

Impulsinių sklendės pavarų tyrimas

S. Lisauskas, B. Kundrotas

Automatikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius, Lietuva, tel. +370 5 2744763, el.paštas saulius.lisauskas @el.vtu.lt

Įvadas

Apie pusę serijinių sukijųjų elektros variklių naudojami įrenginiuose, kurių vykdymo elementas juda slenkamuoju arba slankiojamu judesiu.

Aktualu kurti elektros pavaras su tiesiaieigiais varikliais, kurie tiesiogiai perduoda judesį vykdymo mechanizmui. Šitaip yra supaprastinama pavaros kinematinė schema, nes atsisakoma papildomų mechaninių grandžių, sumažinami nuostoliai ir padidinamas mechanizmo patikimumas.

Šiuo metu tiesiaieigiai varikliai sėkmingai naudojami liftų durų bei kėlimo pavarose [1,2], pašto rūšiavimo įrenginiuose [3], tekstilės pramonės mechanizmuose [4] ir tiksliose pozicionavimo sistemose: mikroskopo stalo pastūmai [4], staklių stalo padėčiai nustatyti [5], jungtuvų, sklendžių, stūmiklių pavarose [6].

Konstruktinė tiesiaieigio asinchroninio variklio ypatybė – didesnis oro tarpas negu sukijųjų lemia didesnę variklio tuščiosios veikos srovę. Dėl to padidėja nuostoliai ir sumažėja naudingumo koeficientas. Darbo metu srovė mažai priklauso nuo slydimo [7]. Todėl TAV plačiausiai naudojami mechanizmuose, veikiančiuose trumpalaikiu ar trumpalaikiu kartotiniu režimu. Tai įvairių komutacinių aparatų, technologinių bei greitaveikių sklendžių, transportavimo įrenginių, stūmiklių pavaros.

Automatinės sklendės yra naudojamos [7-9]:

- aspiracijos sistemose,
- ventiliacijos sistemose,
- pneumatinio transporto sistemose,
- biriųjų medžiagų dozatoriuose,
- gaisrų automatinių vietos nustatymo sistemose,
- sprogimų vietos nustatymo sistemose.

Analizė rodo, kad technologinės ir apsauginės sklendės plačiai taikomos įvairiose pramonės šakose: medvilnės ir linų perdirbimo įmonėse, grūdų laikymo ir perdirbimo įmonėse, kailių, odinės avalynės fabrikuose, chemijos pramonėje. Todėl tikslinga projektuoti ir tirti tiesiaieiges sklendžių elektros pavaras.

Negreitaieigių sklendžių variklio greitį galima sumažinti maitinant jį iš dažnio keitiklio, didinant darbo slydimą arba valdant jį impulsiniu būdu, t.y. keičiant variklio prijungimo prie trifazio tinklo ir atjungimo trukmes. Toks valdymas gali būti taikomas pavaroms, kurių greitį nebūtina palaikyti visiškai pastovų, bei tais atvejais, kai variklis paleidžiamas neapkrautas, pavyzdžiui,

stūmiklių pavarose, paleidus neapkrautą variklį, po to reikia sumažinti jo greitį, norint sušvelninti smūgį į gaminį. Šitaip valdant sklendžių tiesiaieigio judesio pavaras, galima pasirinkti angos atidarymo ir uždarymo vidutinę trukmę ir susilpninti judriojo elemento smūgius į amortizatorių. Impulsinio valdymo schemas yra daug paprastesnės ir pigesnės už dažnio keitiklius. Literatūroje [8] pateikta schema gali formuoti reikiamas tiesiaieigės pavaros dinamines charakteristikas ir keisti darbo nusistovėjusiu režimu vidutinį greitį.

Straipsnyje nagrinėjami mažų greičių sklendžių su tiesiaieigiais varikliais statiniai ir dinaminiai režimai, kai sklendės elementas pagamintas iš vario ir skirtingo storio aliuminio, o sklendės variklis valdomas impulsiniu būdu.

Tiesiaieigių sklendės elektros pavarų statinės charakteristikos

Tiriamos impulsinės sklendės pavaros tiesiaieigio asinchroninio variklio (TAV) duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. TAV duomenys

Parametras	Žymuo	Matavimo vnt.	Vertė
Poliaus žingsnis	τ	m	0,048
Polių porų skaičius	p	-	2
Induktoriaus ilgis	L	m	0,2
Induktoriaus plotis	2c	m	0,1
Vijų skaičius vienoje ritėje	W_r	-	120
Laido skersmuo	d	m	0,00043
Oro tarpas	δ	m	0,005
Antrinio elemento storis	Δ	m	0,003
Antrinio elemento plotis	2b	m	1,45

Nagrinėjamos tiesiaieigio variklio statinės charakteristikos bei impulsiniu būdu valdomo TAV dinaminių režimų modeliavimas, kai sklendės antrinis elementas pagamintas iš vario ir skirtingo storio aliuminio.

