

Elektros inžinerija T 190

SROVĖS ERDVINIO VEKTORIAUS VALDYMO MODELIS

Robertas Janickas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: rjanickas@dalkia.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas vektorinis asinchroninio variklio valdymas, maitinant asinchroninį variklį iš srovės inverterio. Sukurtas asinchroninio variklio dinaminis modelis MatLab SIMULINK terpėje. Modelis papildytas erdvinio srovės vektoriaus valdymo blokais ir taip sudarytas kompleksinis vektorinio valdymo pavaros modelis. Pateikiama asinchroninio variklio netiesioginio srovės erdvinio vektoriaus valdymo struktūrinė schema, pagal kurią sudarytas dinaminis modelis. Pateikiamos tiriamojo variklio dinaminės charakteristikos reverso metu, kai prieš antrąjį reversą trumpai sujungiamos dvi maitinimo apvijos. Aptariami gauti trumpojo jungimo imitacijos rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: srovės erdvinis vektorius, valdymas, asinchroninis variklis, modelis.

Įvadas

Asinchroninio variklio sukimosi greitį lemia trifazio elektros tinklo dažnis ir variklio polių skaičius. Dažnai asinchroninio variklio sukimosi greitis turi būti reguliuojamas, ir tai leidžia valdyti technologijas, taupyti elektros energiją.

Vien galimybės reguliuoti greitį dažnai neužtenka – preciziniams matavimams bei tikslaus sukimosi greičio reikalaujantiems procesams reikalingas dar ir tikslus sūkių skaičius palaikymas kai kinta apkrova arba sistema veikia trikdžiai.

Europos rinkos tyrimai rodo, kad dažnio keitiklių rinka nuolat didės. Tai lems konkurencingesnės kainos, nuolatinis šių prietaisų tobulinimas. Jie bus labiau pritaikomi ir vis didės poreikis geriau valdyti technologijas ir taupyti energiją. Naudojant savidiagnostikos galimybes, ypač kai šiai funkcijai įgyvendinti nereikia papildomų jutiklių, naudojamas bejutiklinis (angl. *soft sensing*) metodas. Jis gali būti įdiegtas tiek į dažnio keitiklį tiek į variklio valdymo sistemą. Todėl ši sritis pradedama daugiau tyrinėti (Bierke *et al.* 1996; Valentine *et al.* 1998; Hazzab *et al.* 2005).

Šiame darbe nagrinėjamas vektorinis asinchroninės pavaros su srovės inverteriu modelio sudarymas, naudojant asinchroninio variklio dinaminį modelį. Dinaminis modelis yra saugi ir nereikalaujanti didelių investicijų tyrimo alternatyva, kuri taikoma įvairiems režimams, dažnai ekstremaliems, tirti ir kurti modelius.

Vektorinio valdymo principas

Magnetinis laukas, kurį reikia valdyti, kuriamas variklio statoriuje. Tai nejudama asinchroninio variklio dalis, kurios viduje sukasi rotorius. Tiesiaiegiame variklyje nejudamą dalį dažniausiai sudaro induktoriai, tarp kurių juda antrinis elementas.

Trifaziame variklyje fazinės srovės valdomos taip, kad sukurtų sukamąjį magnetinį lauką ir rotorius sukūsi ta pačia kryptimi kaip ir laukas. Tada, tinkamai valdant statoriaus srovės, t. y. valdant abiejų srovės dedamųjų amplitudes transformuotoje koordinačių sistemoje, sudaromas vektorius, kuris seka statoriaus ir rotoriaus magnetinius laukus viso sukimosi metu. Toks valdymas vadinamas srovės erdvinio vektoriaus valdymu.

Trifazio variklio fazinėmis apvijomis tekanti srovė sudaro šešias fazines zonas arba polius. Srovę galima valdyti impulsų pločio moduliacijos (toliau IPM) arba analoginiu būdu. Valdymo paklaida priklauso nuo jutiklių signalo duomenų skiltiškumo, grįžtamojo ryšio duomenų, srovės grįžtamojo ryšio ir duomenų atnaujinimo spartos.

