

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/234



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1.Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-2060
Naslov projekta	Energetsko visoko učinkovit sistem brezsenzorskega vodenja električnih strojev za zelo široko območje hitrosti
Vodja projekta	10814 Gorazd Štumberger
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	5313
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1792 TECES, Tehnološki center za električne stroje
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	796 Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko 834 DOMEL, Elektromotorji in gospodinjski aparati, d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.12 Električne naprave 2.12.03 Integrirani pogonski sistemi
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

2.Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

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

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3.Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Cilj projekta je razvoj novega, energetsko visoko učinkovitega sistema brezsenzorskega vodenja strojev s trajnimi magneti, ki je sposoben pokriti celotno področje hitrosti obratovanja zahtevano v aplikacijah za puhala in turbo kompresorje. Razviti sistem brezsenzorskega

vodenja mora zagotoviti stabilno delovanje v širokem razponu hitrosti, ki obsega negativne začetne hitrosti, obratovanje pri zelo nizkih hitrostih in področje visokih hitrosti v razredu nekaj 10000 vrt/min. Pri tem razvoj sistema brezsenzorskega vodenja obsega razvoj samega algoritma vodenja, kot tudi razvoj sodobnega pretvornika in krmilnega sistema.

Pri razvoju algoritma brezsenzorskega vodenja so ključnega pomena stabilnost in zanesljivost delovanja, dovolj široki področje hitrosti in visok izkoristek. Stabilno in zanesljivo obratovanje je doseženo z kombinacijo odprtozančnega vodenja pri zelo nizkih hitrostih in uporabo spremenjenega in dalje razvitega koncepta zaprtozančnega vodenja, ki izhaja iz koncepta aktivnega magnetnega sklepa. Pri tem je področje hitrosti razširjeno s preходом v obratovanje v področju slabljenja polja za katero je bil razvit nov algoritem vodenja navora. Slednji temelji na vodenju vektorja napetosti. Z novo povratno vezavo je zagotovljeno stabilno delovanje gladek prehod v obratovanje v področje slabljenja polja in iz njega, visoka dinamika odzivov navora tudi med obratovanjem v področju slabljenja polja in izraba celotne razpoložljive napetosti na enosmernem vodilu razsmernika. Na osnovi analize stabilnosti so podane smernice za nastavitve parametrov sistema vodenja, ki zagotavljajo stabilno delovanje. S ciljem povečanja izkoristka celotnega sistema vodenja je najprej izvedena analiza vpliva uporabljene modulacijske frekvence razsmernika na izgube v celotnem sistemu vodenja. Določena je tista modulacijske frekvence, pri kateri so skupne izgube najmanjše, kar omogoča povečanje izkoristka. Vpeljani so dvoosni magnetno nelinearni dinamični modeli pogonskega stroja. Uporabljeni so za določitev tiste kombinacije tokov v oseh d in q , ki dajo največji navor na enoto toka. Rezultati laboratorijskih meritev so pokazali, da je izkoristek sistema vodenja mogoče še povečati, če pri določitvi tokov v oseh d in q ne upoštevamo kriterija največjega navora na enoto toka temveč kriterij največjega izkoristka. Omenjena trditev je bila preverjena z laboratorijskimi meritvami, ki so bile izvede na več različnih strojih pri zaprtozančnih izvedbah vodenja s senzorji mehanskih veličin in brez njih.

Razviti algoritem brezsenzorskega vodenja je bil implementiran na v ta namen razvitem krmilnem sistemu s katerim je bil voden v okviru projekta razviti pretvornik. Testiranja izvedena na puhalu so pokazala, da je razviti sistem brezsenzorskega vodenja sposoben zagotoviti stabilno in učinkovito delovanje puhala vsaj v razponu hitrosti od nič do preko 20000 vrt./min..

ANG

The goal of this project is the development of an energy efficient sensorless control of permanent magnet machine, which is suitable to cover the range of speeds specific for blower (turbo compressor) applications. It provides a highly efficient and stable operation over an extremely broad range of speeds, from negative speed through the zero speed and up to high speeds of a several 10.000 revolutions per minute. The development of sensorless control includes the development of an appropriate sensorless control algorithm, completed by the development of up to-date and modern power electronic converter and control system board.

The key points in the development of the sensorless algorithm are stable and reliable operation, sufficiently broad range of speeds and high efficiency. The stable and reliable operation is achieved by combining an open-loop speed control at low speeds and further developed active flux approach based closed-loop control. The range of speeds is extended by introduction of operation in the field weakening region where a new torque control scheme is introduced. The developed control scheme is based on the voltage vector angle control. It contains a new feedback that assures stable operation, smooth transition into field weakening operation and back, high dynamic response of torque even during operation in the field weakening region, and utilization of entire available dc-bus voltage. Based on performed stability analysis guidelines for setting the control parameters, which assure stable operation, are given. In order to improve the control system efficiency the converter switching frequency which assured minimal losses of the entire control system is determined first. Next, the magnetically nonlinear two-axis dynamic models of the driving motors are introduced. They are used to determine that ratio between the d - and q -axis currents which provides maximum torque per unit of current (max torque per amp). Based on the laboratory measurements, it is discovered that the efficiency of the entire control system can be even further improved if instead of max torque per amp a maximum efficiency approach is used to determine the references for the d - and q -axis currents, which is proven by measurements on different machines in cases of closed-loop control with and without position sensor.

The developed sensorless control algorithm is implemented on the developed control board which is used to control the new converter. The tests performed on a blower have shown that the developed sensorless control system can provide stable and efficient operation in the range from zero to over 20000 rev./min..

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Cilj projekta je razvoj sistema vodenja sinhronskega stroja s trajnimi magneti brez uporabe merilnikov mehanskih veličin (položaj in hitrost rotorja). Razviti sistem brezsenzorskega vodenja (BSV) mora zanesljivo delovati v zelo širokem razponu hitrosti, imeti mora visok izkoristek, primeren mora biti za uporabo v aplikacijah s puhalni in dovolj enostaven za implementacijo na krmilnih sistemih za široko uporabo.

Za doseganje zastavljenega cilja so bile postavljene naslednje raziskovalne hipoteze:

- Električni stroj je mogoče hkrati uporabljati kot aktuator in kot merilnik položaja in hitrosti;
- Z upoštevanjem magnetno nelinearnega obnašanja stroja je mogoče doseči boljše obnašanje sistema vodenja in boljše učinkovitost stroja;
- Brezsenzorsko vodenje je mogoče izvesti v zelo širokem območju hitrosti;
- S pomočjo optimizacije je mogoče določiti parametre regulatorjev in opazovalnikov.

Izvedba projekta: Najprej je bil izveden pregled stanja na področjih: izvedb vodenja različnih strojev in BSV; metod za določanje položaja, hitrosti in njunih začetnih stanj; magnetno nelinearnih modelov električnih strojev in metod za določanje njihovih parametrov; metod za določanje parametrov regulatorjev, opazovalnikov in ocenjevalnikov; izvedb vodenja za nizke, srednje in visoke hitrosti; zahtev, ki jim morata zadostiti pretvorniško vezje in krmilni sistem; učinkovitosti sistemov BSV.

Na osnovi pregleda stanja in analize razpoložljivih električnih strojev, pretvorniških vezij, krmilnih sistemov in sistemov vodenja so bile določene zahteve za nove elemente, ki jih je treba razviti v okviru projekta: krmilni sistem, pretvorniško vezje in izvedbo BSV.

Na področju pogonskega stroja in puhal smo se posvetili razvoju magnetno nelinearnih dinamičnih modelov posameznih elementov in pogonskega sklopa kot celote. Razviti so bili novi eksperimentalni sistemi in eksperimentalne metode za določanje parametrov modelov. Oboji so bili potrjeni s primerjavo izmerjenih in izračunanih odzivov.

Izvedli smo načrtovanje, modeliranje, simulacijske izračune, izdelavo prototipov in testiranje novega krmilnega sistema in prevodniškega vezja.

Razvoj algoritma BSV je obsegal: razvoj matematičnega modela sistema vodenja, njegovo implementacijo v ustreznem programskem orodju, določitev strukture BSV in potrebnih parametrov, testiranje razvitega algoritma BSV s pomočjo simulacij in laboratorijskega testiranja.

Združili smo krmilni sistem in pretvorniško vezje ter ju skupaj testirali. Po implementaciji razvitega algoritma BSV v krmilni sistem in priključitvi pogonskega stroja so bila izvedena laboratorijska testiranja razvitega sistema BSV. S testiranjem na puhalu je bil zaključen razvoj sistema BSV.