TAV tirti taikomos nuosekloji ir lygiagrečioji atstojamosios schemas. Nuoseklojoje schemoje išilginis

galų efektas įvertinamas varžomis r_{ie} ir x_{ie} .

Pagrindinėmis priklausomybėmis laikomos variklio srovės bei sukuriamos jėgos priklausomybės nuo slydimo.

Srovė, neatsižvelgiant į galų efektą:

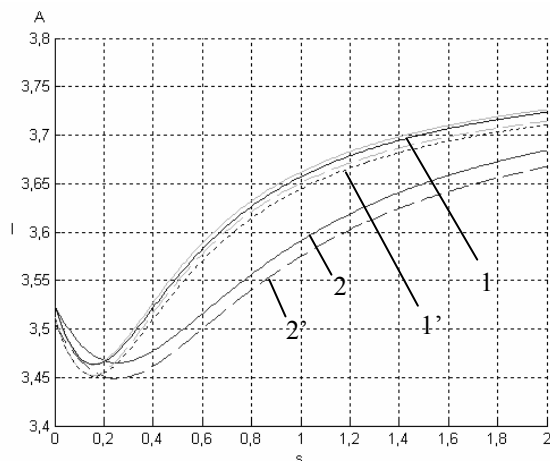
$$I = \frac{U}{\sqrt{(r_1 + r_i)^2 + (x_{p1} + x_{ind1} + x_i)^2}}; \quad (1)$$

čia U – maitinimo įtampa; r_1 – fazinės apvijos aktyvioji varža; r_i – aktyvioji įneštinė varža; x_{p1} – pagrindinė induktyvioji varža; x_{ind1} – induktyvioji sklaidos varža; x_i – induktyvioji įneštinė varža.

Srovė, atsižvelgiant į galų efektą:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(r_1 + r_i + r_{ie})^2 + (x_{p1} + x_{ind1} + x_i + x_{ie})^2}}; \quad (2)$$

čia r_{ie} , x_{ie} – aktyvioji ir induktyvioji galų efekto varžos.



1 pav. Srovės priklausomybė nuo slydimo: 1 – kai antrinis elementas pagamintas iš 3 mm storio vario lakšto, 2 – kai antrinis elementas pagamintas iš 3 mm aliuminio lakšto, 1' ir 2' – analogiškai, neįvertinant galų efekto

Jėga, neatsižvelgiant į galų efektą:

$$F = \frac{mI^2 r_i}{2\tau f}; \quad (3)$$

čia m – fazių skaičius; f – maitinimo šaltinio įtampos dažnis.

Jėga, atsižvelgiant į galų efektą:

$$F = \frac{mI^2 (r_i + r_{if})}{2\tau f}; \quad (4)$$

čia r_{if} – galų efekto įtaką TAV kuriamai jėgai įvertinanti varža.

1 pav. parodytos statinės srovės charakteristikos esant skirtingoms antrinio elemento medžiagoms ir storiams: 1 – varis, 3 mm; 2 – aliuminis, 3 mm; 1', 2' – analogiškai,

neįvertinus galų efekto. Kai antrinis elementas pagamintas iš 5 mm storio aliuminio lakšto, jo srovės priklausomybė nuo slydimo sutampa su 1 pav. 1 kreive.

Impulsinio darbo režimo modeliavimas

Dinaminiam režimams modeliuoti naudojamas TAV modelis, sudarytas x , y koordinačių sistemoje, judančioje sinchroniniu greičiu [10]. Tyrimo pagrindu imamos TAV, kaip elektromechaninio energijos keitiklio, dinaminės mechaninės charakteristikos diferencialinės lygtys:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{x1}}{dt} &= U_{1m} \cos \gamma - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \Psi_{y1}; \\ \frac{d\Psi_{y1}}{dt} &= U_{1m} \sin \gamma - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \Psi_{y2} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \Psi_{x1}; \\ \frac{d\Psi_{x2}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \Psi_{x1} - \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{y2}; \\ \frac{d\Psi_{y2}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \Psi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \Psi_{x1} - \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{x2}; \\ F &= \frac{3}{2} \frac{\pi \omega_0 K_r}{\tau \alpha_s} (\Psi_{x2} \Psi_{y1} - \Psi_{x1} \Psi_{y2}). \end{aligned} \quad (5)$$

Pagrindinė pavaros judesio lygtis

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} (F - F_s), \quad (6)$$

o lygtis nueitam keliui rasti:

$$\frac{dx}{dt} = v. \quad (7)$$

Parametrai naudojami (5), (6) ir (7) formulėse, aprašyti [10].

