostojen izdelek, ki je ves čas nameščen na varilnem transformatorju, podatke shranjuje v kodirani obliki in ne komunicira z zunanjim svetom. Do zbranih mogoče priti le tako, da se ti prenesejo na osebni računalnik, se dekodirajo in pretovorijo v desetiško obliko primerno za nadaljnje analize obdelavo. Razvito napravo za monitoring tako sestavljajo mikrokrmilnik (PIC), FLASH pomnilnik, termistorja s prilagoditvenim vezjem, vezji za meritev napetosti na usmerniških diodah, vezje za meritev napetosti na izhodni napetosti transformatorja, vezje za merjenje varilnega toka, napajalni filter naprave, napajalni kondenzator naprave, napetostni regulator in signalni led diodi. Mikrokrmilnik je preko vodila SPI povezan s FLASH pomnilnikom, osebni računalnik pa lahko po potrebi preko vodila USB/SCI povežemo z mikrokrmilnikom. Za sistem za monitoring je bila vložena mednarodna patentna prijava.

3. Vhodni razsmernik s silicij karbidnimi elementi

Cilj raziskave je bil preveriti izvedljivost izdelave takega razsmernika in njegov vpliv na zmanjšanje izgub v sistemu za uporovno točkovno varjene. Zaradi zelo visokih cen posameznih silicij karbidnih stikalnih elementov, ki so za zahtevano polno moč razsmernika v času prijave projekta znašale čez 10000 EUR za kos, je bilo že v prijavi projekta predvideno le načrtovanje, izdelava prototipa in testiranje razsmernika le za primer obratovanja novo razvitega varilnega transformatorja v neobremenjenem stanju. Za izvedbo primerjave izgub sta bila zasnovana in izdelana dva vhodna razsmernika. V enem so bili uporabljeni obstoječi stikalni elementi IGBT, v drugem pa silicij karbidni stikalni elementi. Primerjave izgub na obeh razsmernikih so pokazala, da so izgube na razsmerniku s silicij karbidnimi elementi nižje le v območju nekje do 20 odstotkov nazivnega toka. Pri večjih obremenitvah pa so izgube večje kot na obstoječih razsmernikih z stikalnimi elementi IGBT. Pri tem je treba poudariti, da so bila testiranja izvedena pri frekvenci napajalne napetosti varilnega transformatorja razreda 5 kHz. Mogoče je pričakovati, da bi se pri nekajkratnem povečanju stikalnih frekvenc pokazale manjše izgube v primeru uporabe silicij karbidnih stikalnih elementov. Uporaba silicij karbidnih stikalnih elementov, v vhodnem razsmerniku

sistema za uporovno točkovno varjenje, pa se je za področje napajalnih frekvenc do 5 kHz za sedaj pokazala kot nesmiselna.

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

Prijava projekta je vsebovala 7, delovnih sklopov, ki so bili vsi v celoti realizirani:

1. Pregled stanja
2. Varilni transformator – razvoj železnega jedra
3. Varilni transformator – razvoj navitij
4. Varilni transformator – razvoj sistema hlajena in ohišja
5. Razvoj sistema za monitoring
6. Razvoj vhodnega razsmernika s silicij karbidnimi stikalnimi elementi
7. Izdelava laboratorijskega prototipa varilnega transformatorja, testiranje in meritve.

V okviru projekta so bile postavljene tri raziskovalne hipoteze, navedene pod točko 3.

Razvoj varilnega transformatorja

V celoti je bile realizirana prva raziskovalna hipoteza. Razvite so bile metode za izračun izgub v železnem jedru in navitjih transformatorja, ki upoštevajo kožni in bližinski pojav, magnetno nelinearno obnašanje železnega jedra, vplive vrtničnih tokov in histereze. Njihova vključitev v dinamični vezni model varilnega transformatorja, v katerem je upoštevana tudi porazdelitev navitij vzdolž posameznih delov z reluktančnim veznim modelom predstavljenega železnega jedra, je omogočila izvedbo optimizacije železnega jedra in navitij transformatorja. Postopek optimizacije je bil zaključen z optimizacijo hladilnega sistema in ohišje. Izdelani so bili prototipi železnega jedra, navitij in hladilnega sistema. Vsi so bili najprej testirani posamično za tem pa še kot celota. Razvite rešitve so že bile uvedene v proizvodnjo, vloženi pa je bilo tudi več prijav za mednarodne patente. Med njimi so tudi takšne, ki se nanašajo na izboljšave obstoječega sistema vodenja.

Razvoj sistema za monitoring

V celoti je bila potrjena in realizirana tudi druga raziskovalna hipoteza, ki se nanaša na razvoj sistema za monitoring varilnega transformatorja. Sistem za monitoring je bil zasnovan in izdelan v obliki prototipa samostojne enote. Testiranja izvedena na prototipu so pokazala ustreznost razvite rešitve, ki v podobni obliki še ne obstaja in predstavlja povsem nov izdelek. Za razviti sistem za monitoring varilnega transformatorja je bila vložena mednarodna patentna prijava.

Razvoj vhodnega usmernika s silicij karbidnimi elementi

Razvit in izdelan je bil prototip vhodnega razsmernika sistema za uporovno točkovno varjenje, ki temelji na silicij karbidnih elementih. Rezultati meritev so pokazali, da je pri 5 kHz varilnem transformatorju s silicij karbidnimi stikalnimi elementi mogoče zmanjšati izgube le v področju do 20 % nazivne moči. Za izboljšanje v širšem področju bi morale biti stikalne frekvence razsmernika bistveno višje. S tem je bila raziskovalna hipoteza v celoti realizirana, vendar ovržena. Za frekvenčno področje do 5 kHz silicij karbidni stikalni elementi v danem trenutku ne prispevajo dovolj k zmanjšanju, da bi bila njihova uporaba smiselna.

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

Program je bil v celoti izveden v skladu s prijavo in v skladu s predloženim treminskim načrtom. Spremembe v projektni skupini so nastale zaradi odhoda posameznih članov na nova delovna mesta, večina sestave projektne skupine pa se v času izvajanja projekta ni spremenila.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	18422038	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje vpliva spreminjanja magnetnih lastnosti mehkomagnetnega materiala na obliko histerezne zanke s "cevkami" magnetnega pretoka.
		ANG	Modeling the influence of varying magnetic properties in soft magnetic materials on the hysteresis shape using the flux tube approach
	Opis	SLO	Lastnosti lamelirane magnetne pločevine se lahko krajevno močno razlikujejo zaradi mehanskih obremenitev in sprememb strukture med procesom obdelave. Integralna obravnava lamelirane pločevine lahko vodi do močne poenostavitve pojavov, ki se odvijajo v magnetni pločevini. V to kategorijo prav gotovo sodi lokalnega spreminjanja lastnosti snovi na obliko histerezne zanke in njeno dinamično obnašanje. V prispevku je predstavljen nov pristop k modeliranju histereznih zank v magnetno neorientirani pločevini, ki temelji na vpeljavi cevk magnetnega pretoka. Pri tem je plošča lamelirane magnetne pločevine razdeljena v več cevk z različnimi magnetnimi lastnostmi. Tak pristop omogoča upoštevanje krajevne nehomogenosti lastnosti magnetnega materiala, nehomogene porazdelitve gostote magnetnega pretoka in posledično neregularnih histereznih zank.
		ANG	Magnetic properties can vary significantly inside soft magnetic steel sheets (SMSSs), both due to mechanical stresses and structural changes originating from different manufacturing processes. The integral consideration, i.e. averaging these effects over the SMSS, leads to a strong simplification of the underlying mechanisms. Such simplification is often inadequate when considering the influence of the varying magnetic properties on the hysteresis loop shape and its dynamic behavior. This paper presents a new approach to model irregular hysteresis loops of non-oriented SMSSs using the flux tube approach, where the SMSS is divided into several flux tubes having different magnetic properties. This enables to model non-homogeneous distributions of the magnetic flux and irregular hysteresis loops subject to varying magnetic properties.
	Objavljeno v	American Institute of Physics.; Journal of applied physics; 2015; Vol. 117, iss. 17; str. 17A708-1-17A708-4; Impact Factor: 2.185; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.752; WoS: UB; Avtorji / Authors: Petrun Martin, Steentjes Simon, Hameyer Kay, Dolinar Drago	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	15840534	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv načina tvorbe napetosti na emisije hrupa varilnega transformatorja
		ANG	The impact of the voltage generation method on acoustic noise emissions caused by a welding transformer
		Članek obravnava emisije hrupa, ki jih povzroča varilni transformator. Sledenji deluje kot del srednjefrekvenčnega sistema za uporovno točkovno varjenje z enosmernim tokom. Varilni transformator je sestavljen iz železnega jedra ter enega primarnega in dveh sekundarnih navitij. Primarno navitje napaja pretvornik na vhodu v obliki H-mostiča, sekundarni navitji pa transformatorja pa napajata diodi polnovalnega izhodenga usmernika. V obravnavanem primeru je izhodna napetost H-mostiča	