Model sistema: Pri načrtovanju BSV za puhal je bil najprej razvit matematični opis sistema na osnovi katerega je bil v programskem paketu Matlab/Simulink sestavljen dinamični model. Ta je vseboval tudi dvoosni model električnega stroja zapisan v orientaciji rotorskega polja. Parametri stroja so bili najprej obravnavani kot konstantni. Kasneje je bil celoten model sistema nadgrajen z upoštevanjem magnetno nelinearnega obnašanja železnega jedra v modelu stroja in z nelinearnim modelom pretvorniškega vezja.

Parametri modela stroja: Konstantni parametri modela električnega stroja so bili določeni z uporabo znanih metod. Za opis magnetno nelinearnega dvoosnega dinamičnega modela stroja je treba eksperimentalno določiti karakteristike magnetnih sklepov, ki so tokovno in pozicijsko odvisne. Pri določanju slednjih je treba uporabiti napetostni vir, ki omogoča regulacijo toka v eni osi in krmiljenje napetosti v drugi osi. Napetostni vir je bilo trifazno pretvorniško vezje s pulzno širinsko modulacijo. Zaradi njegovega nelinearnega obnašanja in preklopnih izgub so bile karakteristike magnetnih sklepov določene tudi pri napajanju stroja s čistimi sinusnimi napetostmi iz treh neodvisnih linearnih ojačevalnikov, ki so bili vodeni v dvoosnem koordinatnem sistemu. Primerjava karakteristik določenih pri obeh vrstah napajanja je pokazala, da se pretvorniško vezje pri nižjih vrednostih napetosti in tokov obnaša močno nelinearno. Karakteristike magnetnih sklepov določene na tak način kažejo nelinearno obnašanje, ki je posledica magnetno nelinearnega obnašanja železnega jedra in nelinearnega obnašanja pretvorniškega

vezja. Magnetno nelinearno obnašanje je bistveno pri izvedbi vodenja sinhronskih strojev s potopljenimi trajnimi magneti, pri površinsko nameščenih trajnih magnetih pa ga je pogosto mogoče zanemariti.

Izvedba BSV: Pri izvedbi BSV z električnim strojem gnanega puhala je treba ugotoviti začetno stanje in zagotoviti stabilno obratovanje pri nizkih in visokih hitrostih vrtenja. Pri pogonih za puhala sta zanesljivost delovanja sistema in visoka učinkovitost pomembnejši od dobrih dinamičnih lastnosti.

Za detekcijo in vzpostavitev začetnega stanja lahko uporabimo stopnično spremembo napetosti v eni osi dvoosnega koordinatnega sistema in meritev toka. Če tok sledi spremembi napetosti in se ustali, se je rotor stroja ustavil, dani položaj pa lahko uporabimo kot izhodiščni položaj. Če so toki in inducirane napetosti v stoječem koordinatnem sistemu v stanju brez napajanja harmonične funkcije, se stroj pri tem vrtil, začetni položaj pa lahko določimo s primerjavo preko ustreznega dinamičnega člena poslane razlike med izhodoma napetostnega in tokovnega modela stroja v stoječem dvoosnem koordinatnem sistemu.

Pri nizkih hitrostih je za detekcijo položaja dvoosnega koordinatnega sistema, ki je definiran z vektorjem magnetnega sklepa trajnega magneta, smiselno uporabiti opazovalnike, ki temeljijo na kombinaciji napetostnega in tokovnega modela stroja. Struktura opazovalnika je odvisna od uporabljenega koordinatnega sistema. Ojačanja morajo biti pri nižjih hitrostih večja. Z naraščanjem hitrosti pomen tokovnega modela stroja pada in pri višjih hitrostih skorajda ni potreben. Ker puhala obratujejo pri višjih hitrostih, je obratovanje pri nizkih hitrostih samo prehod do visokih hitrosti. Za ta prehod je spremenljivo uporabiti odprtozankno vodenje z dovolj visokim tokom, kjer položaj rotorja sledi toku. Po prehodu čez območje nizkih hitrosti preklonimo na določanje položaja rotorja za visoke hitrosti.

Pri visokih hitrostih je smiselno uporabiti opazovalnike z nižjimi vrednostmi ojačanj, ki temeljijo na napetostnih modelih stroja. Tu imajo inducirane napetosti dominantno vlogo pri določanju položaja. S prilaganjem ojačanj opazovalnika trenutni hitrosti vrtenja povečamo področje stabilnega delovanja BSV.

Razvoj algoritma BSV: Pri razvoju algoritma vodenja smo izhajali iz enorazsežnega Phase Locked Loop (PLL) opazovalnika hitrosti in kota, znanega iz telekomunikacij, kjer je vhodni podatek kot. Z razširitvijo v dve dimenziji smo dobili PLL opazovalnik kotne hitrosti in kota mehanskega sistema, kjer sta vhoda sinus in kosinus kota. Omenjeni kotni funkciji smo izrazili iz napetostnih enačb sinhronskega stroja s trajnimi magneti na dva načina. Prvič smo uporabili inducirani napetosti, drugič pa komponenti vektorja magnetnega sklepa trajnega magneta, vse zapisane v stoječem dvoosnem koordinatnem sistemu. Tako smo dobili opazovalnik kota in kotne hitrosti, ki temelji na modelu električnega podsistema stroja. Električni stroj smo hkrati uporabili kot aktuator in kot merilnik kotne hitrosti in kota. S pomočjo analize stabilnosti so bila določene smernice za nastavitev parametrov opazovalnika, ki zagotavljajo stabilno delovanje stroja.

Razširitev področja hitrosti vrtenja: Pri višjih hitrostih vrtenja postane napetost na enosmernem vodilu pretvornika premajhna, da bi z njo lahko kompenzirali celotno inducirano napetost. Če hitrost povečujemo še naprej, preidemo v obratovanje v področju slabljenja polja, kjer toka v osi d ne moremo več v celoti kompenzirati, navor pa se zmanjšuje. V okviru projekta je bil razvit nov algoritem vodenje v področju slabljenja polja. Sledenji temelji na vodenju kota vektorja napetosti. Dolžina vektorja napetosti konstantna. Določena je z velikostjo napetosti na enosmernem vodilu pretvornika. Kot vektorja napetosti sestavljata dve komponenti. Prva je ustrezno ojačan integral pogreška toka v osi q, druga pa s pasovno propustnim sitom filtriran tok v osi d. Nov postopek omogoča vodenje navora v področju slabljenja polja z odlično dinamiko, duši oscilacije, v celoti izkorišča razpoložljivo napetost enosmernega vodila pretvornika in omogoča gladek prehod v obratovanje v področju slabljenja polja in nazaj. Delovanje novega algoritma vodenja je bilo eksperimentalno preverjeno pri izvedbi vodenja s senzorjem položaja in BSV za različne vrste sinhronskih strojev. Pri brezsenzorskem vodenju puhala so bile dosežene hitrosti čez 20000 vrt./min, s čemer je bil izpolnjen zastavljen cilj projekta.

Povečanje učinkovitosti pogona: Z meritvami smo določili in uporabili tisto modulacijsko frekvenco pretvorniškega vezja pri kateri je skupni izkoristek s pretvorniškim vezjem napajane stroja največji. Pri večini izvedb vodenja pogonov se teži k zagotavljanju največjega navora na enoto toka, kar pa ni najbolj učinkovito. Karakteristiki največjega navora stroja na enoto toka in največje učinkovitosti sta si blizu. Za izvedbo vodenja z upoštevanjem karakteristike največje učinkovitosti smo slednjo določili z meritvami in jo vključili v generator referenčnih signalov. Tako smo dosegli boljše izkoristke, ki so konkurenčna prednost na trgu.

Uporaba optimizacije: Optimizacijo je mogoče uporabiti v kombinaciji z magnetno nelinearnim dvoosnim dinamičnim modelom električnega stroja tako pri določitvi parametrov opazovalnikov kot tudi regulatorjev. Če zahtevamo dobro sledenje odzivov sistema referencam so rezultat optimizacije visoka ojačanja regulatorjev in opazovalnikov. Ti v simulacijskem okolju delujejo odlično, pri izvedbi BSV realnih sistemov pa zaradi motenj in visokih ojačanj pogosto pripeljejo do nestabilnega delovanja.