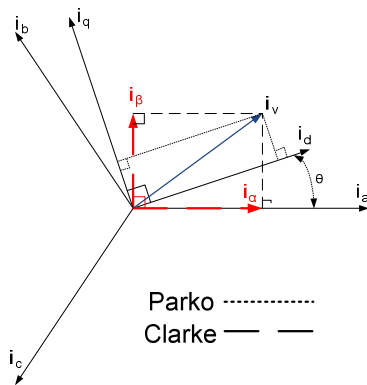
Varikliui valdyti pakanka tik dviejų srovių dedamųjų. Viena srovės dedamoji i_d yra išilginė ir susieta tikta su statoriaus magnetiniu srautu. Tai yra srovė, kuri kuria magnetinį lauką ir, veikdama asinchroninio variklio rotorį, priverčia jį pasisukti ta pačia kryptimi. Jeigu valdymui būtų naudojama tik ši srovė, tai judesys būtų žingsninis ir jį būtų galima valdyti keičiant statoriaus srauto padėtį viso apsisukimo metu.

Kita srovės dedamoji i_q yra skersinė ir jos fazė skiriasi nuo pirmosios 90° . Ši srovė kuria srautą, kuris atsilieka arba lenkia statoriaus srautą. Jei jis atsilieka nuo statoriaus srauto judesio, variklis dirba generatoriniu režimu, o jeigu pralenkia – varikliniu režimu. Nuo i_q srovės vertės, kuri valdoma, priklauso ir sukimo momentas. Didesniam sukimo momentui gauti, reikalinga ir didesnė i_q . Didesniam rotoriaus srautui gauti reikalinga didesnė i_d . Žinant šitas dvi vertes, galima rasti vektorių, kuris atitiktų variklio sukimo momentą. Reikiamos i_d , i_q vertės sukuriamos keičiant proporcinio integralinio diferencialinio (PID) regulatoriaus valdymo parametrus, pavyzdžiui, stiprinimo koeficientus ir regulatoriaus pastoviasias. Šios srovių vertės yra naudojamos pavaros, sukimo momentui, greičiui ar rotoriaus padėčiai valdyti (Ключев *et al.* 1985; Holts *et al.* 1992).

Clarke transformacija

Kadangi bandymas valdyti variklį naudojant atskiras fazines sroves yra sudėtingas, todėl naudojama Clarke transformacija, kuri leidžia pakeisti trijų fazinių srovių $i_a(t)$, $i_b(t)$, ir $i_c(t)$ sukurtą srovės vektorių išreikšti stačiakampėje koordinatinių sistemoje srovių i_α ir i_β komponentėmis. Ši transformacija yra pavaizduotas 1 pav.

Pritaikius Clarke transformaciją, srovės priklauso rotoriaus greičio ir kinta laike, todėl ją sunku panaudoti. Parko transformacija supaprastina uždavinio sprendimą. Ji transformuoja dvifazę stačiakampę koordinatinių sistemą į besisukančią d, q koordinatinių sistemą. Jeigu rotoriaus srautas yra nukreiptas išilgai d ašies, tai srovės vektorius gali būti išskaidytas į dvi komponentes i_d ir i_q . Jos priklauso nuo srovės komponentių i_α ir i_β ir rotoriaus srauto padėties kampo θ .



1 pav. Srovių vektoriai

Fig. 1. Current vectors

d, q koordinatinių sistemoje srovės nepriklauso nuo laiko, todėl rotoriaus lauko ir sukimo momento valdymui galima naudoti abi srovių komponentes: i_d , vadinamą srauto komponente ir i_q , vadinamą momento komponente.

Parko transformacija užrašoma kaip paprasta koordinatinių transformacijos matrica:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}, \quad (1)$$

čia θ – kampas tarp koordinatinių sistemų.

Netiesioginis lauko valdymas

Sistemoje, kuriose variklis veikia mažu greičiu ir pozicionavimo sistemoje reikia palaikyti didelį greičio tikslumą. Būtent tokioms sistemoms reikalingas alternatyvus valdymas, toks kaip netiesioginis lauko valdymas. Momentas gali būti valdomas keičiant i_{qs}^e ir slydimo greitį, $\omega_e - \omega_r$. Rotoriaus srautas gali būti valdomas keičiant i_{ds}^e . Pasirinkus rotoriumi norimą srauto dydį, λ_r^* , reikiamas i_{ds}^{e*} skaičiuojamas taip:

$$\lambda_r^* = \frac{r_r' L_m}{r_r' + L_r p} i_{ds}^{e*}. \quad (2)$$

Norimas momentas T_{em}^* , atitinkantis esamą rotoriaus srauto vertę, skaičiuojamas taip:

$$T_{em}^* = \frac{3 P L_m}{2 L_r} \lambda_r^* i_{ds}^{e*}. \quad (3)$$

Tai parodo, kad jeigu i_{dr}^e yra lygus nuliui ir $\lambda_{dr}^e = L_m i_{ds}^{e*}$, tai slydimo greitis gali būti užrašytas:

