

## Daugiafunkcės tiesiaeigės asinchroninės elektros pavaros

A. Poška, Z. Savickienė, J. Zubaitis

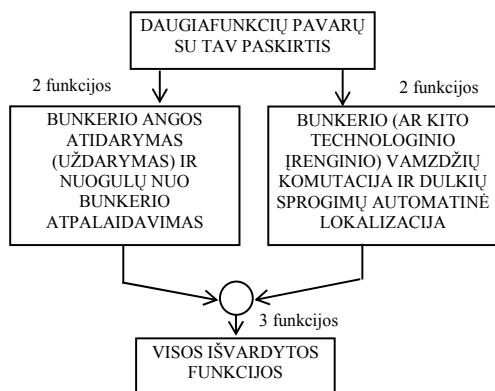
Automatikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius, Lietuva, tel. +370 5 2744763, el. p. zita.savickiene@el.vtu.lt

### Įvadas

Sparčiai vystantis pramonei, didėja automatiinių ir automatizuotų pramonės įrenginių, kuriems būtinas tiesiaeigis judesys, įvairovė. Tiesiaeigių elektros pavarų savybės yra labai skirtingos. Taip yra dėl to, kad tiesiaeigių asinchroninių variklį (TAV) beveik kiekvienu atveju reikia pritaikyti prie darbo mechanizmo. Todėl TAV efektyviausiai dirbs tik tokiaime įrenginyje ar įrenginių grupėje, kur jis bus individualiai suprojektuotas ir pritaikytas. Yra labai daug įrenginių, kuriuose tiesiaeigiam judesiui gauti galima taikyti ir elektromechaninę, ir pneumatinę arba hidraulinę sistemas.

Daugeliu atveju TAV greitaveika, judesio tikslumas ir pavaros kompaktiškumas yra svarbiau už jų mažą naudingumo koeficientą ir didelę kainą [1]. Dėl didelės paleidimo jėgos, gerų smūginių savybių, galimybės antrinį elementą sutaptinti su darbinio mechanizmo judančiomis dalimis TAV gali būti sėkmingai pritaikyti birių medžiagų dozavimo bunkerių sklendėms valdyti. Birių medžiagų automatinės svorinio dozavimo sistemos naudojamos trąšų, pašarų, statybinių medžiagų pramonėje, fasuojant vienasrūšes medžiagas arba gaminant birių medžiagų mišinius, susidedančius iš norimo skirtingų komponentų kiekio [2].

Nagrinėjama automatinio dozatoriaus bunkerio sklendė su daugiafunkce tiesiaeige elektros pvara. Daugiafunkčių pavarų klasifikacija pateikta 1 paveiksle.

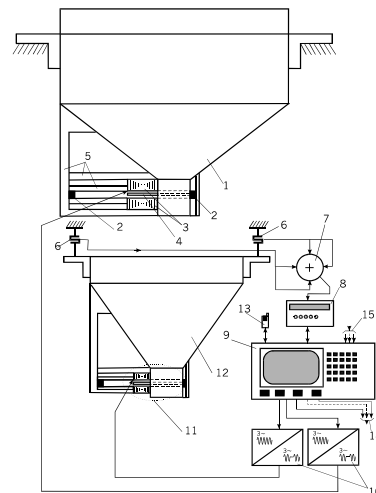


1 pav. Daugiafunkčių sistemų klasifikacija

Dozatoriaus sklendė vykdo birių medžiagų dozavimo ir nuogulų nuo bunkerio sienelių nupurtymo funkcijas. Pateikiama šios sklendės kompiuterinio valdymo algoritmo struktūrinė schema, analizuojamos sistemos dinaminės charakteristikos. Trečioji pavaros su TAV funkcija – dulkių sprogamų lokalizacija – vykdoma tik avariniais atvejais. Tuomet dulkių sprogamų automatinės lokalizacijos sistemos (DSALS) magnetinis paleidiklis TAV induktorius sujungia lygiagrečiai ir dozatoriaus sklendė kartu su kitomis sklendėmis labai greitai užkerta kelius liepsnai plisti. Taip išvengiama griauamosios galios sprogamų [3].

### Automatinė birių medžiagų dozavimo sistema su tiesiaeige asinchronine elektros pvara (TAEP)

2 paveiksle pateikta automatinės birių medžiagų dozavimo sistemos su TAEP funkcine schema.

