

DAŽNIO KEITIKLIU VALDOMO TRIFAZIO ASINCHRONINIO VARIKLIO STATORIAUS APVIJŲ SROVIŲ HARMONINĖS SUDĖTIES TYRIMAS

Jevgenij Lezner

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: jevgenij.lezner@gmail.com

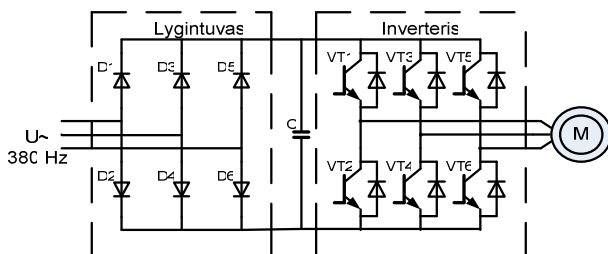
Santrauka. Nagrinėjama trifazio asinchroninio variklio statoriaus srovių harmoninė sudėtis, keičiant sinusinės impulsų pločio moduliacijos gylį bei nešančiojo signalo dažnį. Pateikta simetriško trifazio asinchroninio variklio, jungiamo žvaigžde be nulinio laido, matematinis modelis. Matlab Simulink pakete buvo sukurtas sinusinės impulsų pločio moduliacijos modelis ir S-Function pagalba variklio modeliai. Imituojant gautos srovės buvo išskleidžiamos greitąja Furjė transformacija.

Reikšminiai žodžiai: sinusinė impulsų pločio moduliacija, trifazis asinchroninis variklis, statoriaus apvija, harmonikos.

Įvadas

Asinchroninio variklio sukimosi greitį lemia trifazės įtampos dažnis. Todėl, maitinant variklį iš standartinio tinklo, jo sukimosi greitis yra beveik pastovus ir nevaldomas. Dažnio keitiklis keičia standartinį tinklo dažnį į reikiamą dažnį. Maitinant variklį įtampa, sukuriama dažnio keitikliu, galima reguliuoti jo sukimosi greitį, sukimo momentą bei sukimo kryptį ir tokiu būdu valdyti technologinius procesus, kuriuose jis naudojamas. Europos rinkos tyrimai rodo, kad dažnio keitiklių rinka nuolat didėja. Tai lemia nuolatinis šių prietaisų tobulinimas, kuris išplečia jų pritaikymo galimybes, konkurencingesnės kainos bei vis didėjantis poreikis valdyti technologijas ir taupyti energiją.

Dažnio keitiklį sudaro lygintuvas su talpine apkrova, kuris išlygina kintamąją įtampą į nuolatinę, ir inverteris, kuris keičia nuolatinę įtampą į reikiamo dažnio kintamąją įtampą. Todėl modelyje variklį galima maitinti iš inverterio (1 pav.).



1 pav. Dažnio keitiklio schema

Fig. 1. Frequency converter scheme

Dažnio keitiklio išėjimo signalas nėra sinusinis. Jis yra stačiakampių impulsų pavidalo. Todėl statoriaus apvių srovėse atsiranda harmonikos. Harmonikos padidina nuostolius. Siekint taupyti elektros energiją būtina mažinti nuostolius.

Šio darbo tikslas yra sudaryti inverterio modelį, kuris veikia sinusinės impulsų pločio moduliacijos principu ir ištirti trifazio asinchroninio variklio, maitinamo iš tokio inverterio, statoriaus srovių harmoninę sudėtį.