	Opis	SLO	generirana s pomočjo pulzno širinske modulacije in s pomočjo dveh histereznih regulatorjev. Namen članka je pokazati, kako obe omenjeni metodi za generacijo izhodne napetosti H-mostiča vplivata na emisije hrupa varilnega transformatorja. Analiza je izvedena na osnovi merjenih časovnih potekov primarnega toka, varilnega toka in gostote magnetnega pretoka v železnem jedru 160 kW industrijskega varilnega transformatorja, ki obratuje kot del laboratorijskega sistema za uporovno točkovno varjenje. Predstavljeni rezultati kažejo, da je z ustrezno generacijo izhodne napetosti H-mostiča mogoče bistveno zmanjšati emisije hrupa varilnega transformatorja.
		ANG	This paper deals with the acoustic noise emissions caused by a welding transformer (WT) operating as part of a middle-frequency direct current resistance spot welding system (RSWS). The WT consists of an iron core, one primary winding, and two secondary windings. The primary winding is supplied by the voltage from the input converter while the full-wave diode output rectifier is connected to the two secondary windings in order to generate a direct welding current. In the case study, the alternating current primary voltage is generated in two different ways, by applying a pulse width modulation and two hysteresis controllers. The aim of this paper is to analyze how the voltage generation method influences the acoustic noise emissions caused by the WT. The analysis is based on the values of the supply current, the welding current, and the iron core flux density measured on a 160 kW industrial WT operating as a part of laboratory RSWS where the supply voltage is generated in two different ways. The results presented in the paper show that proper voltage generation method can substantially reduce the acoustic noise emissions caused by a WT.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on magnetics; 2012; Vol. 48, no. 4; str. 1669-1672; Impact Factor: 1.422; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.38; WoS: IQ, UB; Avtorji / Authors: Štumberger Gorazd, Deželak Klemen, Klopčič Beno, Dolinar Drago	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	15897110	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Ovrednotenje kakovosti železnega jedra transformatorja za uporovno točkovno varjenje z uporabo tokovnega vira.
		ANG	Evaluation of iron core quality for resistance spot welding transformers using current controlled supply
	Opis	SLO	Članek predstavlja novo razvito metodo za ovrednotenje kakovosti železnega jedra transformatorjev za uporovno točkovno varjenje. Obstoječe metode za vrednotenje kakovosti železnega jedra temeljijo predvsem na uporabi sinusnega magnetnega vzbujanja. Predlagana metoda uporablja histerezno regulacijo toka s katerim je napajano primerno navitje neobremenjenega varilnega transformatorja. Pri tem se vrednost napajalnega toka spreminja med minimalno in maksimalno vrednostjo, na enak način pa se spreminja tudi magnetna napetost v magnetnem krogu. Železno jedro, v katerem se pri istem magnetnem vzbujanju pojavi večja gostota magnetnega pretoka ima manjšo magnetno upornost in je zato boljše za uporabo v transformatorju sistema za uporovno točkovno varjenje. Kot dodatni parameter kakovosti železnega jedra je mogoče uporabiti tudi vhodno jalovo moč. Opisana metoda je bila potrjena simulacijsko in z laboratorijskimi meritvami. Ena od njenih bistvenih prednosti je ta, da uporablja le opremo, ki se tudi sicer uporablja v sistemih za uporovno točkovno varjenje.
			This paper reflects a newly developed method for evaluation of iron core quality for resistance spot welding (RSW) transformers. The classical methods for determination of the iron core quality are mostly based on a

			<p>sinusoidal excitation. The proposed method is based on corresponding excitation by hysteresis controlled current in primary winding under no load operation, whereas consequently the primary current changes between its maximum and minimum value. Therefore, the operation point during the test is defined by the maximum magneto motive force (mmf) of the magnetic circuit. The tested iron core that reaches higher value of the magnetic flux density with the same maximum mmf, has lower average magnetic resistance and it is categorized as a better one, for the discussed RSW application. Furthermore, the value of the input reactive power is considered as an additional indicator for evaluation of the iron core quality. The proposed method is fully verified with numerical computations and laboratory measurements. The main advantage of the proposed method is that no extra equipment is required when testing the RSW systems.</p>
		ANG	
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on magnetics; 2012; Vol. 48, no. 4; str. 1633-1636; Impact Factor: 1.422; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.38; WoS: IQ, UB; Avtorji / Authors: Petrun Martin, Klopčič Beno, Polajžer Boštjan, Dolinar Drago
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	17778710	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Optimizacija navitij transformatorja za uporabno točkovno varjenje z metodo analitičnega postopnega približevanja in diferenčne evolucije.
		ANG	Optimization of resistance spot welding transformer windings using analytical successive approximation and differential evolution
	Opis	SLO	Varilni transformator je eden od bistvenih sestavnih delov sistema za uporabno točkovno varjenje (RSW). Zato je minimizacija izgub v bakru navitij bistven del optimizacije celotnega sistema. Članek se posveča enokriterijski optimizaciji geometrije primarnih in sekundarnih navitij transformatorja s ciljem minimizacije izgub. Izgube v navitjih so določene z uporabo izboljšane analitične metode postopnega približevanja. Slednja omogoča izračun porazdelitve gostote toka tudi v tuljavah z vodniki pravokotnega preseka. Z opisanim postopkom določena geometrija navitij je uporabljena v parametričnem izračunu z metodo končnih elementov, s katerim je potrjeno zmanjšanje izgub v bakru navitij.
		ANG	A welding transformer represents a vital part of a resistance spot welding (RSW) system. Therefore, it is essential to ensure minimum copper loss in the windings. This paper describes a single-objective optimization procedure, which includes searching for the minimum copper loss in RSW transformer windings in regard to the dimensions of the primary and secondary windings. Copper loss in windings is obtained using an improved analytical method of successive approximation, which enables the calculation of current density distribution in coils with rectangular conductors. Finally, the calculated optimum windings' dimensions are further used in a parametric numerical model with the finite element method to confirm the reduction of copper loss.
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on magnetics; 2014; Vol. 50, no. 4; str. 1-4; Impact Factor: 1.213; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.521; WoS: IQ, UB; Avtorji / Authors: Popović Jelena, Klopčič Beno, Petrun Martin, Polajžer Boštjan, Dolinar Drago
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	17118486	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Simulacija vklopnega toka transformatorja z uporabo numerične metode BDF