Tiriant elektromagnetinius pereinamuosius procesus, laikoma, kad variklio įjungimo metu įtampos fazės kampas lygus nuliui. Asinchroninių variklių tyrimai bei mūsų atlikti skaičiavimai rodo, kad variklio sukuriamas momentas (jėga) ir greitis nepriklauso nuo prijungiamos įtampos fazės.

Projektuojant naujas ir tiriant esamas pavaras, svarbu turėti patogią naudoti programą. Remiantis šiuo matematiniu modeliu, buvo sudarytas algoritmas ir sukurta vaizdi ir patogi naudoti programa Matlabe.

Tiriant impulsinį valdymą įėjimo signalo impulsų trukmė imama lygi: 10 % impulsų periodo, 30 % impulsų periodo ir 80 % impulsų periodo.

2 pav. parodyta variklio dinaminė greičio charakteristika, kai antrinis elementas yra 5 mm storio aliuminio lakštas, o variklio sukuriamos jėgos dinaminė charakteristika pateikta 3 pav.

Pagal variklio greičio dinaminės charakteristikas sudaryta vidutinio greičio priklausomybė nuo impulsų pločio visiems trimis atvejams (4 pav.). Aproximavus gautas kreives išvestos matematinės išraiškos:

1. Kai antrinis elementas yra 3 mm aliuminio lakštas:

$$v_{vid} = -0,1064 + 0,1232 \cdot \gamma - 0,0012 \cdot \gamma^2 +$$

$$+ 5,4456 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma^3. \quad (8)$$

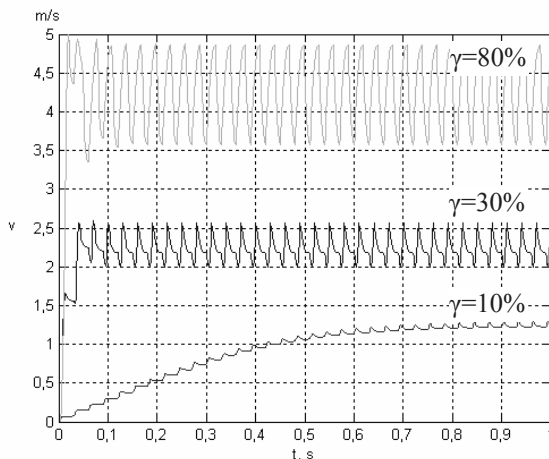
2. Kai antrinis elementas yra 5 mm aliuminio lakštas:

$$v_{vid} = 0,0882 + 0,1045 \cdot \gamma - 0,001 \cdot \gamma^2 + 4,8756 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma^3. \quad (9)$$

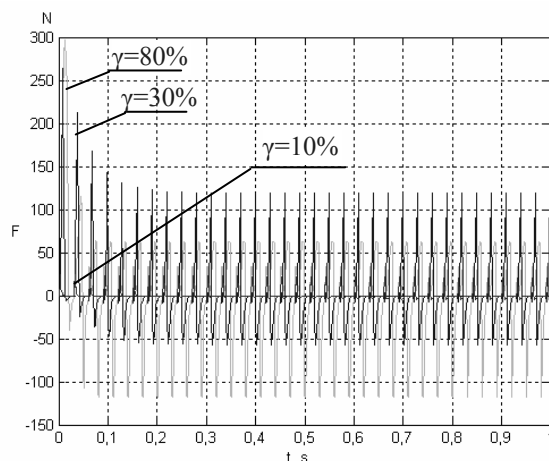
3. Kai antrinis elementas yra 3 mm vario lakštas:

$$v_{vid} = 0,1207 + 0,091 \cdot \gamma - 6,2586 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma^2 + 1,8598 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma^3. \quad (10)$$

čia γ – impulsų trukmė.