Razviti prototipi: Med izvajanjem projekta smo razvili tri različne prototipe. Prvega s krmilnim sistemom dSPACE 1103 PPC in industrijskim pretvornikom. Namenjen je bil meritvam in razvoju algoritmov vodenja saj ga je bilo mogoče programirati v programskem paketu Matlab. Drugi, ki je bil v celoti razvit med projektom, je obsegal floating-point signalni procesor in eksperimentalni pretvornik ter je omogočal programiranje v jeziku C. Tretji, ki je bil tudi v celoti razvit v okviru projekta, je obsegal optimiran fix-point signalni procesor in optimiran razsmernik. Omogočal je programiranje v C-ju in je primeren za začetek industrializacije.

Uporaba izsledkov projekta: Tretji v okviru projekta razviti prototip, ki vsebuje fix-point signalni procesor in optimirani pretvornik, je osnova za razvoj cele družine sistemov BSV puhal. V njih so vključeni glavni izsledki projekta, ki obsegajo algoritem BSV, vodenje v področju slabljenja polja in ukrepe za povečanje učinkovitosti.

Dodatne raziskave: Program raziskav smo razširili s preverjanjem potenciala asinhronskih strojev s kratkostično kletko in v rotor potopljenimi trajnimi magneti za uporabo v puhalih. Glavna prednost teh motorjev je pri priključitvi direktno na električno omrežje. Pri vodenju puhal v širokem področju hitrosti pa niso boljši od strojev s trajnimi magneti. Preverili smo potencial novo razvitega vodenja asinhronskih strojev, ki temelji na vodenju v orientaciji vektorja statorskega toka in omogoča večje izkoristke, za uporabo v puhalih. Ugotavljamo, da bi bilo v primeru nadaljnjega dvigovanja cen trajnih magnetov smiselno razmisliti tudi o tej izvedbi, vendar je izkoristek pogonov s trajnimi magneti višji.

Sodelovanje s tujimi partnerji: Že omenjeno novo vodenje asinhronskega stroje v orientaciji vektorja statorskega toka je primer vodenja neholonomnega sistema z omejitvami na hitrosti. Je rezultat sodelovanja članov projektne skupine z Inštitutom za regulacijsko tehniko Tehniške univerze v Gradcu, Avstrija

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

Raziskovalna hipoteza je v celoti realizirana.

Raziskovalna hipoteza, da je električni stroj mogoče hkrati uporabljati kot aktuator in kot senzor je v celoti potrjena.

Raziskovalna hipoteza, da je z upoštevanjem magnetno nelinearnega obnašanja stroja mogoče doseči boljše obnašanje sistema vodenja in izboljšati učinkovitost pogona je potrjena.

Raziskovalna hipoteza, da je mogoče izvesti brezsenzorsko vodenje stroja za zelo široko območje hitrosti je bila potrjena z omejitvami. Pri izvedbi takega vodenja je namreč treba kombinirati različne izvedbe brezsenzorskega vodenja. Področje hitrosti delovanja lahko razširimo z obratovanjem v področju slabljenja polja. Upoštevanje spreminjanja parametrov stroja pozitivno vpliva na obnašanje vodenega sistema.

Raziskovalna hipoteza, da je s pomočjo optimizacije mogoče določiti parametre opazovalnikov in regulatorjev je v celoti potrjena na nivoju simulacij. Uporaba takega pristopa pri realnem stroju, ki je napajan s pretvorniškimi vezjem, zaradi nelinearnega obnašanja pretvorniškega vezja in motenj, ki jih povzroča, ne daje bistveno boljših rezultatov kot uveljavljeni pristopi k določanju parametrov regulatorjev in opazovalnikov.

Program dela je v celoti realiziran v vseh programskih sklopih.

Razviti so bili krmilni sistem, pretvorniško vezje in nov algoritem brezsenzorskega vodenja. Področje hitrosti delovanja je razširjeno z novim algoritmom vodenja v področju slabljenja polja, ki temelji na

vodenju kota vektorja napetosti. Izkoristek je izboljšán z upoštevanjem magnetno nelinearnega obnašanja stroja in karakteristike največjega izkoristka.

Razvoj in implementacija algoritma brezsenzorekega vodenja sta potekala v več korakih:

Razvoj algoritma vodenja je potekal na nivoju simulacij v Matlab/Simulinku.

Implementacija algoritma je bila najprej izvedena na laboratorijskem eksperimentalnem sistemu, ki obsega razvojno okolje v Matlab/Simulinku, krmilni sistem dSPACE 1103 in industrijski pretvornik. Tak sistem je omogočil enostaven prenos algoritma vodenja iz simulacijskega v realno okolje.

Za vmesno stopnjo implementacije algoritma je bilo razvito pretvorniško vezje in krmilni sistem s floating point signalnim procesorjem. Razvita je bila tudi vmesniška kartica, ki omogoča vodenje pretvorniškega vezja s krmilnim sistemom dSPACE in s krmilnim sistemom s floating point signalnim procesorjem, kar omogoča lažji prenos algoritma vodenja med krmilnimi enotami.

V končni fazi je bilo v sodelovanju s sofinancerjem razvit tudi sistem s pretvorniškimi vezji in fix point signalnim procesorjem, kjer so elementi sistema že optimalno izbrani in integrirani ter predstavljajo osnovo za industrializacijo.

Projekt je bil zaključen s testiranjem razvitega sistema brezsenzorskega vodenja na puhalu, kjer so bile dosežene hitrosti razreda 20000 vrt./min.

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

Bistvenih sprememb programa raziskovanja ni bilo. Dodatno je bila izvedena še analiza primernosti asinhronskih motorjev s potopljenimi trajnimi magneti za aplikacije v puhalih in analiza možnosti za uporabo vodenja asinhronskih strojev v orientaciji vektorja statorskega toka v pogonih za puhalo.

Med trajanjem projekta se je sestava raziskovalne skupine spreminjala. Zaradi končanja doktorskega študija in odhoda na drugo delovno mesto je raziskovalno skupino konec leta 2011 zapustil dr. Sebastijan Seme. Zaradi opravljenih obveznosti na projektu in prevzema drugih zadolžitev pa v letu 2012 nista več člana projektne skupine tudi mag. Matej Gajzer in dr. Dušan Drevenšek.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	16458774	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Nova struktura vodenja sinhronskega stroja s trajnimi magneti v področju slabljenja polja temelječa na vodenju kota vektorja napetosti
		ANG	Novel field-weakening control scheme for permanent-magnet synchronous machines based on voltage angle control
	Opis	SLO	Delo predstavlja nov koncept vodenja sinhronskih strojev s trajnimi magneti v širokem območju hitrosti vrtenja na osnovi vodenja kota vektorja napetosti v področju slabljenja polja. Pri visokih hitrostih vrtenja je statorska napetost omejena z napetostjo enosmernega vodila razsmernika. Predlagana metoda za vodenje navora stroja nad nazivno hitrostjo vodi kot vektorja statorske napetosti omejene dolžine z integracijo ustrezno ojačenega pogreška toka v q-osi. Stabilnost pogona je povečana s povratno zanko, ki kompenzira dinamične motnje in zglati prehod v področje slabljenja polja. Predlagana metoda v popolnosti izkorišča razpoložljivo napetost enosmernega vodila. Zaradi enostavnosti je metoda robustna glede sprememb parametrov stroja. Odlične lastnosti predlagane metode so potrjene z eksperimenti izvedenimi z in brez uporabe senzorjev hitrosti in pozicije.