Sinusinis impulsų pločio moduliacijos metodas

Šis moduliacijos tipas dažnai taikomas pramoniniuose dažnio keitikliuose (Bose 2002; Rinkevičienė *et al.* 2008). 2 pav. paaiškina bendrąją sinusinės impulsų pločio moduliacijos veikimo principą. Čia trikampė nešančiojo signalo, turinčio dažnį f_c , įtampa sulyginama su pagrindinio dažnio f sinusine įtampa. Kreivių susikirtimo taškai nusako galios elektronikos prietaisų įjungimo momentus. Įtampos U_{a0} , iškirpimo ir impulsų pločiai kinta sinuso dėsnio, todėl jos pagrindinės harmonikos dažnis yra toks pat, kaip f , o amplitudė lygi nustatytai moduliacijos įtampai. Tas pat nešantysis signalas gali būti naudojamas visų trijų fazinių įtampų formavimui. Įtampos U_{a0} Furjė analizė rodo, kad ji gali būti užrašyta tokia forma:

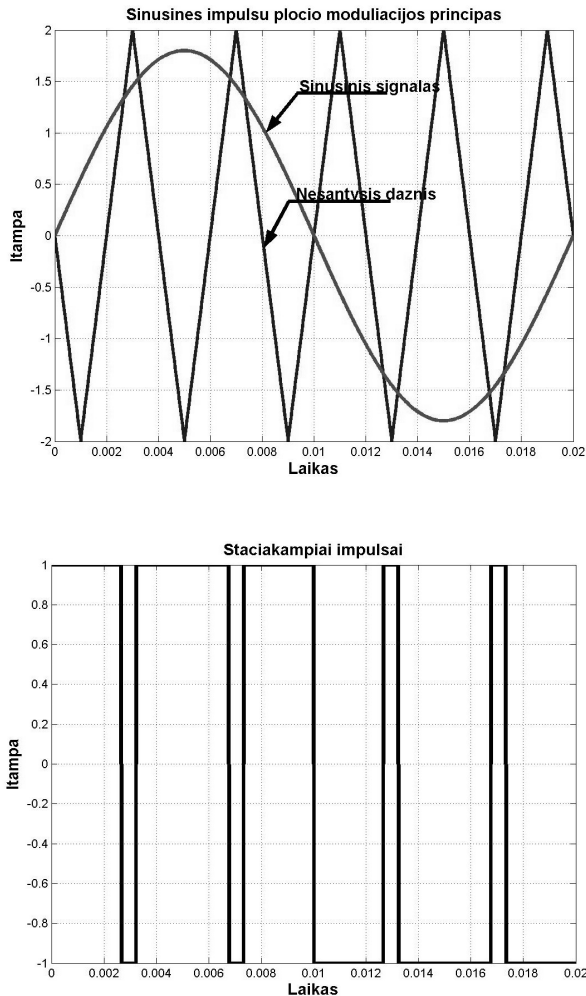
$$U_{a0} = U_d \sin(n\omega t + \varphi), \quad (1)$$

čia: ω – pagrindinės (pirmosios) harmonikos dažnis; φ – inverterio išėjimo įtampos fazė; n – harmonikos numeris; U_d – įtampos amplitudės vertė.

Moduliacijos faktorius yra skaičiuojamas taip:

$$m = \frac{U_m}{U_T}, \quad (2)$$

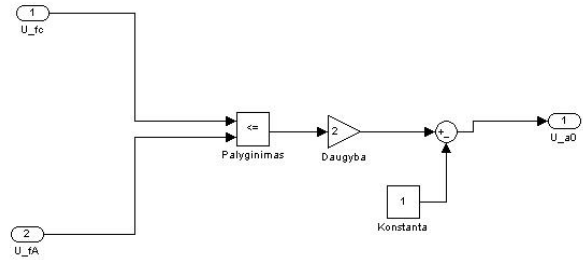
čia: m – moduliacijos indeksas; U_m – didžiausia moduluojančios įtampos vertė; U_T – didžiausia nešančios įtampos vertė.



2 pav. Sinusinės impulsų pločio moduliacijos principas
Fig. 2. Principle of sinusoidal pulse width modulation

Sinusinio impulsų pločio moduliacijos imitacinis modelis sudarytas MatLAB Simulink pakete pateiktas 3 pav.

Šiame modelyje U_{fc} yra nešančiojo dažnio virpesys, o U_{fA} yra reikiamo dažnio sinusinis signalas. Bloke „Palyginimas“ šitie signalai yra palyginami. Blokai „Daugyba“ ir „Konstanta“ reikalingi tam, kad išėjimo signalas galėtų įgyti neigiamą reikšmę. U_{a0} yra išėjimo signalas.