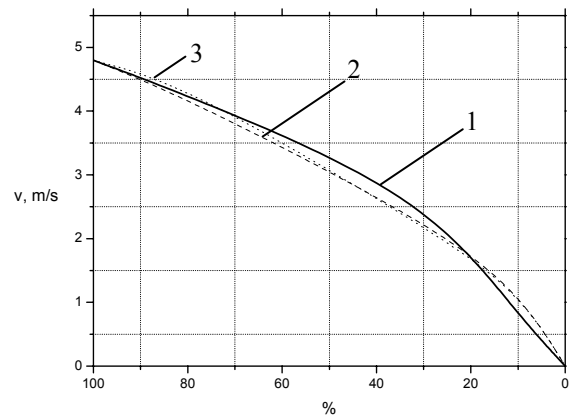
2 pav. Variklio greičio dinaminė charakteristika



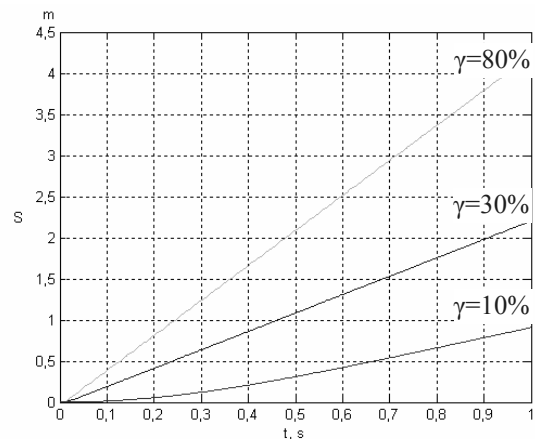
3 pav. Variklio jėgos dinaminė charakteristika

Gautos vidutinio greičio priklausomybės leidžia nustatyti valdymo impulsų plotį norint gauti reikiamą greitį. Vidutiniams greičiams analitiškai apskaičiuoti galima naudoti gautas (8-10) išraiškas.

5 pav. pateiktos variklio kelio dinaminės charakteristikos, esant skirtingam impulsų pločiui. Modeliavimo rezultatų analizė rodo, kad per 1 s TAV antrinis elementas nueina 0,8 m kelią, kai impulso trukmė sudaro 10 % impulso periodo, 2,2 m – kai 30 % ir 4,2 m – kai 80 %.



4 pav. Vidutinio greičio priklausomybė nuo impulsų pločio: 1 – kai antrinis elementas pagamintas iš 3 mm storio aliuminio lakšto, 2 – kai antrinis elementas pagamintas iš 5 mm storio aliuminio lakšto, 3 – kai antrinis elementas pagamintas iš 3 mm storio vario lakšto



5 pav. Variklio kelio dinaminė charakteristika

Keičiant impulso ir periodo trukmes galima suformuoti reikiamas tiesiaieigės pavaros dinamines charakteristikas.

Išvados

1. Ištirtos variklių srovių statinių charakteristikų priklausomybės nuo antrinio elemento storio ir medžiagos supaprastina TAV projektavimo uždavinį.

2. Nustatyta, kad, padidinus TAV antrinio elemento storį 0,002 m, statinės charakteristikos yra labai artimos charakteristikoms, gautoms pakeitus aliumininį antrinį elementą į varinį.

3. Ištirtos TAV vidutinio greičio priklausomybės nuo impulsų pločių bei išvestos analitinės išraiškos leidžia analitiškai apskaičiuoti variklio greitį esant skirtingam TAV antrinio elemento storiui.

4. Nustatyta, kad kai impulso trukmė sudaro 10 % impulso periodo, greičio nusistovėjimo trukmė yra keliasdešimt kartų ilgesnė, nei tada, kai impulso trukmė sudaro 80 % impulso periodo.

Literatūra

1. **Gieras J.F., Hartzenberg P.D., Magura I.J., Wing M.** Control of an elevator drive with a single-sided linear induction motor // Fifth European Conference on Power Electronics and Applications. – 1993. – Vol. 4. – P. 353-358.
2. **Morizane T., Masada E.** Study on the Feasibility of Application of Linear induction motor for Vertical movement // IEEE transactions on magnetics. – 1993. – Vol.29, No 6. – P. 2938-2940.
3. **Yuynue Y.** Application of the linear induction motors in the Postal Mechanical System // Proceedings of the International Conference on Electrical Machines and Systems. – 2001. ICEMS 2001. – Vol.23. – P. 964-967.
4. **Budig P.-K.** The Application of Linear motors // The third International Power Electronics and motion Control conference. – 2000. – Vol.3. – P. 1336-1341.
5. **Spicer F. D., Sackett J.N., Black C. T.** Precision X-Y positioning system using linear induction motors // IEE Colloquium on Limited motion Electrical Actuation Systems. (Digest No1998/494). – 1998. – P. 6/1-6/3.
6. **Соколов М. М., Ринкевичене Р. В.** Электро-механические процессы в линейном электроприводе толкателя // Электричество.– 1990.– № 3.– С. 75-78.
7. **Poška A., Teišerskas Č.** Automatinės sistemos su tiesiaieigėmis elektros pavaromis. – Vilnius: Technika, 1993. – 176 p.
8. **Poška A.** Specialiosios automatinės sistemos. – Vilnius: Technika, 1995. – 204 p.
9. **Rinkevičienė R.** Mechatronic Systems with linear induction motors. Summary of the research report presented for habilitation. – Vilnius: Technika, 2003. – 28 p.
10. **Rinkevičienė R., Lisauskas S.** Tiesiaieigių mechatroninių sistemų modeliai // Elektronika ir elektrotechnika. ISSN 1392-1215. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 4(46). – P. 69-73.