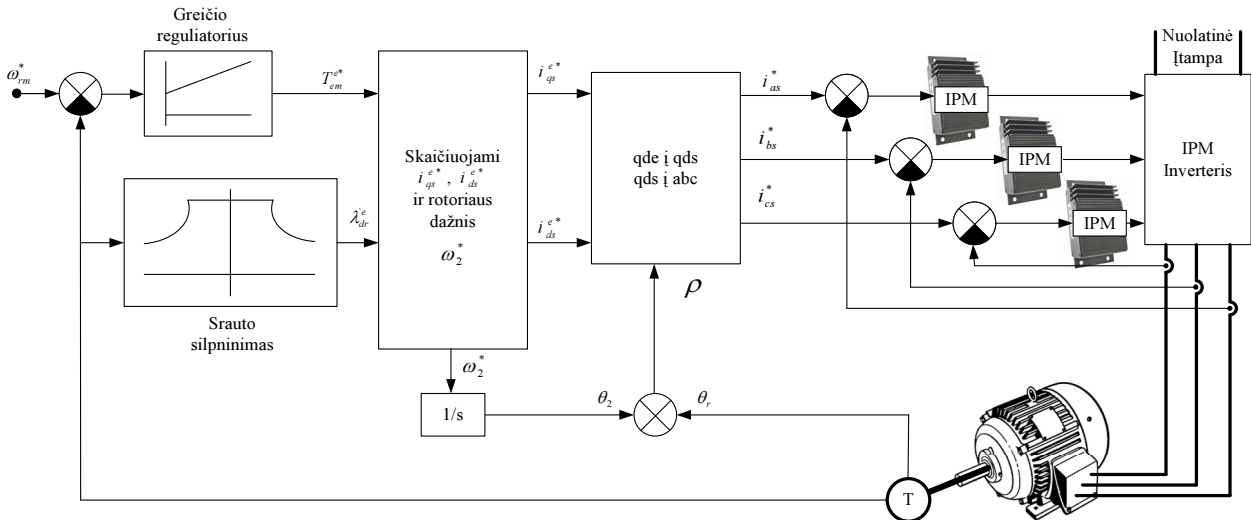
$$\omega_2^* = \omega_e - \omega_r = \frac{r_r' i_{qs}^{e*}}{L_r p i_{ds}^{e*}}. \quad (4)$$

Srauto krypties kampas ρ yra rotoriaus kampo θ_r , gauto iš pozicionavimo jutiklio ir kampo θ_2 , gaunamo suintegravus slydimo greitį, suma. Jeigu $\cos\theta_r$ ir $\sin\theta_r$ yra gaunami iš veleno sukimosi greičio matuoklio, dydžiai $\cos\rho$ ir $\sin\rho$ skaičiuojami iš išraiškų (Caron *et al.* 1985; Holts *et al.* 1992; Lorenz *et al.* 1990; Karanayil *et al.* 2001):

$$\begin{aligned} \cos\rho &= \cos(\theta_r + \theta_2) = \cos\theta_r \cos\theta_2 - \sin\theta_r \sin\theta_2; \\ \sin\rho &= \sin(\theta_r + \theta_2) = \sin\theta_r \cos\theta_2 + \cos\theta_r \sin\theta_2. \end{aligned} \quad (5)$$