3 pav. Sinusinės impulsų pločio moduliacijos modelis
Fig. 3. Model of sinusoidal pulse width modulation

Trifazio asinchroninio variklio modelis

Kadangi inverterio įtampa nėra sinusinė, geriausiai kurti variklio modelį fazinių koordinatčių sistemoje, nes jame naudojamos akimirkinės įtampų vertės. Variklis prie dažnio keitiklio jungiamas žvaigžde be nulinio laido. Šiuo atveju gaunama tokia matematinio modelio lygčių sistema (Petrovas 2007):

$$M(\dot{t}) = \begin{pmatrix} 2L_S & L_S & a_{13} & a_{14} & a_{15} & 0 \\ L_S & 2L_S & a_{23} & a_{24} & a_{25} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 2L_R & L_R & a_{35} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & L_R & 2L_R & a_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_r \end{pmatrix}, \quad (3)$$

čia:

$$a_{13} = a_{24} = a_{31} = a_{42} = 3M_{SR} \cos \varphi; \quad (4)$$

$$a_{14} = a_{41} = 3M_{SR} \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right); \quad (5)$$

$$a_{23} = a_{32} = 3M_{SR} \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{3}\right); \quad (6)$$

$$a_{15} = -3M_{SR} \left[i_a \sin \varphi + i_b \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right) \right]; \quad (7)$$

$$a_{25} = -3M_{SR} \left[i_a \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{3}\right) + i_b \sin \varphi \right]; \quad (8)$$

$$a_{35} = -3M_{SR} \left[i_A \sin \varphi + i_B \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{3}\right) \right]; \quad (9)$$

$$a_{45} = -3M_{SR} \left[i_A \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right) + i_B \sin \varphi \right]. \quad (10)$$

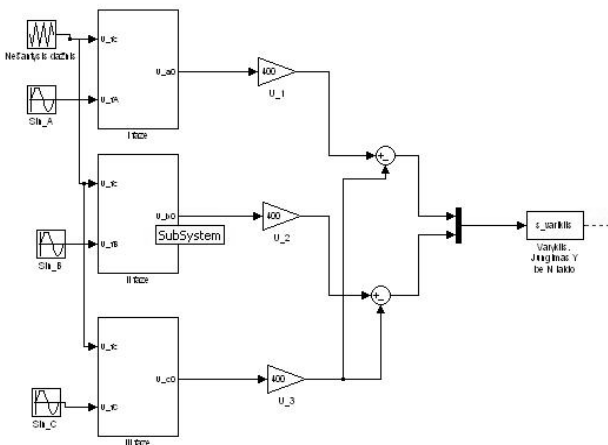
Galutinai simetriško asinchroninio vatiklio, kurio apvijos sujungtos žvaigžde be nulinio laido, matematinio modelio lygčių sistema, atrodo taip:

$$M(t) \cdot \begin{pmatrix} \frac{di_A}{dt} \\ \frac{di_B}{dt} \\ \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{d\varphi}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{AC} - R_S(2i_A + i_B) \\ u_{BC} - R_S(i_A + 2i_B) \\ u_{ac} - R_R(2i_a + i_b) \\ u_{bc} - R_R(i_a + 2i_b) \\ \omega \\ M_{em} + \sum M \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Lygčių sistema (11) gali būti sprendžiama tik skaitiniais metodais. Tam galima pritaikyti daugelį specializuotų matematinų programų, pvz., MatLAB (Rinkevičienė *et al.* 2004, 2005). Vienas iš pačių populiariausių metodų yra klasikinis Rungės-Kuro 4 eilės metodas. Kuris dažniausiai yra naudojamas sprendžiant automatikos ir elektrodinamikos uždavinius.