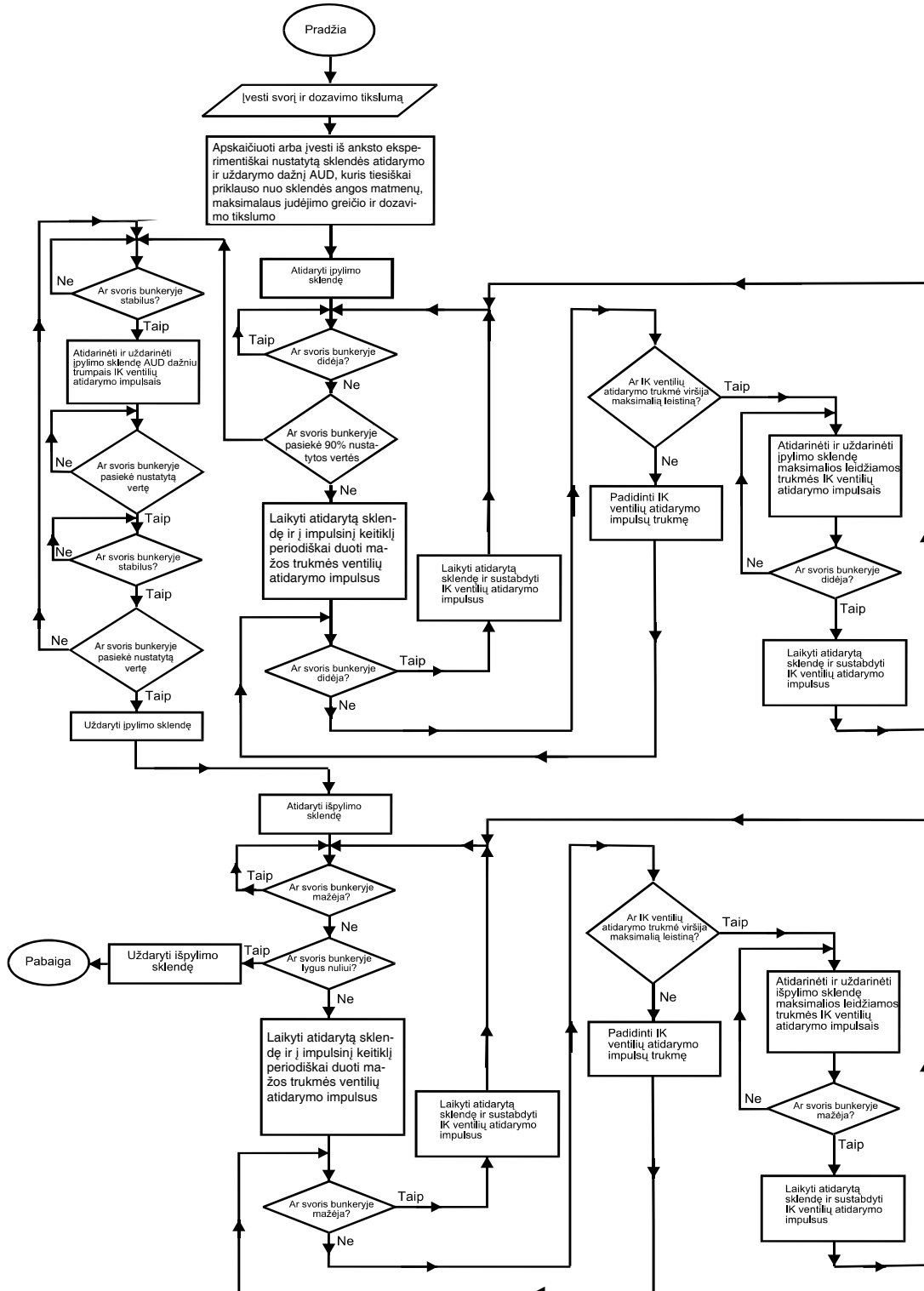


2 pav. Automatinės birių medžiagų dozavimo sistemos su TAEP funkcine schema: 1 – bunkeris, 2 – TAV antrinio elemento (ipylimo sklendės) atramos, 3 – TAV induktoriai, 4 – TAV antrinis elementas, 5 – TAV tvirtinimo elementai, 6 – tempimo svorio jutikliai, 7 – analoginių signalų sumavimo mazgas, 8 – svėrimo terminalas su svorio indikatoriumi, ASK ir dvikrypte skaitmenine duomenų perdavimo ir priėmimo sąsaja, 9 – programuojamasis mikrovaldiklis, 10 – impulsiniai keitikliai, 11 – dozuotos medžiagos išpylimo sklendė su TAV, 12 – svorinio dozavimo bunkeris, 13 – radijo modemas, 14 – kitų medžiagų

dozatorių pavaros, 15 – kitų medžiagų dozatorių svėrimo sistemos, jutikliai ir pan.