		ANG This paper presents a novel voltage-angle-based fieldweakening control scheme appropriate for the operation of permanent-magnet synchronous machines over a wide range of speed. At high rotational speed, the stator voltage is limited by the inverter dc bus voltage. To control the machine torque above the base speed, the proposed method controls the angle of the limited stator voltage by the integration of gain-scheduled q-axis current error. The stability of the drive is increased by a feedback loop, which compensates dynamic disturbances and smoothes the transition into field weakening. The proposed method can fully utilize the available dc bus voltage. Due to its simplicity, it is robust to the variation of machine parameters. Excellent performance of the proposed method is demonstrated through the experiments performed with and without speed and position sensors.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronic Engineers; IEEE transactions on industry applications; 2012; Vol. 48, no. 6; str. 2390-2401; Impact Factor: 1.657; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.881; A': 1; WoS: IF, IQ; Avtorji / Authors: Stojan David, Drevenšek Dušan, Plantič Željko, Grčar Bojan, Štumberger Gorazd
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	16458518 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Primerjava karakteristik asinhronskega motorja in sinhronskega motorja s potopljenimi trajnimi magneti in kratkostično kletko v pogonu spremenljive hitrosti ANG Comparison of induction motor and line-start IPM synchronous motor performance in a variable-speed drive
	Opis	SLO Delo predstavlja poglobljeno primerjalno analizo štiripolnega trifaznega asinhronskega motorja (AM) in sinhronskega motorja s potopljenimi trajnimi magneti in kratkostično kletko (SMTMK) IEC osne višine 90 mm, ki delujeta v pogonu spremenljive hitrosti (PSH). S pomočjo izmerjenih podatkov prostega teka, obremenitev in preskusov segrevanja obeh motorjev in tudi z uporabo različnih materialov kratkostične kletke, so analizirane karakteristike pogona pri uporabi odprtozančnega skalarnege vodenja hitrosti (U/f) in enakega razsmernika ter prej omenjenih AM in SMTMK v področju konstantnega vrtilnega momenta in v področju konstantne moči. Izkazalo se je, da karakteristiki toka in faktorja delavnosti pomembno vplivata na karakteristike izgub in izkoristka obravnavanega PSH. Zraven tega manjše izgube SMTMK omogočajo bistveno povečanje področja delovanja PSH s konstantno močjo. ANG The work presents an in-depth comparative analysis of the variable speed drive (VSD) performance between an IEC frame size 90 four-pole three-phase induction motor (IM) and the equal line-start interior permanent magnet synchronous motor (LSIPMSM) by employing measurement data from no-load tests, load tests and temperature-rise tests. The motors' no-load and load characteristics are firstly examined in detail and then the drives' characteristics are analyzed in open-loop volts per hertz (V/f) control by using the same voltage-source inverter and the aforementioned IM or LSIPMSM in both constant torque and constant power operation. It has been established that especially the motors' current and power factor characteristics have a distinct impact on the consequent VSD performance in terms of loss and efficiency. Furthermore, it has been shown that the lower loss of the LSIPMSM enables a significant increase of the VSD's constant power range.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronic Engineers; IEEE transactions on industry applications; 2012; Vol. 48, no. 6; str. 2341-2352; Impact Factor: 1.657; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.881; A': 1; WoS: IF, IQ; Avtorji / Authors: Marčič Tine, Štumberger Bojan,

		Štumberger Gorazd	
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	16326678	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO Prispevek k vodenju neholonomnih integratorjev z lezenjem	
		ANG A contribution to the control of the non-holonomic integrator including drift	
		Članek obravnava problematiko tri razsežnega neholonomnega integratorja z lezenjem. Za takšne vrste sistemov se postavlja vprašanje kako priti do potrebnih odsekoma konstantnih funkcij izhodnih spremenljivk z najmanjšimi potrebnimi vrednostmi vhodnih spremenljivk. V prispevku je pokazano, da v tako kategorijo sistemov spada tudi asinhronski stroj, pri katerem je želeno obnašanje mogoče doseči s hkratno amplitudno, frekvenčno in fazno modulacijo harmoničnega vhodnega vektorja. Pri tem so notranje spremenljivke stanje implicitno prisiljene slediti periodičnim tirnicam, s čemer zadostijo neholonomnim omejitvam obravnavanega sistema. Pri tem je dosežena globalna asimptotična stabilnost in visoka dinamika odziva izhodnih spremenljivk. Problem singularnosti pri začetnih pogojih nič je rešen s časovno optimalnim vodenjem notranjih spremenljivk. Kombinacija nelinearnega regulatorja, časovno optimalnega regulatorja in ustrezne strategije preklapljanja omogoča vzpostavitev izjemno močnega koncepta vodenja. Razviti koncept vodenja je uporabljen na primeru vodenja navora asinhronskega stroja, kot tipičnega predstavnika neholonomnih sistemov. Predstavljeni so eksperimentalni rezultati opisane izvedbe vodenja navora asinhronskega stroja.	
		In this paper a three-dimensional non-holonomic integrator (NI) with drift terms is considered. For this type of plant, the question how to obtain desired piecewise constant output functions with minimum norm control inputs is explored. It is shown that this can be achieved by a nonlinear controller that provides simultaneous modulation of both the amplitude and the frequency of the harmonic input vector. The internal states are implicitly forced to follow natural periodic orbits satisfying the nonholonomic constraints of the plant. Global asymptotic stability and high dynamics in the output response are achieved. The problem of singularity at zero initial state is solved by a time optimal control scheme for the internal states. By combining the nonlinear controller and the time-optimal controller using an appropriate switching strategy, a powerful control concept can be established. The torque control of an induction machine is considered as an illustrative example for the application of the control scheme. Experimental results of the closed loop feedback control system are presented.	
	Objavljeno v	Pergamon; Automatica; 2012; Vol. 48, iss. 11; str. 2888-2893; Impact Factor: 2.829; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; A': 1; WoS: AC, IQ; Avtorji / Authors: Grčar Bojan, Hofer Anton, Cafuta Peter, Štumberger Gorazd	
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	14658326	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO Magnetno nelinearni dinamični modeli sinhronskih strojev	
		ANG Magnetically nonlinear dynamic models of synchronous machines	
		Samostojno poglavje v znanstveni monografiji je posvečeno magnetno nelinearnim dinamičnim modelom sinhronskih strojev. Predstavljeni so postopki, ki jih je mogoče uporabiti pri izpeljavi magnetno nelinearnih modelov. Sledenji so zapisani v koordinatnem sistemu, ki je orientiran z vektorjem magnetnega sklepa trajnega magnet ali pa z osjo največje magnetne prevodnosti rotorja. Opisi postopkov modeliranja so dopolnjeni z opisi eksperimentalnih metod, ki jih je mogoče uporabiti za določitev parametrov modelov in z opis uporabe magnetno nelinearnih modelov v	

			izvedbah vodenja sinhronskih strojev. V obravnavi so zajeti linearni in rotacijski sinhronski stroji s trajnimi magneti in sinhronski reluktančni stroji. Pri tem so upoštevani vplivi nasičenja, križnega nasičenja, medsebojnega delovanja statorskih in rotorskih utorov ter utorov in trajnih magnetov, v primeru linearnih strojev pa tudi pojavi na robu železnega jedra.
		ANG	The independent scientific chapter in a monograph deals with magnetically nonlinear dynamic models of synchronous machines. Presented are procedures that can be applied to derive the magnetically nonlinear dynamic models written in the reference frame oriented with the rotor flux linkage vector or with the axis of lowest rotor reluctance. The descriptions of modeling procedures are completed by the descriptions of experimental procedures that can be applied to determine the parameters of derived models, and some descriptions related to the use of these models in synchronous machine control realizations. Discussed are linear and rotary permanent magnet machines and reluctance machines. Considered are the effects of saturation and cross-saturation, the interactions between the stator and rotor slots as well as the interactions between the slots and permanent magnets, and the end effects in the case of linear machines.
		Objavljeno v	Sciyo; New trends in technologies: devices, computer, communication and industrial systems; 2010; Str. [291]-312; Avtorji / Authors: Štumberger Gorazd, Štumberger Bojan, Marčič Tine, Hadžiselimović Miralem, Dolinar Drago
		Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
		COBISS ID	16731414 Vir: COBISS.SI
5.	Naslov	SLO	Na vodenju vektorja statorskega toka temelječe vodenje navora asinhronskega stroja
		ANG	Im torque control schemes based on stator current vector
	Opis	SLO	Članek predlaga vodenje asinhronskega stroja izpeljano na modelu zapisanem v koordinatnem sistemu vektorja statorskega toka. Zahtevani navor je generiran s sočasnim in koordiniranim spreminjanjem amplitude in hitrosti vrtenja vektorja statorskega toka, ki na tak način prisili vektor rotorskega magnetnega sklepa, da se implicitno spreminja na tak način, da je ohranjena stabilnost. Dodatne lastnosti vodenja vključujejo največji navor na enoto toka v ustaljenih stanjih in skoraj perfektno sledenje tudi magnetno nasičenega stroja. Uporabljena je kaskadna struktura vodenja, ki temelji na delni dinamični inverziji modela reduciranega reda, ki zagotavlja obstoj in enumnost inverzne preslikave med zahtevanim navorom, vektorjem rotorskega magnetnega sklepa in vektorjem statorskega toka. Singularnost pri nevzpostavljenem vektorju rotorskega magnetnega sklepa ne predstavlja omejitev za lastnosti vodenja v danem delovnem območju. Izvedba predlaganega vodenja zahteva ocenjevanje komponente vektorja rotorskega magnetnega sklepa, ki proizvaja navor in kaskadno vodenje vektorja statorskega toka. Eksperimentalni rezultati potrjujejo pričakovanja in kažejo potencial in koristi predlaganega načina vodenja.
		ANG	The paper proposes an IM torque control derived from the model in the stator current vector reference frame. The required torque is produced by simultaneously manipulating the magnitude and the rotation speed of the stator current vector thus forcing the rotor flux linkage vector to change implicitly in such a way that overall stability is preserved. Additional control features include maximal torque per ampere ratio in steady state and almost perfect command tracking even if the machine is magnetically saturated. The control adopts a cascaded structure and is based on a partial dynamic inversion of the reduced model that assures existence and uniqueness of the inverse mapping between the required torque, the rotor