Sistemos modelis

Pagal sudaryto matematinio modelio lygtis MatLAB Simulink pakete sukurtas sistemos „dažnio keitiklis-variklis“ modelis (4 pav.):

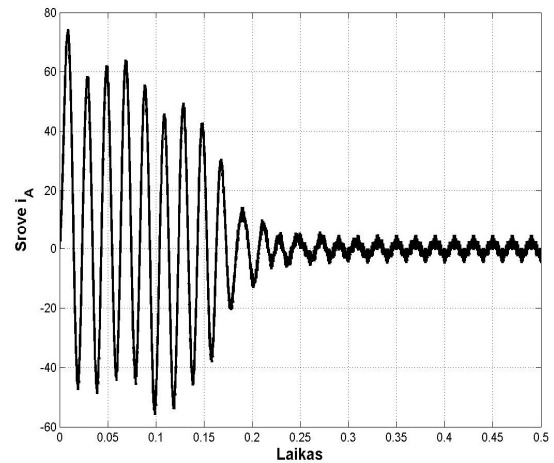


4 pav. Sistemos „dažnio keitiklis-variklis“ modelis
Fig. 4. Model of “frequency convertor-motor” system

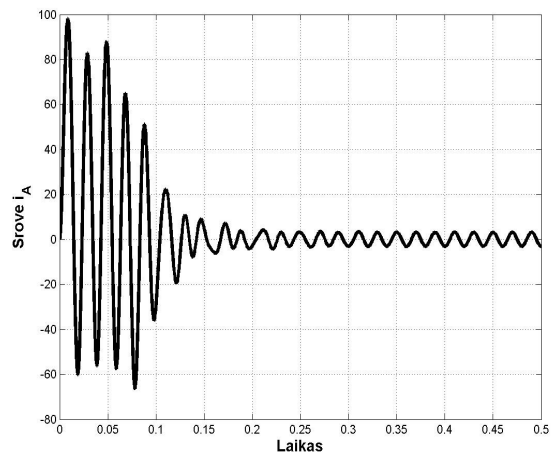
Šiame modelyje blokai „Sin_A“, „Sin_B“ ir „Sin_C“ sukuria besiskiriančius $2\pi/3$ fazės kampais reikiamo dažnio signalus. Posistemės „I fazė“, „II fazė“ ir „III fazė“ atitinka 3 pav. pavaizduotą sinusinės impulsų pločio moduliacijos modelį. Posistemų išėjimo signalo įtampa visuomet yra $U_{a0} = U_{b0} = U_{c0} = \pm 1$ V, elektros tinklo įtampa turi būti 400 V. Todėl blokai „U_1“,

„U_2“, „U_3“ padaugina posistemų išėjimo signalų įtampas iš 400. Blokas „Variklis. Jungimas Y be N laido“ sukurtas „S-Function“ terpėje pagal (3)–(11) formules. 5 pav. parodytos variklio statoriaus A apvijos srovės, kai maitinama iš dažnio keitiklio (a) ir iš tinklo (b).

a)



b)