Dozavimo sistemų TAV 3 valdo impulsiniai keitikliai 10 impulsiniu būdu. Programuojamuoju mikrovaldikliu išrenkama reikalingo mišinio receptūra ir jeigu į ją įeina medžiaga, esanti bunkeryje 1, atidaroma įpylimo sklendė 4 ir dozuojama medžiaga pradeda byrėti į svorinio dozavimo bunkerį 12. Kadangi svorinio dozavimo bunkeris 12 yra pakabintas arba pastatytas ant elektroninių tempimo arba

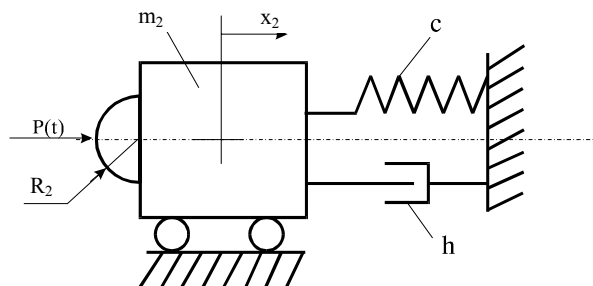
spaudimo svorio jutiklių 6, informacija apie medžiagos, esančios dozavimo bunkeryje 12, svorį per sumavimo mazgą 7 ir svėrimo terminalą 8 patenka į programuojamąjį mikrovaldiklį (arba pramoninį AK) 9, kuris valdo reikalingo komponento įpylimo procesą, siųsdamas valdymo impulsus į impulsinius keitiklius 10 pagal algoritmą, kuris pateiktas 3 paveiksle.



3 pav. Svorinio dozavimo proceso valdymo programos algoritmo struktūrinė schema

### Dozavimo bunkerio sklendės tiesiaieigės pavaros charakteristikos

Birių medžiagų automatinės dozavimo sistemos dozavimo bunkerio dinaminis modelis pateiktas 4 paveiksle.



4 pav. Dozavimo bunkerio, veikiamo smūgio jėgos  $P(t)$  dinaminis modelis:  $m_2$  – bunkerio 2 masė;  $x_2$  – bunkerio poslinkis;  $c$  ir  $h$  – standumo ir pasipriešinimo koeficientai

Analizuojant šį dinaminį modelį, išvestos bunkerinių dozatorių sklendžių su TAV charakteristikų skaičiavimo analizinės išraiškos. Sklendės smūgio į bunkerio atramą metu, kai atsiranda jėga  $P$ , kurios veikimo trukmė lygi  $\tau$ , bunkerio virpesiai apskaičiuojami pagal tokią lygtį:

$$x_2(t) = -P_{\max} \tau \left( \frac{-\sin\left(\frac{\pi}{\tau}\right) \omega \tau^3 n^2 + 2n\tau^2 \cos\left(\frac{\pi}{\tau}\right) \pi \omega - \sin\left(\frac{\pi}{\tau}\right) \omega^3 \tau^3 + \sin\left(\frac{\pi}{\tau}\right) \pi^2 \omega \tau}{\omega m_2 (n^2 \tau^2 + \pi^2 - 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2) (n^2 \tau^2 + \pi^2 + 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2)} + \frac{e^{-n\tau} \pi^2 \sin(\omega \tau) \omega^2 - 2e^{-n\tau} \pi \tau^2 n \omega \cos(\omega \tau) - e^{-n\tau} \pi \tau^2 \sin(\omega \tau) n^2 - e^{-n\tau} \pi^3 \sin(\omega \tau)}{\omega m_2 (n^2 \tau^2 + \pi^2 - 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2) (n^2 \tau^2 + \pi^2 + 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2)} \right); \quad (1)$$

čia  $P_{\max}$  – smūgio metu atsirandančios jėgos  $P$  didžiausioji vertė;  $m_2$  – bunkerio masė;  $n = \frac{h}{2m_2}$ ;  $h$  – pasipriešinimo koeficientas;  $\omega$  – sistemos laisvųjų virpesių kampinis dažnis.