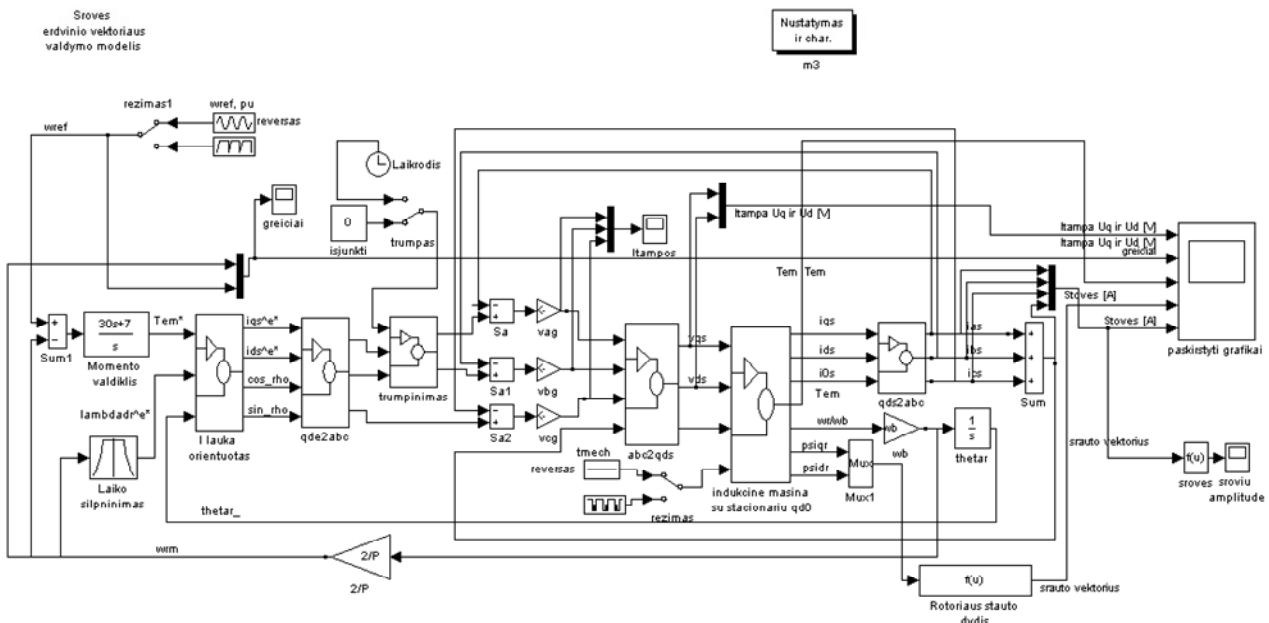
Pats imitacinis modelis yra sudarytas naudojant programos MATLAB paketą SIMULINK. Modelis sudaromas iš standartinių blokų. Srovės erdvinio vektoriaus valdymo modelis pateiktas 3 pav.

Sudarytame modelyje reikia užduoti sistemai pradinės sąlygas. Norint palaikyti rotoriaus magnetinį srautą



2 pav. Asinchroninio variklio netiesioginio srovės erdvinio vektoriaus valdymo struktūrinė schema

Fig. 2. Structural scheme of indirect field oriented induction motor control



3 pav. Asinchroninio variklio netiesioginio srovės erdvinio vektoriaus valdymo modelis SIMULINK terpėje

Fig. 3. SIMULINK model of indirect field oriented induction motor control

statmeną statoriaus srauto atžvilgiu, paleidimo momentu reikia žinoti tikslią pradinę rotorius padėtį.

Pavaros modeliui valdyti yra sudaryta atskira programa, kuri paleidžiama mygtuku „Nustatymas“. Ji užduoda sistemos kintamiesiems pradinės nuostatas arba jų kitimo funkcijas.