	ANG	Simulations of transformer inrush current by using BDF-based numerical methods
Opis	SLO	Članek obravnava magnetno nelinearne dinamične modele transformatorjev, ki so primerni za simulacije vklopnih pojavov. Pri tem je vpliv železnega jedra upoštevan z nelinearno tuljavo, z nelinearnim uporom in s histerezo, in sicer na tak način, da je dobljeni model železnega jedra mogoče vključiti v programske pakete tipa EMTP, pri čemer se uporablja kombinacija trapezne metode in metode numeričnega odvajanja NDF2. Dobljeni dinamični modeli transformatorja niso odvisni od koraka integracije in jih je mogoče vključiti v opis sistema v prostoru stanj v obliki togega sistema diferencialnih enačb. Togost sistema je pokazano z analizo lastnih vrednosti sistema med izvajanjem simulacij. Za reševanja sistema, ki je zapisan v prostoru stanja, je uporabljena A in L-stabilna metoda numeričnega odvajanja NDF2. Tak pristop omogoča dušenje nenaravnih in numerično pogojenih oscilacij v izračunih prehodnih stanj. V članku predstavljeni dinamični modeli so ovrednoteni s primerjavo izračunanih in izmerjenih časovnih potekov tokov transformatorja med prehodnimi pojavi in v ustaljenih stanjih.
	ANG	This paper describes three different ways of transformer modeling for inrush current simulations. The developed transformer models are not dependent on an integration step, thus they can be incorporated in a state-space form of stiff differential equation systems. The eigenvalue propagations during simulation time cause very stiff equation systems. The state-space equation systems are solved by using A- and L-stable numerical differentiation formulas (NDF2) method. This method suppresses spurious numerical oscillations in the transient simulations. The comparisons between measured and simulated inrush and steady-state transformer currents are done for all three of the proposed models. The realized nonlinear inductor, nonlinear resistor, and hysteresis model can be incorporated in the EMTP-type programs by using a combination of existing trapezoidal and proposed NDF2 methods.
Objavljeno v		Hindawi Publishing Corporation; Mathematical problems in engineering; 2013; Vol. 2013; 1-10 str.; Impact Factor: 1.082; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.131; WoS: IF, PO; Avtorji / Authors: Tokić Amir, Uglešić Ivo, Štumberger Gorazd
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	18058518 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Modeliranje in analiza magnetnih komponent v močnostnih DC-DC pretvornikih
		ANG Modeling and Analysis of Magnetic Components in High Power DC-DC Converters
		Doktorska disertacija obravnava različne metode modeliranja, analizo ter načine preprečevanja pojavov neuravnoteženega in nehomogeno porazdeljenega magnetnega pretoka v magnetnih komponentah močnostnih DC DC pretvornikov. V okviru disertacije sta predstavljeni dve metodi podrobnejšega modeliranja magnetnih komponent. Prva metoda predstavlja uporabo metode končnih elementov, kjer je model končnih elementov povezan z veznim modelom DC-DC-pretvornika, v katerem so ustrezno upoštevane lastnosti aktivnih in pasivnih komponent pretvornika. Podrobneje sta predstavljena teoretično ozadje in način vzpostavitve

	Opis	<p>neposredne povezave na osnovi modificirane metode vozliščnih potencialov. Druga metoda za podrobnejše modeliranje magnetnih komponent predstavlja uporabo metode koncentriranih parametrov. S pomočjo te metode je na podlagi reluktančnih vezij upoštevana topologija magnetnega podsistema. Z uporabo ustreznih histerezni modelov so v reluktančnem modelu upoštewane histerezne lastnosti uporabljenega materiala. Predstavljen je tudi dinamičen model mehkomagnetne pločevine, ki upošteva vpliv induciranih vrtilčnih tokov na porazdelitev magnetnega polja znotraj mehkomagnetne pločevine. Prav tako je predstavljena metoda za določitev težko določljivih parametrov veznih modelov, ki temelji na uporabi optimizacijskega algoritma diferenčne evolucije. Nadalje so predstavljeni in analizirani vzroki za pojav neuravnoteženega in nehomogeno porazdeljenega magnetnega pretoka v jedrih transformatorjev močnostnih DC DC pretvornikov. Neuravnoteženi magnetni pretok je posledica pojava lezenja oziroma enosmerne komponente magnetnega pretoka v jedru transformatorja. Nehomogeno porazdeljen magnetni pretok pa je posledica neustrezne razporeditve navitij na jedru transformatorja, ki povzroči neuravnotežene delne magnetne sklepe v oknu transformatorja. Oba opisana pojava lahko povzročita nasičenje jeder transformatorjev, v splošnem pa znižujeta izkoristek, gostoto moči in zanesljivost delovanja naprave. Nadalje so predstavljeni tako aktivni kot tudi pasivni ukrepi za preprečevanje opisanih pojavov. Ugotovljeno je, da lahko neuravnoteženost magnetnega pretoka preprečujemo tako z aktivnimi kot tudi pasivnimi ukrepi, v nasprotju s tem pa lahko nehomogeno porazdelitev magnetnega pretoka zmanjšujemo samo s pasivnimi ukrepi. Predstavljeni so tudi načini in senzorji za ugotavljanje neuravnoteženosti magnetnega pretoka in nasičenja jeder magnetnih komponent, kjer je podrobneje predstavljen senzor v obliki magnetnega mostiča. S pomočjo tega sensorja je načrtovana aktivna metoda za preprečevanje nasičenja v jedrih transformatorjev, ki temelji na histerezni regulaciji magnetnega pretoka. Na koncu je obravnavana problematika analizirana s pomočjo numeričnih izračunov na podlagi izpeljanih modelov, ki so potrjeni tudi eksperimentalno.</p>
	ANG	<p>This thesis describes various modeling techniques, analyses and prevention methods for imbalanced and inhomogeneous distribution of magnetic flux inside the magnetic components of high power DC-DC converters. Two techniques for detailed modeling of the discussed magnetic components are presented in detail. In the first technique the finite element method is used, where the detailed finite element model is adequately coupled with the circuit model of the DC DC converter, and where also the properties of active and passive converter components are described adequately. The direct coupling between both models based on modified nodal analysis is presented. The second technique for detailed modeling of magnetic components is based on the lumped parameter method. This way the topological as well as hysteresis properties of the magnetic subsystem are taken into account. Further, a magneto-dynamic model of soft magnetic steel sheets is presented, where the interdependence between eddy currents and magnetic field inside soft magnetic steel sheets is taken into account. The parameters of circuit models that are difficult to determine, are determined using optimization algorithm differential evolution. This thesis also presents overviews and analyses of sources regarding imbalanced and inhomogeneous distribution of magnetic flux inside the magnetic cores of transformers inside DC-DC converters. An imbalanced magnetic field is a consequence of the drift of the magnetic flux inside the transformer core. Inhomogeneous distribution of magnetic field is however a consequence of inadequate distribution of transformer windings along the transformer's magnetic core. These discussed phenomena can cause both saturation of the transformer core, and generally leads to lower efficiencies, power densities and operating reliabilities of such devices. Further, active</p>