		flux linkage vector and the stator current vector. Singularity at zero rotor flux linkage represents no restriction for the control performance in the admissible machine operating range. The implementation of the proposed control requires the estimation of the torque producing rotor flux component and cascaded stator current controllers. Experimental results confirm the key expectations and show the potential and benefits of the proposed control schemes.
Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2013; str. 1-12; Impact Factor: 5.160; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.379; A": 1; A': 1; Avtorji / Authors: Grčar Bojan, Štumberger Gorazd, Hofer Anton, Cafuta Peter
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	265977600	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Brezensenzorsko vodenje sinhronskega stroja s trajnimi magneti za puhala s širokim razponom hitrosti vrtenja
		ANG	Sensorless control of permanent magnet synchronous machine for broad speed range blower applications
	Opis	SLO	V doktorski disertaciji je predstavljeno brezensenzorsko vektorsko vodenje sinhronskega stroja s trajnimi magneti za puhala s širokim razponom hitrosti vrtenja. Volumski pretok zraka skozi puhalo je pri nizkih hitrostih vrtenja zelo majhen, zato puhala obratujejo pri pretežno višjih hitrostih. Iz tega razloga se ta disertacija posveča problematiki brezensenzorskega vodenja sinhronskega stroja s trajnimi magneti v področju slabljenja polja in višjih hitrosti vrtenja. Predstavljena izvedba brezensenzorskega vodenja je primerna za širšo industrijsko uporabo. Zaradi relativne enostavnosti je izvedbo vodenja mogoče uporabiti tudi v nizkocenovnih industrijskih aplikacijah. Izvedba vodenja puhala najprej zažene do določene hitrosti vrtenja z odprto hitrostno regulacijsko zanko. Ob zadostni hitrosti vrtenja se hitrostna regulacijska zanka sklene tam, kjer je informacija o položaju rotorja in hitrosti vrtenja dobljena z uporabo PLL-opazovalnika. Eden izmed osrednjih delov te disertacije je tudi analiza občutljivosti dveh struktur PLL-opazovalnika na variacijo parametrov sinhronskega stroja s trajnimi magneti. Na podlagi analize je izbrana struktura PLL-opazovalnika, ki je primerna za uporabo v širokem področju hitrosti vrtenja. Širok razpon hitrosti vrtenja dosežemo z novo izvedbo vodenja sinhronskega stroja s trajnimi magneti v področju slabljenja polja, ki izkoristi vso razpoložljivo napetost na enosmernem vodilu pretvornika. Izvedena je analiza stabilnosti nove izvedbe vodenja, na podlagi katere so podana navodila za izbiro parametrov izvedbe vodenja, da je zagotovljeno stabilno obratovanje sinhronskega stroja v področju slabljenja polja. Izvedena je simulacijska in eksperimentalna primerjava učinkovitosti delovanja nove in obstoječe izvedbe vodenja. Iz primerjave je razvidno, da je pri uporabi nove izvedbe prehod iz področja konstantnega navora v področje obratovanja v slabljenju polja bolj gladek. Na koncu je delovanje izbranega PLL-opazovalnika in nove izvedbe vodenja za obratovanje v področju slabljenja polja preverjeno eksperimentalno na puhalu, ki obratuje v zelo širokem razponu hitrosti vrtenja.
			In this thesis a sensorless field oriented control of permanent magnet synchronous machine for blower applications operating in a wide range of speeds is presented. At low speeds of rotation, volume air flow through the

		blower is very small, therefore, blowers operate predominantly at higher speeds. Consequently, sensorless control issue of this work is focused on higher speeds and on field weakening control of the synchronous machine. Presented sensorless field oriented control is suitable for general industrial use. Due to its relative simplicity, it can also be used in low-cost industrial applications. The blower first starts up to a certain speed of rotation with the open speed control loop. At sufficient speed of rotation, the speed control loop is closed. The machine rotor position and the speed of rotation, is obtained by the PLL observer. One of the central parts of this thesis is the sensitivity analysis, given for two different PLL observer structures. Based on given analysis, the PLL observer structure, which is suitable for the use in a wide range of speeds, is selected. A wide range of speed of rotation is achieved with the new field weakening control structure of the permanent magnet synchronous machine, where all the available dc-bus voltage of inverter is exploited. Further, stability analysis of the new field weakening control structure is made. Based on the performed analysis guidelines for the proper choice of parameters for the field weakening control structure are given, so that the stable operation of the machine is assured. The results of simulations and experiments are compared for the new and already existing field weakening control structure. The comparison shows, that when the new field weakening control structure is applied, the transition of the machine between the constant torque and field weakening region of operation is smoother. At the end, the proposed sensorless field oriented control using the PLL observer and the new field weakening control structure is verified experimentally, on the blower, operating in a broad range of speeds.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[D. Stojan]; 2013; [XVI], 133 str.; Avtorji / Authors: Stojan David
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija
2.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO Vodenje in izvajanje nacionalno pomembnih in vplivnih čezmejnih projektov
		ANG Leading and implementation of nationally important and cross-border projects with high-impact
	Opis	SLO Kompetenčni center »KC-SURE - Napredni sistemi učinkovite rabe električne energije« je kot eden od ključnih nacionalnih mehanizmov povezovanja aktiven od leta 2011 in vključuje 16 partnerjev dejavnih na področju učinkovite rabe električne energije. TECES je nosilec kompetenčnega centra in koordinator aktivnosti, UM-FERI in DOMEL sta partnerja. Namen KC-SURE je, da se s celovitim obravnavanjem problematike pametnih omrežij od proizvodnje električne energije, njene distribucije ter porabe vzpostavi koncept aktivnega oz. pametnega elektroenergetskega omrežja Smart Grid, ki bo omogočal verifikacijo rešitev in potrdil primernost novo razvitih izdelkov partnerjev za vključevanje v pametna elektroenergetska omrežja prihodnosti. Znotraj programa KC-SURE se izvaja več delovnih sklopov, pri čemer se DOMEL in UM-FERI fokusirata na aktivnostih Energijsko učinkovitih pogonskih pretvornikov. Več informacij je na voljo na spletni strani http://www.sure.si. V letu 2012 uspešno zaključen projekt »CESLA - Čezmejna implementacija okolju prijaznih ultra-lahkih vozil v Sloveniji in Avstriji« je predstavljal enega izmed prvih projektov, ki so se ukvarjali z električno mobilnostjo na območju Podravja, avstrijske Koroške in Štajerske. Dosežki in rezultati projekta imajo velik vpliv na vse sledeče aktivnosti v omenjenih regijah in v širšem okolju. Partnerstvo je obsegalo 4 partnerje iz Slovenije in 2 iz Avstrije, pri čemer v Sloveniji največjo vlogo še vedno izvajata TECES kot vodilni partner in UM-FERI kot projektni partner. Glavni namen projekta pa