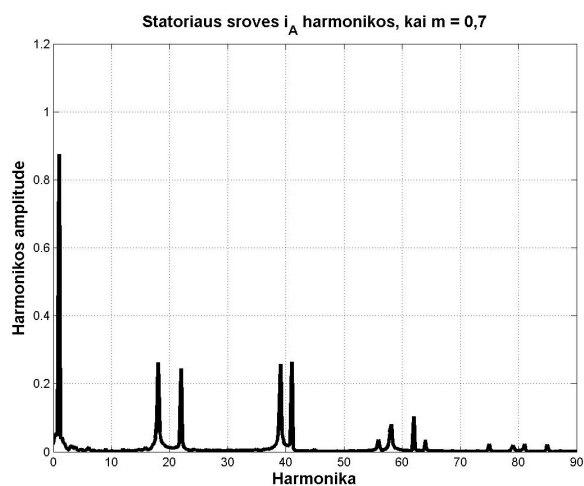
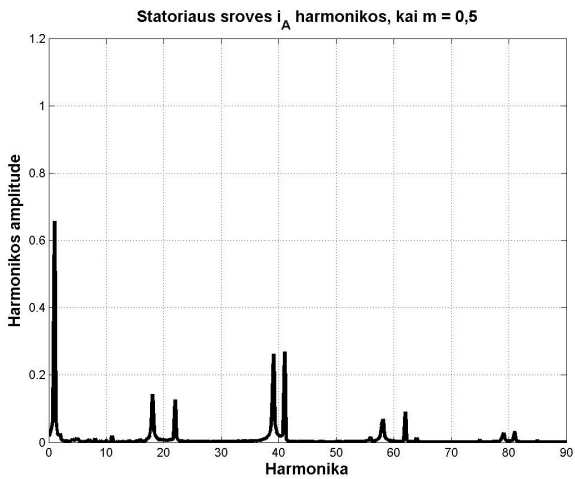
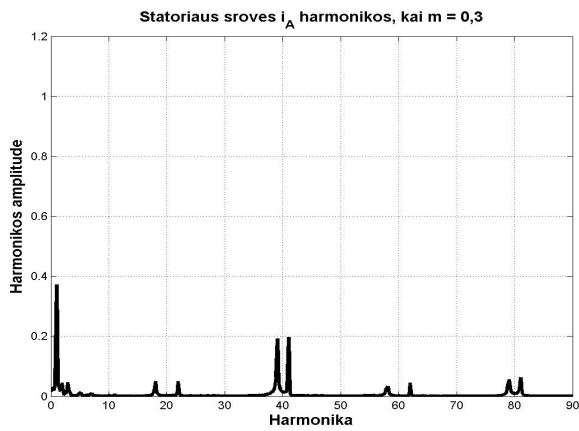
5 pav. Statoriaus A apvijos srovė i_A
Fig. 5. Stator winding A current i_A

Kaip galima matyti iš 5 pav. grafikų, maitinant variklį iš dažnio keitiklio, srovė nėra visiškai sinusinė, tai reiškia, kad srovėje yra aukštesnio dažnio harmonikos. Srovėje atsirado aukštesnio dažnio harmonikos, nes dažnio keitiklio išėjimo įtampa nėra sinusinė.

Modeliavimo rezultatai

Modeliavimo metu buvo vykdomi A apvijos srovės harmoninės sudėties tyrimai, keičiant moduliacijos indekso vertes m ir keičiant nešančiojo signalo dažnį f_c .

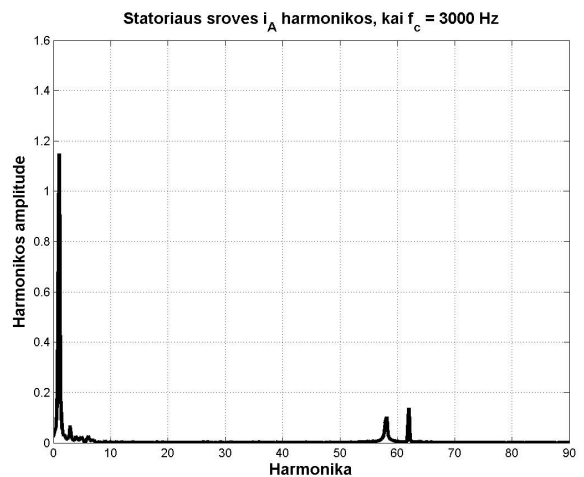
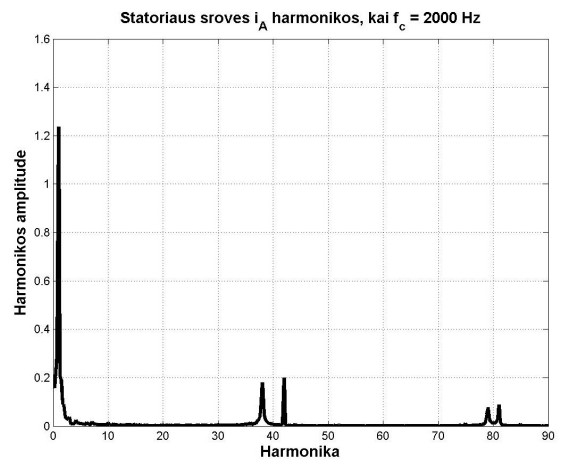
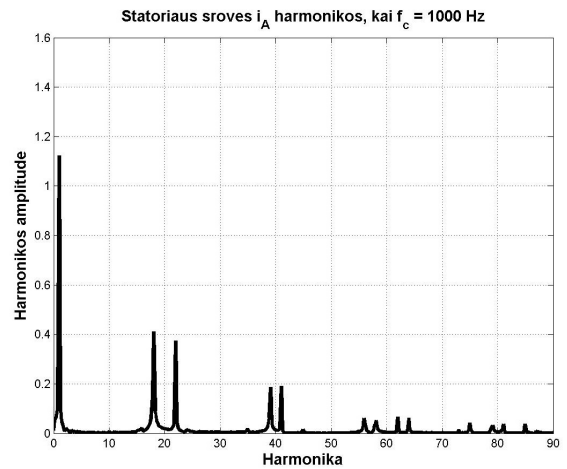
A apvijos srovės i_A harmoninės sudėties pokyčius kintant moduliacijos indeksui $m = 0,3; 0,5; 0,7$ ir esant pastoviam nešančiojo signalo dažniui $f_c = 1000$ Hz apibūdina 6 pav. pateikti imitacinių skaičiavimų rezultatai.