		and passive methods for prevention of the discussed phenomena are presented in detail. It is recognized that the imbalance of the magnetic flux can be prevented both with active as well as passive methods, where inhomogeneous distribution of magnetic flux can be reduced only by passive measures. Methods and sensors for determining magnetic flux imbalances and saturation inside the magnetic components are also presented, where the sensor in the form of a magnetic bridge is presented in detail. Based on this sensor an active technique for preventing of saturation of transformers' cores is presented, which uses hysteresis control of magnetic flux inside the transformer core. At the end of the thesis the discussed problems are analysed with the numerical calculations based on the derived models, which are validated with measurements.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[M. Petrun]; 2014; XXVI, 199 str.; Avtorji / Authors: Petrun Martin
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija
2.	COBISS ID	17217046 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> NAPRAVA ZA MONITORING VARILNEGA TRANSFORMATORJA
		<i>ANG</i> MONITORING SYSTEM FOR A WELDING TRANSFORMER
		Verfahren zum Überwachen einer Schweißstromquelle und Überwachungsvorrichtung für eine Schweißstromquelle
	Opis	<i>SLO</i> Predmet izuma je naprava za monitoring varilnega transformatorja, s katero je mogoče beležiti in shranjevati podatke meritev električnih veličin na varilnem transformatorju. Kasneje je možno podatke prenesti na računalnik, jih pretvoriti v decimalno obliko in ovrednotiti. Na podlagi pridobljenih podatkov je možno sklepati o poteku delovanja varilnega transformatorja skozi življenjsko dobo in diagnosticiranje morebitnih vzrokov okvar. <i>SLO</i> Napravo za monitoring sestavljajo mikrokontroler (PIC), FLASH pomnilnik, termistorja s prilagoditvenim vezjem, vezji za meritev napetosti na usmerniških diodah, vezje za meritev napetosti na izhodni napetosti transformatorja, vezje za merjenje varilnega toka, napajalni filter naprave, napajalni kondenzator naprave, napetostni regulator in signalni led diodi. Mikrokontroler je preko vodila SPI povezan s FLASH pomnilnikom, računalnik pa lahko po potrebi preko vodila USB/SCI povežemo z mikrokontrolerom.
		<i>ANG</i> Monitoring system for welding transformer is capable of taking measurements and recording data of electrical variables of a welding transformer. The collected data can be transferred to the PC, converted into DEC code and evaluated. Based on the obtained data, the operation of welding transformer during its life span can be evaluated while in the case of failure a diagnostic procedure can be performed. <i>ANG</i> Monitoring system consists of microcontroller (PIC), FLASH memory, thermistors with adjustment circuits and additional circuits for voltage measurements on rectifier diodes, circuit for measurement of transformer's output voltage, circuit for measurement of welding current, input filter, energy capacitor, voltage regulator and two signal LED diodes. The microcontroller is connected with FLASH memory chip through SPI bus. Computer can be connected with microcontroller via USB/SCI bus.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa
	Objavljeno v	Deutsches Patent- und Markenamt; 2013; 1 mapa (loč. pag.); Avtorji / Authors: Dolinar Drago, Klopčič Beno, Štumberger Gorazd, Korošec Lucijan, Drevenšek Dušan

	Tipologija	2.23 Patentna prijava	
3.	COBISS ID	17031446	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Namestitvev navitij za doseganje uravnoveženega magnetnega vzbujanja v železnem jedru varilnega transformatorja
		ANG	Placement of windings to achieve a balanced magnetic excitation in the iron core of the welding transformer Anbringung von Wicklungen zur Erreichung einer ausgewogenen Magnetischen Erregung im Eisenkerb eines Schweißtransformators
	Opis	SLO	V sodelovanju s podjetjem Indramat d.o.o. (Bosch Rexroth Group) je bila razvita in patentirana izvedba namestitve navitij za doseganje uravnoveženega magnetnega vzbujanja v železnih jedrih varilnih transformatorjev. Patentna prijava je rezultat dela na projektu. Pozitivni učinki ustreznega načrtovanja razporeditve navitij so: - zmanjšanje nehomogene razporeditve magnetnega pretoka v jedru, - zmanjšanje preseka jedra, - zmanjšanje dolžine navitij, - zmanjšanje razsipanih polj v oknu transformatorja, - zmanjšanje izgub v jedru in navitjih transformatorja in v celotni napravi, - zmanjšanje potrebnega pretoka in količine hladilne tekočine, - večja izkoriščenost uporabljenih materialov, - povečana zanesljivost delovanja naprave, - povišanje gostote moči naprave in izkoristka, - možno hitrejše premikanje robotskih rok - visoka učinkovitost in kakovost varjenja,
		ANG	Winding placement that enables uniform magnetic excitation in the resistance spot welding transformer iron core has been developed and patented, in collaboration with Indramat d.o.o. (Bosch Rexroth Group). Patent application is the result of the research project. Proper design of the winding placement has numerous positive implications: - reduction of the non-uniform magnetic flux in the core - reduction of the core's cross-section - reduction of the length of the winding - reduction of the leakage flux in the transformer window - reduction of the transformer iron core and winding losses, as well as the losses of the entire device - reduction of the required flow and the amount of cooling liquid - greater utilization of the materials used - increased device operational reliability - increased power density and the efficiency of the device - possibility of faster robotic arm movement - high efficiency and welding quality
	Šifra	F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Objavljeno v	Deutsches Patent- und Markenamt; 2013; loč. pag.; Avtorji / Authors: Klopčič Beno, Petrun Martin, Dolinar Drago, Štumberger Gorazd	
	Tipologija	2.23 Patentna prijava	
4.	COBISS ID	18119958	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Postopek in naparva za vodenje in monitoring delovanja transformatorja
		ANG	Method and apparatus for monitoring and operating a transformer Verfahren zum Betrieben und Vorrichtungen zur und Überwachung eines

		Betriebs eines Transformators	
Opis	SLO	<p>Patent je sestavljen iz dveh delov:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prvi del patentne prijave opisuje detekcijo nasičenja železnega jedra varilnega transformatorja z merilnim mostičkom. Merilni mostiček zaznava izriv magnetnega polja iz jedra varilnega transformatorja, ko pride ta v nasičenje. V patentni prijavi je opisano diskretno elektronsko vezje za merilni mostiček, ki je sposobno v zelo kratkem času kljub precej motnjam enoumno detektirati nasičenje železnega jedra varilnega transformatorja za uporovno točkovno varjenje. Signal iz vezja se lahko uporabi za vodenje varilnega transformatorja na tak način, da železno jedro ne pride v nasičenje in se ga tako lahko popolnoma izkoristi. Zato je lahko transformator manjših dimenzij, moč pa se ohranja. - Drugi del patentne prijave opisuje izboljšavo algoritma vodenja varilnega transformatorja AHC, ki je že zaščiten s patentom EP 2 097 912 B1. Algoritem AHC ima slabost, da lahko prihaja do časovno kratkih pulzov, ki negativno vplivajo na delovanje celotnega varilnega sistema za uporovno točkovno varjenje. Predlagana izboljšava algoritma AHC popolnoma izloči možnost, da bi prihajalo do časovno kratkih preklpov. Algoritem neprestano primerja obe prisotni veličini varilni tok in gostoto magnetnega pretoka (AHC gleda vsakega posebej) ter spremlja trenutno stanje obeh hkrati predvideva mogoče nepravilnosti. V primeru nevarnosti prehoda v neželeno stanje, po v naprej določenem zaporedju in ob upoštevanju določenih pravil preklopi napajalne napetosti tako, da spremeni smer primarnega toka ter se s tem izogne časovno kratkim vklopom, ki škodujejo sistemu. 	
	ANG	<p>Patent consist of two parts:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The first part of the patent describes the iron core saturation detection with a measuring bridge. The measuring bridge detects the displacements of magnetic field in the welding transformer iron core, when the core is saturated. The patent describes the discrete electronic circuitry of the measuring bridge, capable of detecting the iron core saturation in a very short time, despite the present interferences. The signal from the circuit can be used for the control of the spot resistance welding transformer system in such a way that iron core saturation can be avoided and allowing the iron core to be to fully exploited. Hence, the dimensions of the iron core, for the same power, can be smaller. - The second part of the patent describes the improvement of the Advanced Hysteresis Control (AHC) algorithm already protected by patent EP 2 097 912 B1. The disadvantage of the existing AHC algorithm is that it may cause the short pulses, which may have the negative impact on the resistance spot welding system. The proposed enhancement of the algorithm completely excludes the possibility of the occurrence of these pulses. The algorithm constantly compares the values of welding current and magnetic flux. Considering the concurrent states of both variables, algorithm predicts the possible irregularities and using the predefined switching patterns controls the inverter in such a way to prevent appearance of short pulses. In this way, harmful short time pulses can be avoided. 	
Šifra	F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
Objavljeno v	Deutsches Patent- und Markenamt; 2014; 1 mapa (loč. pag.); Avtorji / Authors: Dolinar Drago, Klopčič Beno, Štumberger Gorazd, Petrun Martin, Sukič Primož		
Tipologija	2.23 Patentna prijava		
5.	COBISS ID	266391296	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Načrtovanje navitij transformatorjev za uporovno točkasto varjenje