Pateikta spaudai 2004 03 01

S. Lisauskas, B. Kundrotas. Impulsinių sklendės pavarų tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika.– Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 4(53). – P. 59-62.

Nagrinėjami mažų greičių sklendžių su tiesiaieigiais asinchroniniais varikliais (TAV) statiniai ir dinaminiai režimai, kai sklendės elementas pagamintas iš vario ir skirtingo storio aliuminio, valdant sklendės variklį impulsiniu būdu. Tiesiaieigiams varikliams tirti pritaikytos nuoseklieji ir lygiagrečioji atstojamosios schemos. Gauta pagrindinė priklausomybė – variklio srovės priklausomybė nuo slydimo. Nustatyta, kad padidinus TAV antrinio elemento storį 2 mm, statinės charakteristikos yra labai artimos charakteristikoms, kurios gaunamos pakeitus aliumininį antrinį elementą į varinį. Dinaminiams režimams modeliuoti panaudotas TAV modelis sinchroninių greičių judančioje koordinacinių sistemoje. Iš variklio greičio dinaminį charakteristikų nustatyta, kad kai impulso trukmė sudaro 10% impulso periodo, greičio nusistovėjimo trukmė yra keliasdešimt kartų ilgesnė nei tada, kai impulsų trukmė sudaro 80% impulsų periodo. Sudaryta vidutinio greičio priklausomybė nuo impulsų pločio. Išvestos analitinės išraiškos, leidžiančios apskaičiuoti variklio greitį esant skirtingam TAV antrinio elemento storiui. Il. 5, bibl. 10 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

S. Lisauskas, B. Kundrotas. Investigation into Pulse Drives of Dampers // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 4(53). – P. 59-62.

The article presents investigation into dynamic and steady-state operating modes of dampers which secondary in made from copper or different thickness of aluminium. Dampers are equipped with linear induction motors (LIM) controlled by alternating current pulses. The series and parallel circuits are applied to investigate linear motors. The main dependence of motor current against slip are obtained. It is stated that increase in thickness of LIM secondary 2 mm gives steady-state characteristics very close to that when material of secondary are changed from aluminium to copper. For modelling of dynamic regimes is used model in translating with synchronous speed reference frame. Investigation of dynamic characteristics shows that transient time of speed at pulse duration 10% of pulse period is some tens times longer that at pulse duration 80%. Dependence of average speed against pulse with is made. Analytical expressions to calculate LIM speed at different thickness of secondary are derived. Ill. 5, bibl. 10 (in Lithuanian, summaries in Lithuanian, English and Russian).

С. Лисаускас, Б. Кундротас. Исследование импульсных электроприводов заслонок // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 4(53). – С. 59-62.

Приводится исследование статических и динамических режимов малоскоростных заслонок с линейными асинхронными двигателями (ЛАД), вторичные элементы которых сделаны из меди и алюминия различной толщины при импульсном управлении. Для исследования линейных двигателей применяются последовательная и параллельная схемы замещения. Получены основные зависимости – тока двигателя от скольжения. Установлено, что увеличение толщины вторичного элемента в 2 мм дает статические характеристики ЛАД аналогичные с материалом вторичного элемента медью. Моделирование динамических характеристик произведено в системе координат, движущейся с синхронной скоростью. Динамические характеристики показывают, что при длительности импульса, равной 10 % периода, длительность переходного процесса скорости в десятки раз больше, чем при длительности импульса 80 % периода. Получена аналитическая зависимость средней скорости от ширины импульса. Выведены аналитические зависимости скорости двигателя от толщины вторичного элемента ЛАД. Ил. 5, библи. 10 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).