			je bil vzpodbujanje rabe trajnejših načinov osebnega prevoza v dnevih migracijah in rekreacijski rabi z demonstracijo učinkovite uporabe manjših in lažjih brez-emisijskih vozil temelječih na električnem pogonu. Več informacij je na voljo na spletni strani http://www.cesla.eu .
			The competence centre "CC-SURE - Advanced Systems of Efficient Use of Electrical Energy" as one of the key national linking mechanisms is active since 2011 and includes 16 partners active in the field of efficient use of electrical energy. TECES is the competence center holder and activity coordinator, UM-FERI and DOMEL are partners. The CC-SURE main aim is to establish the Smart Grid concept through a comprehensive approach by including the production, distribution and the usage of electric energy. This will enable the verification of partners' solutions and confirming the suitability of the newly developed partner products, which are suitable to be employed in smart electric power networks of the future. Several work packages are implemented within the CC-SURE programme, where DOMEL and UM-FERI focus on the activities of Energy efficient electric drive converters. More information is available at the website http://www.sure.si. ANG The in 2012 successfully finished project "CESLA - Cross-border implementation of environmentally friendly ultra-light vehicles in Slovenia and Austria" represented one of the forerunning electric mobility projects in Podravje, Carinthia and Styria. Its achievements and results proved to have high impact on successive activities in the aforementioned regions and the broader environment. The partnership included 4 partners from Slovenia and 2 partners from Austria, of which TECES as the lead partner and UM-FERI as project partner still play the most significant role in Slovenia. The project's main aim was to encourage the use of more sustainable means of personal transport in daily commuting and recreational use by demonstration of effective use of smaller and lighter zero-emission vehicles, based on electric propulsion. More information is available at the website http://www.cesla.eu.
			Šifra D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
			Objavljeno v http://www.sure.si in http://www.cesla.eu
			Tipologija 3.25 Druga izvedena dela
3.	COBISS ID	69091329	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Metoda slabljenja polja sinhronskega stroja s trajnimi magneti z uporabo celotne razpoložljive napetosti in izboljšano stabilnostjo
		ANG	Field weakening method with improved stability for a permanent magnet synchronous machine that utilizes all available dc-bus voltage
	Opis	SLO	Nov algoritem vodenja električnih strojev v področju slabljenja polja Opis SLO: Tekom izvajanja aktivnosti aplikativnega raziskovalnega projekta so člani projektne skupine pridobili in osvojili nova znanja na področju brezsenzorskega vodenja BLDC pogonov in vodenja strojev pri visokih hitrostih vrtenja. Kot najpomembnejši znanstveno-raziskovalni prispevek projekta štejemo razvoj novega algoritma vodenja električnih strojev v področju slabljenja polja. Algoritem je bil v BLDC pogonu testiran do hitrosti 20.000 vrtljajev na minuto. Izhajajoča znanstvena spoznanja in izkušnje pri praktični implementaciji algoritma v digitalnem signalnem procesorju so seveda nepogrešljivi pri nadaljnjem razvoju aplikacij za visoke hitrosti vseh projektnih partnerjev, predvsem pa sofinancerja DOMEL. Na podlagi rezultatov projekta je bila tudi vložena patentna prijava. Patent bo podeljen v mesecu maju 2013, takrat bo slednji tudi viden v bazi patentov.
			During the implementation of activities of the applied-research project, the project team members have acquired and mastered new knowledge in the field of sensorless control of BLDC drives and the control of electric

		ANG	machines at high rotation speed. The most important scientific-research contribution of the project is the development of a novel control algorithm for electric machines in the field-weakening regime. The algorithm has been tested in the BLDC drive up to the speed of 20.000 rpm. The resulting scientific conclusions and the experience gathered at the practical implementation of the algorithm in a digital signal processor are indispensable in further development of high speed applications of all project partners, and above of all for the project beneficiary DOMEL. Based on the project results, a patent application has been filed as well. The patent will be granted in May 2013, and then it will be visible in the patent database also.
	Šifra	F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Objavljeno v	Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2012; 12 f.; Avtorji / Authors: Drevenšek Dušan, Stojan David	
	Tipologija	2.23	Patentna prijava
4.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Doseženi tehnološki pogoji za osvojitve novih tržnih segmentov
		ANG	Achieved technology requirements for conquering new market segments
	Opis	SLO	Predlagan nov pristop vodenja bo uporabljen v družini pretvornikov za puhala v podjetju DOMEL, in sicer za družine pogonov motorjev od 1,6 kW do 5,5 kW, ki se uporabljajo v industriji gretja, ventilacije in klimatizacije. V DOMEL-u so pred izvedbo aplikativnega projekta na globalnem trgu ponujali svoje motorje za te pogone - brez pretvornika v večini segmentov. Rezultati projekta pa omogočajo, da sofinancer DOMEL pod svojo lastno blagovno znamko celovito trži družino pogonov za puhala, tj. motor z ustreznim in konkurenčnim pretvornikom v vseh segmentih.
		ANG	The newly proposed control approach will be used in a family of converters for blowers of the company DOMEL. These converters are used in the heating, ventilation and air-conditioning industry for drives with motors ranging from 1,6 kW and up to 5,5 kW. Until the implementation of the applied-research project, DOMEL has offered motors for such drives only - without the converter in most segments. The project results enable that the project beneficiary DOMEL offers the integral family of complete blower drives on the market under its own trademark, i.e. the motor with an adequate and competitive converter in all segments.
	Šifra	F.04	Dvig tehnološke ravni
	Objavljeno v	[D. Stojan]; 2013; [XVI], 133 str.; Avtorji / Authors: Stojan David	
	Tipologija	2.08	Doktorska disertacija
5.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Organizacija nacionalno pomembnega strokovnega posveta
		ANG	Organisation of a professional conference of national importance
	Opis	SLO	Vodja in člani projektne skupine so aktivno sodelovali v programskem, uredniškem in organizacijskem odboru strokovnega posveta »SPOT 2012 - Inovativni pretvorniki električne energije«, ki se je odvijal 13. in 14. junija 2012 v Novi Gorici. V organizacijo posveta so bili vključeni vsi partnerji aplikativnega projekta, TECES kot organizator, UM-FERI in DOMEL skupaj z drugimi kot soorganizatorja. Namen posveta je bil vzpostavitev vpogleda na stanje slovenske elektroindustrije s področja pretvornikov električne energije, identifikacija razvojnih izzivov slovenskega gospodarstva in krepitev medsebojnega razvojnega sodelovanja podjetij in raziskovalnih organizacij za doseganje konkurenčnosti slovenskih izdelkov na hitro se spreminjajočem področju pretvornikov električne energije. Dogodek je privabil 157 udeležencev. Več informacij je na voljo na spletni strani

		http://spot-2012.teces.si .
	ANG	The principal investigator and members of the research project group have actively participated in the programme, editorial and organising committee of the professional conference »SPOT 2012 – Innovative Electric Energy Converters«, which was held at the 13th and 14th June, 2012 in Nova Gorica. All partners of the applied research project have been included in the organisation of the conference, TECES as the main organiser, UM-FERI and DOMEL with others as co-organisers. The purpose of the conference was to provide an insight into the Slovenian electrical industry in the field of electric energy converters, to identify development challenges of the Slovenian economy and strengthen mutual development cooperation of companies and research organisations in order to make Slovenian products competitive in the rapidly changing field of electric energy converters. The event attracted 157 participants. More information is available at the website http://spot-2012.teces.si .
Šifra	F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso
Objavljeno v		SPOT 2012, sreda, 13. in četrtek, 14. junij 2012, Nova Gorica, MARČIČ, Tine (ur.), WEINGERL, Sabina (ur.), STERGAR, Bojan (ur.), KOROŠEC, Lucijan (ur.), GAJZER, Matej (ur.). Inovativni pretvorniki električne energije : zbornik prispevkov dvodnevne strokovnega posveta, sreda, 13. in četrtek, 14. junij 2012, Hotel Perla, Nova Gorica. Maribor: TECES - Tehnološki center za električne stroje, 2012. 78 str., ilustr. ISBN 978-961-93321-0-8. [COBISS.SI-ID 69962497]
Tipologija	3.13	Organiziranje znanstvenih in strokovnih sestankov

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Člani projektne skupine projekta L2-2060 so ob podpori partnerjev projekta, partnerjev projekta CESLA in sponzorjev, leta 2012 prvič organizirali Meddržavno študentsko tekmovanje v izdelavi električnega kolesa. Udeležilo se ga je 6 ekip iz treh univerz v Sloveniji in Avstriji. Cilj tekmovanja je spodbujanje inovativnosti študentov in njihovo vključevanje v raziskovalno delo na področju pogonskih sklopov in sistemov. Kot kaže je za tekmovanje dovolj zanimanja študentov, da se ga bo v letu 2013 udeležilo 9 ekip s petih fakultet. Vir: <http://ebikes.uni-mb.si/>.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Kot najpomembnejši znanstveno-raziskovalni prispevek aplikativnega projekta štejemo razvoj novega algoritma vodenja električnih strojev v področju slabljenja polja. Algoritem je bil v BLDC pogonu testiran in eksperimentalno potrjen do hitrosti 20.000 vrtljajev na minuto z implementacijo laboratorijskega prototipa pogona puhala za visoke hitrosti vrtenja. Izhajajoča znanstvena spoznanja in pridobljene izkušnje so seveda nepogrešljive pri nadaljnjem razvoju energijsko učinkovitih aplikacij in aplikacij za visoke hitrosti vseh projektnih partnerjev. Analize izgub so bile izvedene tako, da je bilo moč ovrednotiti prispevek samega pretvornika in prispevek principa vodenja pogona. Izkazalo se je, da je s stališča energijske učinkovitosti bolje namesto vodenja vrtilnega momenta na enoto toka bolje uporabiti vodenje največjega izkoristka. Nadalje se je v okviru projekta ovrednotila učinkovitost in smiselnost uporabe t.i. »line-start« strojev v podobnih sistemih. Razvita je bila popolnoma nova metoda vodenja asinhronskega motorja kot neholomnega sistema, ki se ne uvršča med trenutno znane metode vodenja (ne DTC in niti FOC metode vodenja). Pri novi metodi se za določitev dinamičnih stanj kot osnova uporablja hitrost vrtenja namesto bolj običajne kotne pozicije. Znanstveni dosežki so dokumentirani v več izvirnih znanstvenih člankih renomiranih revij z visokim faktorjem