		ANG	Development of winding design for resistance spot welding transformers
Opis		SLO	<p>Disertacija obravnava različne možnosti določitev jouskih izgub v navitjih transformatorjev za uporovno točkasto varjenje. Pri podanih vzbujalnih frekvencah se tokovna gostota v navitjih varilnega transformatorja zaradi posledic sosedstvenega pojava med posameznimi tuljavami navitji porazdeli neenakomerno. Neenakomerna porazdelitev tokovne gostote v tuljavah zaradi upoštevanega sosedstvenega pojava ima za posledico večje jouske izgube, kot bi jih izračunali pri enakomerni tokovni obremenitvi brez upoštevanja sosedstvenega pojava. Jasno se pokaže, da izrazitost sosedstvenega pojava s frekvenco narašča. Zato je določitev porazdelitve tokovne gostote v tuljavah primarnega in sekundarnega navitja ključnega pomena pri nadaljnjem izračunu jouskih izgub. Za določitev porazdelitve tokovne gostote je razvita razširjena analitična metoda postopnega približevanja, ki ne upošteva prisotnosti železnega jedra transformatorja. S pomočjo razvite razširjene metode postopnega približevanja so zajeti medsebojni vplivi med vsemi tuljavami primarnega in sekundarnega navitja. Za izračun jouskih izgub je uporabljen splošen zapis, ki upošteva porazdelitev tokovne gostote in specifično prevodnost materiala. Primerjava dveh metod za analitično računanje jouskih izgub v navitjih transformatorja in sicer razširjene metode postopnega približevanja in Dowellove metode je pokazala bistvene prednosti prve. Prednost razvite analitične metode postopnega približevanja pred obstoječo Dowellovo metodo je potrjena z izračuni jouskih izgub v navitjih nanumeričnem modelu transformatorja s pomočjo končnih elementov in z laboratorijskimi meritvami. Za predstavljeno metodo postopnega približevanja je značilna ustrezna točnost izračunanih jouskih izgub in bistveno večja hitrost računanja, kot pri metodi končnih elementov, zato je zelo primerna za izvajanje optimizacij. Prav zato je opisani analitični izračun jouskih izgub v navitjih zasnovan na parametrično podanem modelu navitji transformatorja in omogoča hitre izračune izgub za poljubne mere navitij in poljubno vzbujalno frekvenco.</p>
		ANG	<p>The doctorate thesis describes various methods for Joule loss calculation in windings of resistance spot welding transformers. Due to the proximity effect between the individual coils of the windings, the current density distributes non-uniformly at the given operating frequencies. Non-uniformly distributed current density caused by the consequences of the proximity effect, increases Joule loss in windings in comparison to the case, where the current density distributes uniformly. It is clearly shown that the proximity effect increases with frequency. Therefore, it is significant to determine the current distribution in windings applied in further Joule loss calculation. An advanced analytical method of successive approximation, which does not take into consideration the iron core of the transformer, is developed to enable such calculations. Within the developed method, all mutual influences among the transformer coils are taken into consideration. Calculation of Joule loss is based on the general equation that includes current density and specific conductivity. The comparison of two methods for analytical calculation of Joule loss in transformer windings respectively the advanced analytical method of successive approximation and Dowell method shows the significant advantages of the former. The advantage of the developed analytical method is confirmed with numerical results obtained by finite element method and experimental tests. The presented advanced analytical method of successive approximation is based on the analytical equations and, therefore enables higher level of results accuracy and less time-consuming analysis. Moreover, it is suitable for implementation of the optimization procedures. The described analytical calculation of Joule loss is based on the parametric winding model and enables quick calculations for any transformer dimensions and operating frequencies.</p>

Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom
Objavljeno v	[J. Popović Cukovic]; 2013; [XIII] f, [XIV], 192 str.; Avtorji / Authors: Popović Jelena
Tipologija	2.08 Doktorska disertacija

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Treba je izpostaviti, da je bilo članom projektne skupine od leta 2011 do danes izdanih kar 9 patentov, in da so v tem času vložili kar 16 patentnih prijav, od tega 12 mednarodnih.

Še posebej je treba izpostaviti, da je bila za dve mednarodni patentni prijavi izplačana tudi licenčna.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Velika večina naprav in električnih stroje večino časa obratuje v kavzi-stacionarnih obratovalnih stanjih pri napajanju z napetostmi sinusne oblike. Temu so prilagojena tudi orodja in metode, ki jih uporabljamo za načrtovanje, analizo in vodenje omenjenih naprav. Med ta orodja in metode prav gotovo sodijo: metoda končnih elementov, postopki temelječi na ekvivalentnih in reluktančnih vezjih, kot tudi pristopi temelječi na uporabi kompleksnih kazalcev, nadometnih vezij in impedanc. Seveda pa obstajajo tudi druge naprav in sistemi, kot so na primer sistemi za uporovno točkovno varjenje, ki praktično ves čas obratujejo v prehodnih stanjih. Za optimizacijo posameznih elementov in obratovanja takšnih sistemov pa je potreben pristop, ki upošteva stalno obratovanje v prehodnih stanjih.

Da bi lahko razvili nov 5 kHz varilni transformator, so člani projektne skupine morali najprej razviti metode in orodja, primerne za modeliranje, načrtovanje, analizo in snovanje vodenja varilnega transformatorja in sistema za uporovno točkovno varjenje nasploh. Med najbolj pomembne dosežke članov projektne skupine, ki jih lahko opišemo tudi kot prispevek članov projektne skupine k razvoju znanosti, prav gotovo sodijo:

- Na novo razvita analitična metoda izračuna izgub v navitjih varilnega transformatorja, v kateri so zajeti vplivi kožnega in bližinskega pojava, poleg tega pa je primerna za uporabo v navitjih z različnim prerezom vodnikov in pri različnih valovnih oblikah toka.
- Nova analitična metoda za izračun izgub v lameliranem železnem jedru transformatorja, ki upošteva vpliv vrtinčnih tokov in histereze, železno jedro pa je predstavljeno kot množica dolgih tankih trakov lamelirane transformatorske pločevine.
- Nov parametrični dinamični model varilnega transformatorja, ki ga sestavljata magnetno nelinearni reluktančni model železnega jedra transformatorja in modeli navitij navitih okrog železnega jedra. Pri tem je posebna pozornost namenjena upoštevanju prostorsko in časovno spremenljivemu opisu gostote magnetnega pretoka v železnem jedru ter časovno in prostorsko odvisni porazdelitvi magnetnega vzbujanja v navitjih, ki so prostorsko porazdeljena okrog železnega jedra. Uporaba omenjenega parametričnega modela in optimizacijskega postopka omogočata določitev optimalne geometrije jedra ter optimalne geometrije in namestitve navitij varilnega transformatorja.
- Izboljšave naprednega histereznega vodenja sistema za uporovno točkovno varjenje, kjer se izboljšave nanašajo na algoritem za preprečevanje kratkih pulzov napajalnega toka in na detekcijo stopnje nasičenja železnega jedra varilnega transformatorja.