6 pav. i_A srovės harmonikos, keičiant moduliacijos indeksą
Fig. 6. Current i_A harmonics, when change modulation index

A apvijos srovės i_A harmoninės sudėties pokyčius kintant nešančiojo signalo dažniui $f_c = 1000$ Hz; 2000 Hz;

3000 Hz ir esant pastoviam moduliacijos indeksui $m = 0,9$ apibūdina 7 pav. pateikti imitacinių skaičiavimų rezultatai.



7 pav. i_A srovės harmonikos, keičiant nešančiojo signalo dažnį
Fig. 7. Current i_A harmonics, when change carrier wave frequency

Išvados

Atlikus trifazio asinchroninio variklio maitinamo iš dažnio keitiklio, kurio inverteris veikia sinusinės impulsų pločio moduliacijos principu, keičiant moduliacijos indeksą ir nešančiojo signalo dažnį, galima daryti tokias išvadas:

1. Mažinant moduliacijos indeksą, pagrindinės harmonikos amplitudė proporcingai mažėja.
2. Mažinant moduliacijos indeksą, aukštesniųjų harmonikų amplitudinių verčių suma didėja.
3. Didinant nešančiojo signalo dažnį, aukštesniųjų harmonikų skaičius mažėja.
4. Didinant nešančiojo signalo dažnį, aukštesniųjų harmonikų amplitudinės vertės mažėja.
5. Didinant nešančiojo signalo dažnį, pagrindinės harmonikos amplitudė didėja.

Literatūra

- Bose, Bimal, K. 2001. *Modern power electronics and AC drivers*. Prentice Hall PTR. 736 p. ISBN 0130167436
- Petrovas, A. 2007. *Trifazio asinchroninio variklio dinaminiai modeliai*: daktaro disertacija. Vilnius: VGTU.
- Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. 2008. *Mechatroninių sistemų modeliavimas*. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla. 165 p.

Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. 2004. New model of linear induction drive, *Elektronika ir elektrotechnika* 2(51): 25–28.

Rinkevičienė, R.; Petrovas, A. 2005. Dynamic models of controlled linear induction drivers, *Elektronika ir elektrotechnika* 5(61): 23–27.

Padėka

Jevgenij Lezner dėkoja Lietuvos mokslo tarybai už Studentų mokslinės praktikos stipendiją.

STATOR WINDINGS CURRENTS HARMONICS OF INDUCTION MOTOR, WHICH CONTROL FREQUENCY CONVERTER

J. Lezner

Abstract

Paper presents examination of induction motor stator windings currents harmonics, when modulation index and carrier frequency are changed. Mathematical model of symmetrical induction motor connected as star without zero wire is developed. Matlab Simulink models are created and tested.

Keywords: sinusoidal impulse width modulation, induction motor, stator winding, harmonics.