vpliva. Na podlagi rezultatov projekta je bila vložena patentna prijava. Omenjenih dosežkov do sedaj ni bilo najti v dostopni literaturi. Kar posledično izkazuje visok potencialni vpliv rezultatov projekta na mednarodno znanstveno-raziskovalno skupnost in s tem promocijo in vidnost članov projektne skupine, partnerjev projekta in nenazadnje Republike Slovenije v mednarodnem prostoru.

ANG

The most important scientific-research contribution of the applied-research project is certainly the development of a novel control algorithm for electric machines in the field-weakening regime. The algorithm has been tested in the BLDC drive and experimentally validated up to the speed of 20.000 rpm by the implementation of a laboratory prototype for the high speed blower drive. The resulting scientific conclusions and the experience gathered are indispensable in further development of energy-efficient and high speed applications of all project partners. The loss analyses have been done in a way that enables the evaluation of the converter's contribution and the contribution of the drive's control algorithm. From the energy-efficiency viewpoint, it has been demonstrated that it is favorable to employ the maximum efficiency control rather than torque per ampere control. The efficiency of employing the so called "line-start" machines in such systems has been evaluated in frame of the project as well. A completely new control method for induction motors as neholomnaga systems, which does not fall under the currently known control methods (neither direct-torque-control nor field-oriented-control methods) has been developed. The new method employs the rotation speed rather than the more usual angular position as the base for estimation of dynamic states. The scientific achievements are documented in several original scientific articles published in renowned journals with high impact factor. Based on the project results, a patent application has been filed as well. The aforementioned achievements until now have not been present in the available literature. This consequently demonstrates the potentially high impact of the project results on the international scientific-research community and with it the promotion and visibility of the project group members, project partner and the Republic of Slovenia in the international environment.

10.2.Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

V splošnem še vedno velja, da v razvitih industrijskih državah električni pogoni pretvorijo več kot polovico proizvedene električne energije v druge oblike. Zato morajo tržni izdelki dosegati minimalne nivoje energijske učinkovitosti določene z različnimi predpisi. Aplikativni raziskovalni projekt se je ukvarjal z brezsenzorskimi hitro tekočimi pogoni, katerih tržni delež se neustavljivo širi v več segmentih.

Najpomembnejši rezultat raziskovalnega dela predstavlja vsekakor v okviru projekta predlagan nov pristop vodenja, ki bo uporabljen v družini pretvornikov za puhala v podjetju DOMEL. Omenjeni pretvorniki se uporabljajo v industriji gretja, ventilacije in klimatizacije. Z dokončanjem razvoja in ovrednotenimi rezultati testiranja laboratorijskega prototipa so bili postavljeni trdni temelji za nadaljnjo industrializacijo izdelkov za globalni trg. V okviru projekta je bilo pokazano, da predlagan nov koncept algoritma vodenja in do laboratorijskega prototipa razvit brezsenzorski pogon za puhala deluje vsaj do hitrosti 20.000 vrtljajev na minuto z visoko energijsko učinkovitostjo. Rezultati projekta posledično omogočajo, da sofinancer DOMEL pod svojo lastno blagovno znamko celovito trži družino pogonov za puhala z visoko energijsko učinkovitostjo. Tako lahko rezultate tematsko uvrstimo med tehnologije za trajnostno gospodarstvo, oz. med tehnologije za učinkovito rabo energije.

Z uveljavljanjem sofinancerja na svetovnem trgu ter ostalih partnerjev projekta kot ponudnikov sodobnih in energetske učinkovitih izdelkov ter rešitev, z njihovo aktivno vpetostjo v mednarodno sodelovanje ter delitev dela, bo posledično omogočena promocija znanstvene in gospodarske dejavnosti Republike Slovenije znotraj EU in sveta. Republika Slovenija tako izkazuje, da se ne le zaveda okoljevarstvenih problemov temveč aplikativno razvojno-raziskovalno sodelovanje znanstvene in gospodarske sfere znotraj projektov, ki se ukvarjajo s problemi reševanja energetske učinkovitosti ter varovanjem okolja tudi konkretno finančno podpira.

ANG

In general, it is still true that electric drives in industrially developed countries convert more than a half of the produced electrical energy into other forms. Therefore, the products on

market have do attain regulated minimum levels of energy efficiency. The applied-research project dealt with sensorless high speed drives which market share is unstoppable increasing in several segments.

The most important scientific-research contribution of the project is certainly the newly proposed control approach, which will be used in a family of converters for blowers of the company DOME. These converters are used in the heating, ventilation and air-conditioning industry. With the completion of the development process and evaluated test results of the laboratory prototype, a solid foundation for further product industrialization for the global market has been established. It has been shown in the frame of the project that the proposed novel control algorithm concept and up to the laboratory prototype developed sensorless blower drive operates at least up to 20.000 rpm with high energy efficiency. Consequently the project results enable that the project beneficiary DOME offers the integral family of complete high energy efficient blower drives on the market under its own trademark. Therefore, the results can be classified within technologies for sustainable economy and technologies for the efficient use of energy.

The establishment of the co-financier and other project partners as providers of modern, energy-efficient projects and solutions on the global market, as well as their active integration into international collaboration and division of labour, will subsequently allow for promotion of scientific and business activities undertaken by the Republic of Slovenia in the EU and worldwide. The Republic of Slovenia thus proves that it is not only aware of environmental issues, but that it also lends concrete financial support to applied-research and development collaboration in scientific and business fields within projects dealing with energy efficiency issues and environmental protection.

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

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

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih	

	procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

Cilj projekta je bil razvoj visoko učinkovitega sistema brezsenzorskega vodenja v zelo širokem področju hitrosti.

V okviru projekta je bil do faze laboratorijskega prototipa razvit sistem vodenja. Industrializacija je prepuščena sofinancerju. Med projektom je prišlo do novih znanstvenih spoznanj, ki so bila objavljena v revijah s faktorjem vpliva. Izvirna rešitev je bila zaščitena z domačim patentom. Sodelovanje s sofinancerjem je pripeljalo tudi do pridobivanja novih praktičnih znanj in večje usposobljenosti raziskovalno-razvojnega osebja. Prenos v okviru projekta pridobljenih znanj omogoča sofinancerju dvig tehnološke ravni in pogoje za začetek novega tehnološkega razvoja na področju sodobnih sistemov brezsenzorskega vodenja za puhalo.

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

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☒	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☒	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
	Razširitev ponudbe novih					

G.02.01.	izdelkov/storitev na trgu					
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov					
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje					
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije					
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti					
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost					
G.02.07.	Večji delež izvoza					
G.02.08.	Povečanje dobička					
G.02.09.	Nova delovna mesta					
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih					
G.02.11.	Nov investicijski zagon					
G.02.12.	Drugo:					
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti					
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti					
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij					
G.03.04.	Drugo:					
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja					
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja					
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave					
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti					
G.04.05.	Razvoj civilne družbe					
G.04.06.	Drugo:					
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura					
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

V okviru projekta pridobljena znanja bodo prenesena tudi program visokošolskega izobraževanja. Ker gre za specifična znanja, bo vključevanje manjše na stopnji dodiplomskega in večje na stopnji podiplomskega izobraževanja.