Pri tem je treba izpostaviti, da je bilo za večino omenjenih izvirnih rešitev poskrbljeno za varstvo nastale intelektualne lastnine v obliki mednarodnih patentnih prijav, ki so bile vložene pred objavo v znanstvenih revijah. Člani projektne skupine brez dvoma tvorijo eno od v svetu vodilnih raziskovalnih skupin na področju sistemov za uporovno točkovno varjenje.

ANG

Most of electrical machines and devices operate in quasi-steady-state supplied by sinusoidal voltages for the majority of time. The methods and tools used in design and analysis of such machines and devices, like the finite element method, analysis based on equivalent and reluctance circuits as well as phasor and impedance based methods, are all adjusted to those operating conditions. However, there also exist other devices, like welding transformers inside resistance spot welding systems, where it is difficult to find any steady state or quasi steady-state operation. In order to optimize the design and operation of such devices a completely new approach is required.

In order to design a new 5 kHz welding transformer, the project team members had to develop new and general methods appropriate for modelling, design, analysis and control design of welding transformers and resistance spot welding systems in general. The most important achievement of the project team members, which can be described as our contribution to the further development of science are as following:

- new analytical methods suitable to calculate losses in windings of the welding transformer, valid for different shapes of conductor cross-sections and for different waveforms of supply currents, where the skin and proximity effects are considered;
- new analytical methods, suitable to evaluate the losses due to the eddy currents and hysteresis losses in a thin and long strap of laminated steel;
- new parametric dynamic model of a welding transformer based on a reluctance network iron core model, where space and time distribution of magnetic flux density in the iron core and magnetic excitation in the windings wound around individual parts of the iron core are considered in order to determine optimal design of the iron core and windings;
- improvements of advanced hysteresis control of the resistance spot welding system, where a procedure for elimination of short supply current pulses and a new saturation detection procedure are proposed.

It must be pointed out that for most of the aforementioned achievement patent applications were filled before they were published in the form of articles. The project team is without any doubt one of the world leading research teams in the field of resistance spot welding systems.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Pomen rezultatov raziskovalnega projekta za razvoj Slovenije je mogoče ovrednotiti preko:

- vplivov novo razvitega znanja,
- vplivov na študijske programe,
- vplivov na povečano stopnjo tehnološkega razvoja in
- novih in izboljšanih izdelkov ter izboljšanje konkurenčne sposobnosti industrije.

Vplivi novo razvitega znanja: V okviru raziskovalnega projekta je prišlo do ustvarjanja novih znanj, ki so vodila do novih spoznanj, kar skupaj predstavlja odlično promocijo Slovenije v mednarodnem raziskovanem prostoru. Ustvarjeno znanje je že bilo preneseno v proizvodni proces in v izdelke sofinancerja projekta. Kljub temu, da so nove rešitve in nova spoznanja nastala na področju sistemov za uporovno točkovno varjenje, pa je razvite rešitve in spoznanja relativno enostavno mogoče uporabiti tudi na drugih področjih industrije, kjer imamo opravka s transformatorji, ki večino časa obratujejo med prehodnimi pojavi. Mednje prav gotovo sodi večina DC/DC pretvornikov s transformatorji.

Vpliv na študijske programe: Znanje in spoznanja pridobljena v okviru raziskovalnega projekta bodo vključeni v študijske programe dodiplomskega in podiplomskega študija elektrotehnike. Na tak način bo prišlo do širjenja novega znanja med študenti, ki ga bodo s seboj prenesli tudi v industrijo.

Vpliv na povečano stopnjo tehnološkega razvoja: Rešitve razvite v okviru raziskovalnega projekta sodijo med najbolj napredne rešitve na področju sistemov za uporovno točkovno varjenje. Omogočajo zmanjšanje količine materiala in energije za vsak izdelan tehnološko

napredni varilni transformator. Ker se omenjeni varilni transformatorji proizvajajo v Slovenijo, se rezultati projekta kažejo tudi v manjši porabi energije in materiala na enoto proizvoda, kar povečuje energetska učinkovitost proizvodnje. Optimalna konstrukcija transformatorja in izboljšave v sistemu vodenja sistema za uporovno točkovno varjenje pa vodijo tudi k zmanjšanju porabe energije pri obratovanju varilnega transformatorja, kar prispeva k povečanju energetske učinkovitosti na globalni ravni.

Novi in zboljšani izdelki ter izboljšana konkurenčna sposobnost industrije: Rezultati raziskovalnega projekta so že bili vključeni v izdelke sofinancerja projekta. Na ta način so bili zmanjšani stroški proizvodnje in obratovanja sistemov za uporovno točkovno varjenje, kar jih skupaj z izboljšanim sistemom vodenja in z novim sistemom za monitoring uvršča med najbolj napredne in energetska učinkovite sisteme za uporovno točkovno varjenje. Povečana konkurenčnost bi morala voditi tudi do povečanega tržnega deleža na svetovnem trgu in posredno tudi do večjih davčnih prilivov v nacionalni proračun. Rešitve, ki so bile razvite za sisteme za uporovno točkovno varjenje je mogoče uporabiti za izboljšanje izdelkov in povečanje konkurenčne sposobnosti tudi na drugih področjih industrije, kot sta na primer proizvodnja posebnih transformatorjev in DC/DC pretvornikov. To bi lahko privedlo do multiplikativni učinkov, novih delovnih mest in povečanih davčnih prilivov

ANG

The importance of the project's results for development of Slovenia can be described as following:

- new knowledge;
- improvements in curriculum;
- increased level of technological development;
- new and improved products and improved competitiveness of industry.

New knowledge: In the scope of the project a new knowledge has been developed that promotes Slovenia in the international scientific community. This knowledge has already been transferred in the production processes and products of the project beneficiary. In spite of the fact, that these solutions have been developed having resistance spot welding systems in mind, the developed knowledge and solutions can be used also to improve other industrial products, where transformers operating mostly in transient conditions, like in DC/DC converters, are used.

Improvements in curriculum: The knowledge developed in the scope of the project will be included in curriculum at the graduated and postgraduated level of electrical engineering study. This will help to spread the new knowledge among the students and through them also in the industry.

Increased level of technological development: The solutions developed in the project belong among the most advanced solutions in the field of resistance spot welding systems. They help to reduce the required material and energy cost per produced units of technologically advanced and improved products. Since, the welding transformers are produced in Slovenia, the results of the project also help to reduce the consumption of energy and material per produced welding transformer, increasing the energy efficiency. On the other hand, due to the optimized design and control algorithm, the energy consumption of the operating resistance spot welding systems is reduced as well, which contributes to general improvement of energy efficiency.

New and improved products and improved competitiveness of industry: The results of the research project were already included in the new products of the project beneficiary. This reduced the production and operating cost of resistance spot welding systems, which made them, together with the improved control algorithm and new monitoring system, one of the most advanced resistance spot welding system. The competitiveness of the new product should increase the share on the global market, the results of which should through taxes also result in the national budget. The knowledge developed in the scope of the project should also help other industry that produces systems with DC/DC converters or special transformers, operating mostly in transients, to improve their products. This could lead to multiplication effects, new jobs and increased tax incomes.