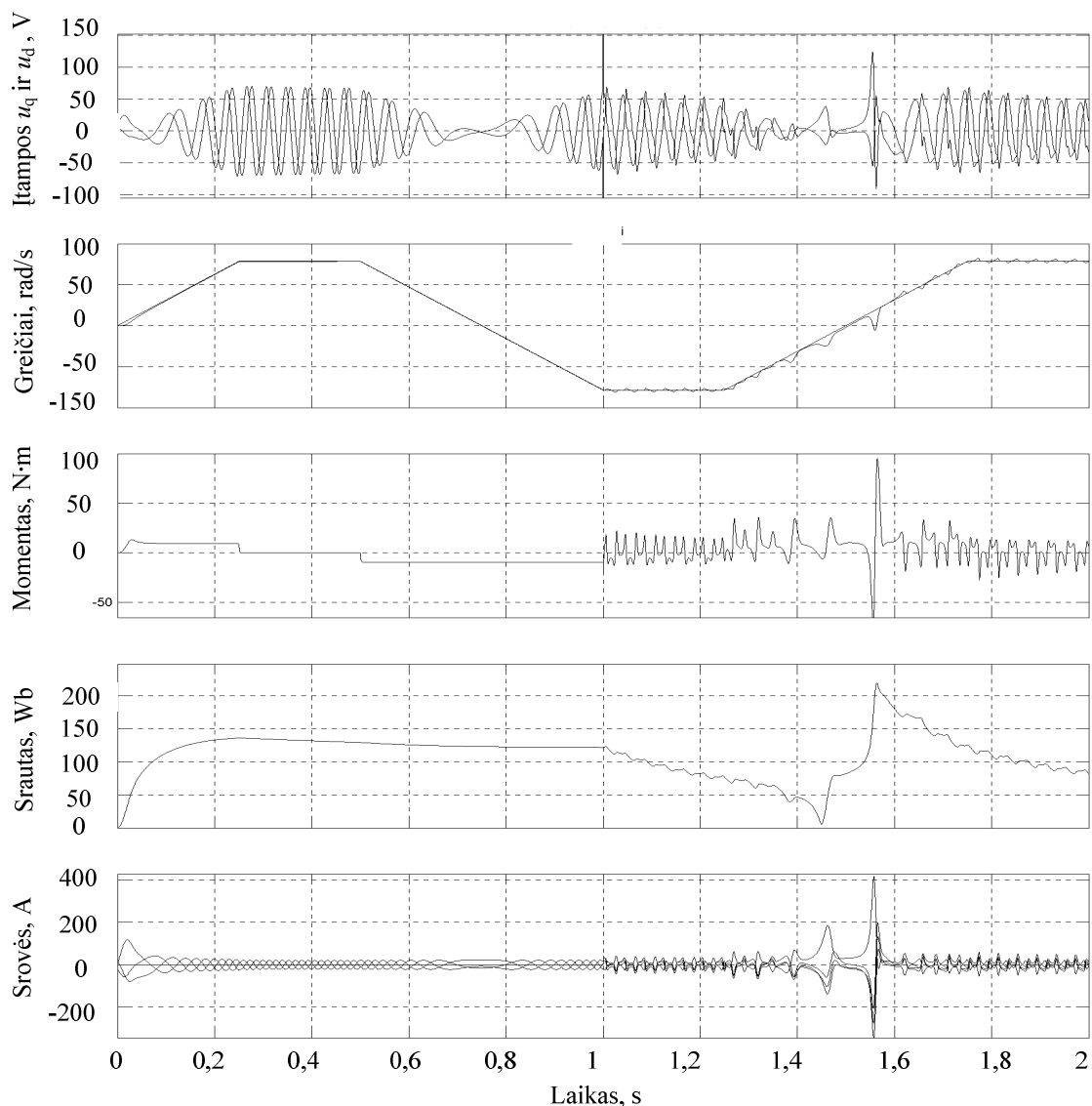
Pereinamųjų vyksmų imitacija

Pereinamųjų vyksmų imitacijai yra panaudojamas pavaros modelis, pateiktas 3 pav.

Tiriant modelį, vienas iš bandymų yra trumpasis jungiamas. Šiuo atveju buvo trumpai sujungtos dvi variklį maitinančios fazės.

Tokio tipo bandymus labai patogu atlikti su modeliais, nes tai saugu ir galima iširti avariniu režimu. Variklio valdymo funkcija paliekama tokia pati, kaip ir reverso atveju. Variklis reversuojamas esant pastoviam apkrovos momentui, bet praėjus 1 s, dvi maitinimo įtampas fazės sujungiamos trumpai.

Kaip matyti iš 4 pav., įvykus trumpajam jungimui, variklis mėgina palaikyti nustatytą sukimosi greitį ir dėl to padidėja variklio fazinės srovės. Iš rotoriaus srauto



4 pav. Dvifazis trumpasis jungimas

Fig. 4. Two phase short-circuit

pokyčio bei variklio kuriamo momento matosi, kad jų vertės viršija leidžiamas vertes. Variklio greitis nežymiai reaguoja į momento kitimą ir su paklaida pakartoja nuostatos dėsnį.

Dviejų fazių trumpojo jungimo režimo metu padidėjusios srovės ir atsiradę momento smūgiai gali sugadinti variklį ir padaryti žalos valdymo įrangai. Siekiant išvengti avarinių režimų, reikia stebėti variklio valdomuosius kintamuosius: srovės, įtampas. Tai gali atlikti tam tikra papildoma įranga arba sudarytos programos.