Z razvitim sistemom brezsenzorskega vodenja ima sofinancer možnost razširitve svoje palete izdelkov, s tem pa tudi možnost za osvojitve novih trgov. Tudi bistvenega povečanja delovnih mest vsaj na začetku ni mogoče pričakovati. Glede na obstoječi izdelek sofinancerja znižanje stroškov proizvodnje in porabe energije in materiala ne bo bistveno. Zaradi povsem novega izdelka, ki je v skladu z današnjo stopnjo razvoja tehnike ali še malo pred njo, je mogoče pričakovati posodobitev dejavnosti in tehnološko posodobitev in večje učinke na področjih razširitve dejavnosti, večje konkurenčnosti, povečanja dobička, dviga izobrazbene strukture in investicijskega zagona. Posredno lahko rezultati projekta vplivajo tudi na dvig kakovosti življenja in morebiti izboljšanje vodenja. Drugih vplivov za enkrat ni mogoče pričakovati.

13. Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv	DOMEL, Elektromotorji in gospodinjski aparati, d.o.o.	
	Naslov	Otoki 21, 4228 Železniki	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	54.620,23	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	F.01
	2.	Dvig tehnološke ravni	F.04
	3.	zboljšanje obstoječega izdelka	F.07
	4.	Razvoj in izdelava prototipa	F.08
	5.	Razvoj novega izdelka	F.06
	Komentar	V okviru projekta je bil razvit laboratorijski sistem brezsenzorskega vodenja pogona za puhala, ki obratuje v širokem področju hitrosti ob visokem izkoristku. Za izvedbo projekta je bilo razvito pretvorniško vezje, krmilni sistem in algoritem brezsenzorskega vodenja. Omenjeni elementi so bili združeni v laboratorijski prototip sistema brezsenzorskega vodenja, ki je bil preizkušen na dejanskem puhalu in je zadovoljivo deloval v področju hitrosti okrog 20000 vrt/min. Neposredno z izvajanjem projekta sta povezani tudi dve doktorski disertaciji. Prva, ki je že zaključena, obravnava problematiko izbire ustrezne izvedbe brezsenzorskega vodenja za puhala, ki obratujejo v širokem področju hitrosti. V okviru omenjenih disertacij je predstavljen tudi način za razširitev področja hitrosti delovanja puhala z obratovanjem pogonskega stroja v področju slabljenja polja. Za obratovanje pogonskega stroja v področju slabljenja polja je predlagan nov način vodenja navara stroja, ki temelji na vodenju kota vektorja napetosti. Omenjen način omogoča izkoriščanje celotne razpoložljive napetosti na enosmernem vodilu pretvornika in s tem razširi področje hitrosti delovanja puhala. Ob tem je zagotovljena boljša dinamika odzivov navara, prehodi v obratovanje v področju slabljenja polja in iz njega pa so gladki in brez oscilacij. Predlagan način vodenja je bil preizkušen na puhalu pri brezsenzorski in senzorski izvedbi vodenja. Druga doktorska disertacija, ki je v zaključni fazi, se osredotoča na izboljšanje izkoristka pogonskega sklopa. Pri tem je najprej določena	

	optimalna modulatorska frekvenca razsmernika v pogonskem sklopu, kjer so skupne izgube v pogonskem sklopu najmanjše. Za tem je izvedena analiza različnih načinov vodenja pogonskega sklopa. Sledenja je pokazala, da vodenja z največjim navorom stroja na enoto toka ni najbolj učinkovito. Učinkovitost pogonskega sklopa se da izboljšati, če pogonski sklop vodimo v skladu s karakteristiko največjega izkoristka. Predlagan način vodenja z uporabo karakteristike največjega izkoristka je bil potrjen pri senzorski in brezsenzorski izvedbi vodenja pogonskega sklopa.
Ocena	V okviru projekta so bila pridobljena nova znanja, ki jih bo mogoče s pridom izkoristiti pri novih pogonskih sistemih za puhalo, kar bo pripomoglo k dvigu tehnološke ravni v podjetju. Izsledki pridobljeni pri razvoju prototip sistema brezsenzorskega vodenja v okviru projekta so že vključeni v razvoj novih družine sistemov vodenja pogonskih sklopov za puhalo, ki so blizu faze industrializacije. Slednji predstavljajo dobro osnovo za novo družino izdelkov, ki bi lahko obogatili in zaokrožili ponudbo podjetja na področju pihal.

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Razvit je bil nov sistem vodenja sinhronskega stroja s trajnimi magneti v področju slabljenja polja. Predlagani sistem vodenja temelji na vodenju kota vektorja napetosti. Slednji je sestavljen iz več komponent. Prva je integriran in ustrezno ojačan pogrešek toka v osi q. Druga, ki se pojavi le med prehodnimi pojavi, pa je tok v osi d, ki je filtriran s pasovno propustnim sitom. Druga komponenta omogoča zelo dobro dinamiko sledenja navora dani referenci, povečano stabilnost in gladek prehod v področje obratovanja s slabljenjem polja in nazaj. Z uporabo metode slabljenja polja je mogoče še malo dvigniti največjo hitrost vrtenja v pogonih za puhalo. Predlagana metoda vodenja v področju slabljenja polja omogoča izkoriščanje celotne razpoložljive napetosti na enosmernem vodilu pretvornika.

14.2. 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:

TECES, Tehnološki center za
električne stroje

Gorazd Štumberger

ŽIG

Kraj in datum:

Maribor

21.3.2013

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/234

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

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

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

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

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

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

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

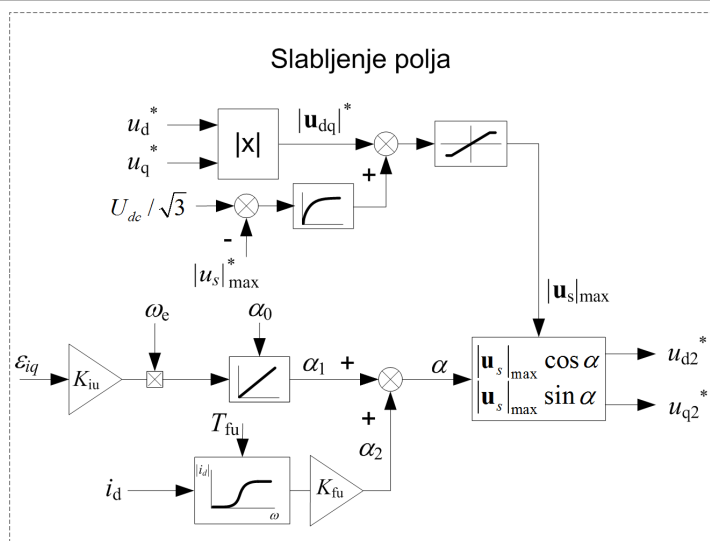
1F-B5-83-39-69-60-D3-9A-81-64-21-04-27-05-38-25-F4-22-9B-F0

TEHNIKA

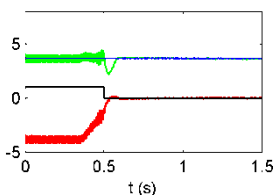
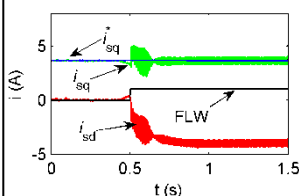
Področje: 2.12 - Električne naprave

Dosežek 1: Nov algoritem vodenja sinhronskega stroja s trajnimi magneti v področju slabljenja polja temelječ na vodenju kota vektorja napetosti, Vir: David Stojan s soavtorji, Novel field-weakening control scheme for permanent-magnet synchronous machines based on voltage angle control. *IEEE Transactions on industry applications*, 2012, vol. 48, no. 6, str. 2390-2401.

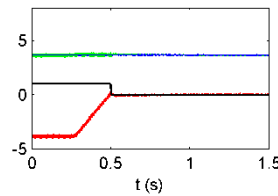
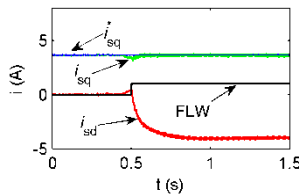
Nov algoritem vodenja v področju slabljenja polja



Obstoječa izvedba vodenja



Nova izvedba vodenja



- Razvit je bil nov algoritem vodenja v področju slabljenja polja, ki omogoča, da je napetost na enosmernem vodilu pretvorniškega vezja v celoti izkoriščena, kar posledično strojem s trajnimi magneti omogoča doseči višjo končno hitrost.

- Glavne prednosti predlaganega algoritma je mehkejši prehod (manj je oscilacij tokov) v področje slabljenja polja in prehod nazaj v področje konstantnega navora, boljša dinamika v odzivih toka in navora ter izboljšana stabilnost sistema.

- Na osnovi analize stabilnosti, so podane smernice za izbiro parametrov predlaganega algoritma vodenja.

- Algoritem je dokaj enostaven in zato primeren za uporabo v industrijskih aplikacijah