10.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	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
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 checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <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 upravljaljskih 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 upravljaljskih 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 type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

Vsi cilji zastavljeni v prijavi projekta so bili izpolnjeni. Rešitve, ki se nanašajo na konstrukcijo navitij, železnega jedra in sistema hlajenja varilnega transformatorja so bili vpeljani v proizvodnjo, zanje pa so bile vložene patentne prijave. Patentne prijave so bile vložene tudi za novo razviti sistem za monitoring in izboljšave sistema naprednega histereznega vodenja sistema za uporovno točkovno varjenje. Vpeljava na novo razvitih izdelkov novih izdelkov na trga pa ni več v domeni raziskovalnega projekta, temveč tržna odločitev gospodarske družbe.

11.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="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input 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 type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<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 checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input 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 checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo: <input type="text"/>	<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					
	Informacijsko-komunikacijska					

G.07.01.	infrastruktura					
G.07.02.	Prometna infrastruktura					
G.07.03.	Energetska infrastruktura					
G.07.04.	Drugo:					
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

Potencial vpliva rezultatov raziskovalnega projekta na razvoj Slovenije v celoti ni velik, ja pa lahko ogromen za industrijo posebnih transformatorjev, kot so varilni transformatorji in DC/DC pretvorniki. Rezultati projekta ponujajo tehnično dovršene rešitve, ki prehitvejo povprečno stanje razvoja tehnike na omenjenem področju. Omogočajo zmanjšanje porabe materiala in energije na enoto izdelka, razen tega pa dodatno povečujejo energetske učinkovitosti izdelkov med obratovanjem. Rezultati bi morali biti vidni v zmanjšanju stroškov proizvodnje, novih izdelkih (sistem za monitoring) in povečani energetske učinkovitosti. Vse to bi moralo voditi do povečane konkurenčnosti, večjih tržnih deležev in večjih davčnih prilivov. V primeru uporabe rezultatov projekta tudi v drugih gospodarskih družbah, pa bi bilo razen povečane konkurenčne sposobnosti, večjih tržnih deležev in večjih davčnih prilivov, mogoče pričakovati tudi ustvarjanje novih delovnih mest.

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

Sofinancer																														
1.	<table border="1"> <tr> <td>Naziv</td> <td>Indramat elektromotorji d.o.o.,</td> </tr> <tr> <td>Naslov</td> <td>Kidričeva cesta 81, 4220 Škofja Loka</td> </tr> <tr> <td>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</td> <td>100.259 EUR</td> </tr> <tr> <td>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</td> <td>27 %</td> </tr> <tr> <td>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</td> <td>Šifra</td> </tr> <tr> <td>1.</td> <td>Vložena mednarodna patentna prijava za Napravo za monitoring varilnega transformatorja</td> <td>F.32</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>Naprava za monitoring varilnega transformatorja, izdelan in preizkušen prototip</td> <td>F.08</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td>Novi 5 kHz varilni transformator, prototip, izdelan, preizkušen in izmerjen prototip</td> <td>F.08</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td>Pretvornik manjše moči 10 kW do 70 kHz s Si-C stikali, prototip</td> <td>F.08</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td>Razvoj novega izdelka</td> <td>F.06</td> </tr> <tr> <td>Komentar</td> <td>Izvajanje aplikativnega projekta L2-4114 je potekalo na treh lokacijah in sicer na UM FERI, TECES Maribor in v naši družbi Indramat elektromotorji d.o.o. Sodelovanje med nami je bilo zelo dobro in transparentno, rezultati projekta pa so za našo družbo pomemben razvojni korak na področju varilnih transformatorjev, katerih proizvajalec je družba Indramat.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Rezultati projekta Vartrans2 (L2-4114) pomenijo za družbo Indramat elektromotorji velik razvojni korak naprej na področju varilnih transformatorjev, katerih proizvajalec je družba. Najprej naj omenimo načrtovano in izvedeno Napravo za monitoring varilnega transformatorja, ki meri in hrani določene podatke, kot so napetosti in tokovi, med</td> </tr> </table>	Naziv	Indramat elektromotorji d.o.o.,	Naslov	Kidričeva cesta 81, 4220 Škofja Loka	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	100.259 EUR	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	27 %	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	1.	Vložena mednarodna patentna prijava za Napravo za monitoring varilnega transformatorja	F.32	2.	Naprava za monitoring varilnega transformatorja, izdelan in preizkušen prototip	F.08	3.	Novi 5 kHz varilni transformator, prototip, izdelan, preizkušen in izmerjen prototip	F.08	4.	Pretvornik manjše moči 10 kW do 70 kHz s Si-C stikali, prototip	F.08	5.	Razvoj novega izdelka	F.06	Komentar	Izvajanje aplikativnega projekta L2-4114 je potekalo na treh lokacijah in sicer na UM FERI, TECES Maribor in v naši družbi Indramat elektromotorji d.o.o. Sodelovanje med nami je bilo zelo dobro in transparentno, rezultati projekta pa so za našo družbo pomemben razvojni korak na področju varilnih transformatorjev, katerih proizvajalec je družba Indramat.		Rezultati projekta Vartrans2 (L2-4114) pomenijo za družbo Indramat elektromotorji velik razvojni korak naprej na področju varilnih transformatorjev, katerih proizvajalec je družba. Najprej naj omenimo načrtovano in izvedeno Napravo za monitoring varilnega transformatorja, ki meri in hrani določene podatke, kot so napetosti in tokovi, med
Naziv	Indramat elektromotorji d.o.o.,																													
Naslov	Kidričeva cesta 81, 4220 Škofja Loka																													
Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	100.259 EUR																													
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	27 %																													
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra																													
1.	Vložena mednarodna patentna prijava za Napravo za monitoring varilnega transformatorja	F.32																												
2.	Naprava za monitoring varilnega transformatorja, izdelan in preizkušen prototip	F.08																												
3.	Novi 5 kHz varilni transformator, prototip, izdelan, preizkušen in izmerjen prototip	F.08																												
4.	Pretvornik manjše moči 10 kW do 70 kHz s Si-C stikali, prototip	F.08																												
5.	Razvoj novega izdelka	F.06																												
Komentar	Izvajanje aplikativnega projekta L2-4114 je potekalo na treh lokacijah in sicer na UM FERI, TECES Maribor in v naši družbi Indramat elektromotorji d.o.o. Sodelovanje med nami je bilo zelo dobro in transparentno, rezultati projekta pa so za našo družbo pomemben razvojni korak na področju varilnih transformatorjev, katerih proizvajalec je družba Indramat.																													
	Rezultati projekta Vartrans2 (L2-4114) pomenijo za družbo Indramat elektromotorji velik razvojni korak naprej na področju varilnih transformatorjev, katerih proizvajalec je družba. Najprej naj omenimo načrtovano in izvedeno Napravo za monitoring varilnega transformatorja, ki meri in hrani določene podatke, kot so napetosti in tokovi, med																													