Galimas programinis variantas: stebėti maitinimo įtampą, nustačius tam tikras įtampas ribas, kurias pasiekus variklis yra atjungiamas; arba, paleidus variklį, stebėti srovės, atitinkančias apkrovą, kurias viršijus, variklį

reikia išjungti. Antrasis pasiūlytas būdas tinkamas ir savi-diagnozei.

Išvados

1. Paleidus variklį, rotoriaus srautas įgauna nusistovėjusią vertę ir išlieka pastovus.
2. Variklio paleidimo metu greitis atsilieka nuo užduoto su nežymia paklaida, todėl tikslinga srovės erdvinio vektoriaus valdymo būdu palaikyti variklio sukimosi greitį.
3. Apkrovos pokytis keičia įtampas ir srovės kreivių amplitudes.
4. Iš sistemos valdomų kintamųjų pokyčių matyti, kad dažninėje pavaroje dažnio pokytis susietas su amplitudės pokyčiu.

5. Trumpojo jungimo metu srovė gali siekti iki 400 A.

Pasiūlymai:

1. Trumpojo jungimo darbo režimas gali sugadinti variklį ir padaryti žalą prijungtam prie variklio įrenginiui, todėl reikia stebėti variklio valdomuosius kintamuosius. Tai gali atlikti tam tikra papildoma įranga arba valdymo paprogramė, stebinti maitinimo įtampą arba variklio paleidimo srovės esant tam tikrai apkrovai. Viršijus leistinas srovės vertes apsaugos turi atjungti variklį. Antrasis pasiūlytas būdas tinka ir savidiagnostikai.

2. Šiuo metu yra kuriamas asmeninio kompiuterio USB jungties priedas (valdiklis), kuris leis imituojamo modelio gaunamus valdymo rezultatus panaudoti realiam varikliui valdyti ir palyginti su eksperimentiniais rezultatais.

3. Tikslinga sukurti bejutiklinę diagnostikos sistemą.

Padėkos

Dėkoju prof. habil. dr. Algirdui Smilgevičiui už pagalbą rengiant straipsnį.

Literatūra

- Bierke, S. 1996. Enhanced control of an alternating current motor using fuzzy logic and a TMS320 digital signal processor, *Texas Instruments*. 524 p.
- Caron, J. P.; Hautier, J. P. 1995. Modelling and Control of Induction Machine, *Technip Edition France*. 31 p.
- Hazzab, A.; Bousserhane, I. K.; Kamli, M.; Rahli, M. 2005. Design of fuzzy sliding mode controller by genetic algorithms for induction machine speed control, in *Third IEEE International Conference on Systems, Signals & Devices SSD'05, Tunisia*, 56–59.

Hazzab, A.; Bousserhane, I. K.; Kamli, M.; Rahli, M. 2005. New adaptive fuzzy PI-sliding mode controller for induction machine speed control, in *Third IEEE International Conference on Systems, Signals & Devices SSD'05, Tunisia*, 125–128.

Holts, J. 1992. *Pulsewidth modulation – A survey*, *IEEE*. 13 p.

Karanayil, B.; Rahman, M. F.; Grantham, C. 2001. PI and fuzzy estimators for on-line tracking of rotor resistance of indirect vector controlled induction motor drive, in *IEEE Inter. Conf. on Power Electronics*, 298–301.

Lorenz, R. D.; Lawson, D. B.; Simplified, A. 1990. Approach to continuous on-line tuning of field-oriented induction machine drive, *IEEE Trans. On Industry application* 26(3): 425–429.

Miloud, Y.; Draou, A. 2005. Performance analysis of a fuzzy logic based rotor resistance estimator of an indirect vector controlled induction motor drive, *Turk. Jour. Elec. Engin.* 13(3): 426–429.

Minh, T.-C.; Hoang L.-H. 1996. Model reference adaptive fuzzy controller and fuzzy estimator for high performance induction motor drives, in *Thirty First IEEE IAS Annual Meeting Conference Record* 1: 380–387.

Valentine, R. 1998. *Motor Control Electronics Handbook* [CD-ROM].

Ключев, В. И. 1985. *Теория электропривода*. Москва: Энергоатомиздат. 253 p.

MODEL OF CURRENT SPACE VECTOR CONTROL

R. Janickas

Abstract

Space vector control Simulink model is developed and investigated. Physical phenomena occurring in AC motor during mentioned control usage and results are discussed. Short circuit mode is investigated.

Keywords: current space vector, control, induction motor, model