	Ocena	<p>delovanjem varilnega transformatorja. Sama Naprava je zelo majhna in se lahko vgradi v sam varilni transformator. Shranjeni podatki so kasneje dostopni preko komunikacijskega kanala na osebem računalniku. Podatkovna baza je sestavljena tako, da lahko o samem delovanju varilnega transformatorja kar največ izvemo. To je zelo pomembno pri morebitnih odpovedih varilnih transformatorjev. Analiza shranjenih podatkov je zelo pomembna za nadaljnji razvoj, saj se lahko na podlagi analize podatkov sklepamo na pomankljivosti naših izdelkov, prav tako pomembno pa so podatki tudi za morebitno uveljavljanje garancije na delovanje varilnih transformatorjev. Naprava za monitoring je bila izdelana kot prototip (Zap. št. 2) in preizkušena, zaradi potenciala Naprave za monitoring pa je bila na nemškem patentnem uradu vložena patentna prijava (Zap. št. 1). Navadni oziroma obstoječi srednjefrekvenčni varilni transformatorji delujejo na frekvenci 1 kHz, v okviru projekta L2-4114 pa je bil razvit, načrtovan in pa izdelan prototip novega 5 kHz varilnega transformatorja (Zap. št. 3). Prototip je bil tudi izmerjen, rezultati meritev se skladajo s pričakovanji. Novi 5 kHz varilni transformator je za našo družbo pomemben korak v razvoju na področju varilnih transformatorjev, saj smo lahko v okviru projekta raziskali obnašanje uporabljenih materialov in sestavnih delov pri višjih frekvencah delovanja. Tretji del projekta pa je bil razvoj Pretvornika majhne moči s silicij.karbidnimi stikali SiC (Zap. št. 4), ki se na področju višje-frekvenčnih pretvornikov uveljavljajo v zadnjem obdobju. Pretvornik je bil izdelan in preizkušen kot prototip, sami rezultati razvoja in meritev na prototipu pa so bili za nas zelo povedni o možnostih uporabe SiC stikal na področju sistemov za uporovno točkasto varjenje. Najbolj pomembno pa je to, da je projekt L2-4114 temelj v razvoju novega proizvoda, novega 5 kHz varilnega transformatorja Zap. št. 5).</p>
--	-------	--

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Razvita in patentirana izvedba namestitve navitij na železna jedra transformatorjev odpira povsem nov pogled tudi na problematiko optimiranja železnih jeder DC/DC pretvornikov. Ti ves čas obratujejo v prehodnih stanjih, zaradi česar je pri njihovi optimizaciji treba upoštevati časovno in krajevno spremninaže razmer v železnem jedru, kot tudi časovno in karjevno porazdelitev megnetnih vzbujanj na jedru.

Pozitivni učinki ustreznega načrtovanja razporeditve navitij pri so:

- zmanjšanje nehomogene razporeditve magnetnega pretoka v jedru,
- zmanjšanje preseka jedra, dolžine navitij in razsipanih polj v oknu transformatorja,
- zmanjšanje izgub v jedru in navitjih transformatorja in v celotni napravi,
- zmanjšanje potrebnega pretoka in količine hladilne tekočine,
- večja izkoriščenost uporabljenih materialov,
- povečana zanesljivost delovanja naprave,
- povišanje gostote moči naprave in izkoristka,
- možno hitrejše premikanje robotskih rok
- visoka učinkovitost in kakovost varjenja,

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

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:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za
elektrotehniko, računalništvo in
informatiko

Gorazd Štumberger

ŽIG

Kraj in datum:

Maribor	15.3.2015
---------	-----------

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/117

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² 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](#)

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

⁴ 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](#)

⁵ 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](#)

⁶ 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](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ 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](#)

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

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

¹¹ 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](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (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.rrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.rrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

0D-EF-06-00-F7-80-43-40-CF-9C-B8-0A-9A-16-23-97-D5-6C-12-8A

Priloga 1

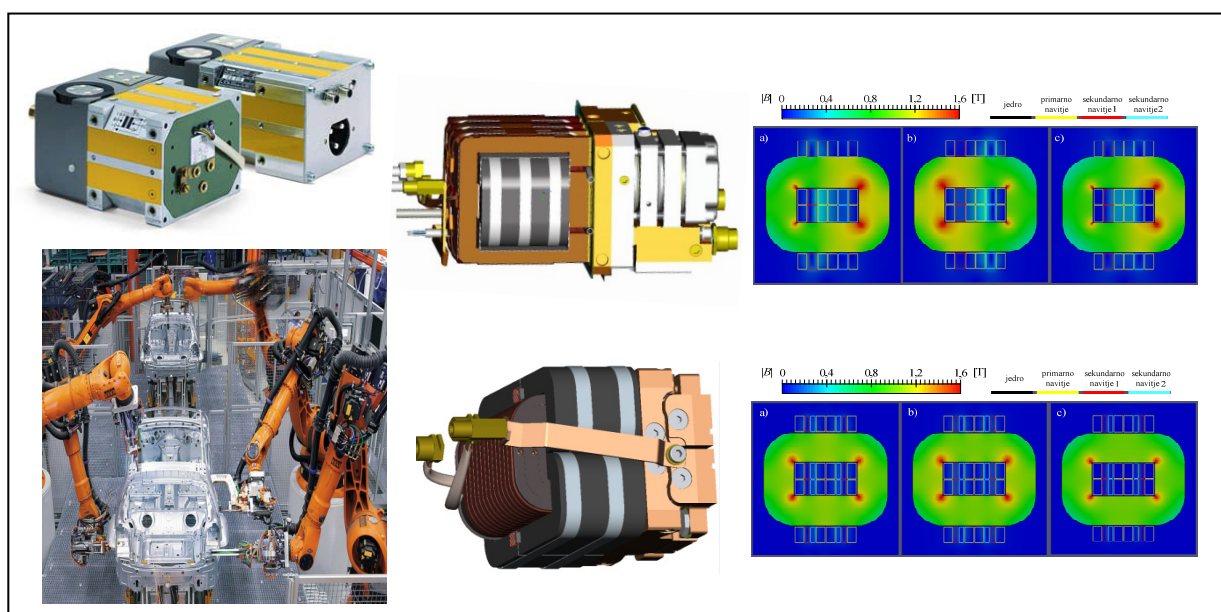
TEHNIKA

Področje: 2.12 – Električne naprave

Dosežek 1: NAMESTITEV NAVITIJ ZA DOSEGANJE URAVNOTEŽENEGA MAGNETNEGA VZBUJANJA V ŽELEZNEM JEDRU VARILNEGA TRANSFORMATORJA,

Vir: *Anbringung von Wicklungen zur Erreichung einer ausgewogenen Magnetischen Erregung im Eisenkerb eines Schweisstransformators* : EM2012/4897, Rolle 345803, DE102013009588.3, anmeldet am 07.06.2013. [S. I.]: Deutsches Patent- und Markenamt, 2013. loč. pag., ilustr. [COBISS.SI-ID [17031446](#)]

Izumitelji: Beno Klopčič, Martin Petrun, Drago Dolinar, Gorazd Štumberger



- V sodelovanju s podjetjem Indramat d.o.o. (Bosch Rexroth Group) je bila razvita in patentirana izvedba namestitve navitij za doseganje uravnoteženega magnetnega vzbujanja v železnih jedrih varilnih transformatorjev
- Patentna prijava je rezultat dela na projektu sofinanciranem s strani ARRS.
- Pozitivni učinki ustreznega načrtovanja razporeditve navitij:
 - zmanjšanje nehomogene razporeditve magnetnega pretoka v jedru,
 - zmanjšanje preseka jedra,
 - zmanjšanje dolžine navitij,
 - zmanjšanje razsipanih polj v oknu transformatorja,
 - zmanjšanje izgub v jedru in navitjih transformatorja in v celotni napravi,
 - zmanjšanje potrebnega pretoka in količine hladilne tekočine,
 - večja izkoriščenost uporabljenih materialov,
 - povečana zanesljivost delovanja naprave,
 - povišanje gostote moči naprave in izkoristka,
 - možno hitreše premikanje robotskih rok
 - visoka učinkovitost in kakovost varjenja,
 - ...