Išdiferencijuojame šią lygtį ir į ją bei gautą diferencialą įrašę  $t = \tau$ , gauname:

$$x_2(\tau) = P_{\max} \tau \pi \frac{2\pi \tau^2 \omega - e^{-n\tau} \tau^2 \sin(\omega \tau) \omega^2 + 2e^{-n\tau} \tau^2 n \cos(\omega \tau) \omega + e^{-n\tau} \tau^2 \sin(\omega \tau) n^2 + e^{-n\tau} \pi^2 \sin(\omega \tau)}{(n^2 \tau^2 + \pi^2 - 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2) \cdot (n^2 \tau^2 + \pi^2 + 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2)}; \quad (2)$$

$$\dot{x}_2(\tau) = P_{\max} \tau \pi \left( \frac{\tau^2 \omega^2 + \tau^2 \omega^3 - \pi^2 \omega + n e^{-n\tau} \tau^2 \sin(\omega \tau) \omega^2 + e^{-n\tau} \tau^2 \cos(\omega \tau) \omega^3}{\omega m_2 (n^2 \tau^2 + \pi^2 - 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2) (n^2 \tau^2 + \pi^2 + 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2)} + \frac{n^2 e^{-n\tau} \tau^2 \cos(\omega \tau) \omega + n^3 e^{-n\tau} \tau^2 \sin(\omega \tau) + n e^{-n\tau} \pi^2 \sin(\omega \tau) - e^{-n\tau} \pi^2 \cos(\omega \tau) \omega}{\omega m_2 (n^2 \tau^2 + \pi^2 - 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2) (n^2 \tau^2 + \pi^2 + 2\pi \omega \tau + \omega^2 \tau^2)} \right); \quad (3)$$

Laisvųjų virpesių lygtis

$$x_2'' + 2n x_2' + p_2^2 x_2 = 0. \quad (4)$$

Laisvieji virpesiai vyksta esant tokioms pradinėms sąlygoms:

$$x_{2,0} = x_2(\tau), \quad \dot{x}_{2,0} = \dot{x}_2(\tau). \quad (5)$$

Lygties (4) sprendinys [4, 5] (kai trintis sistemoje mažesnė už kritinę):

$$x_2(t) = e^{-nt} \left( x_2(\tau) \cos(\omega t) + \frac{nx_2(\tau) + \dot{x}_2(\tau)}{\omega} \sin(\omega t) \right) = A_s e^{-nt} \sin(\omega t + \alpha); \quad (6)$$

čia

$$A_s = \sqrt{x_2^2(\tau) + \left( \frac{nx_2(\tau) + \dot{x}_2(\tau)}{\omega} \right)^2}; \quad (7)$$

$$\sin \alpha = \frac{x_2(\tau)}{A_s}; \quad (8)$$

$$\cos \alpha = \frac{nx_2(\tau) + \dot{x}_2(\tau)}{A_s \omega}. \quad (9)$$

Lygties (6) kintamojo  $x_2$  atskaitymo laikas prasideda praėjus laikotarpiui  $\tau$ .

Charakteristikos, apskaičiuotos pagal (1) ir (6) lygtis, pateiktos 5 paveiksle. Sprendžiant šias lygtis laikoma, kad TAV linijinis greitis yra 10 m/s, sklendės masė  $m_1 = 15$  kg, bunkerio masė  $m_2 = 100000$  kg, sklendės smūgiuojančiosios briaunos kontaktinio sferinio paviršiaus spindulys – 1 m. Iš šių priklausomybių matyti, kad laikas  $\tau$  (5 pav., a) yra 35 kartus trumpesnis už virpesių periodą (5 pav., b). Todėl galima tarti, kad po smūgio į bunkerį jo virpesiai yra silpstantys ir simetriški.

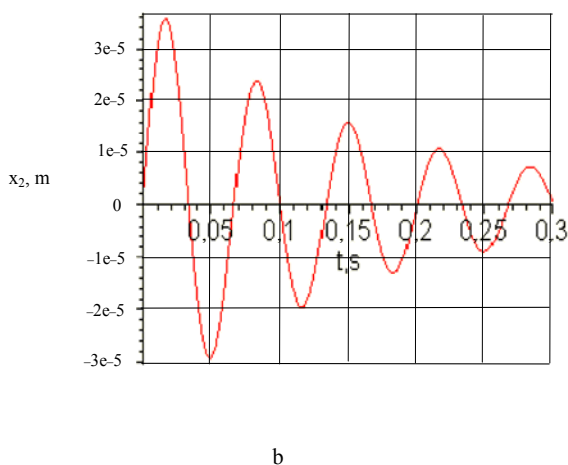
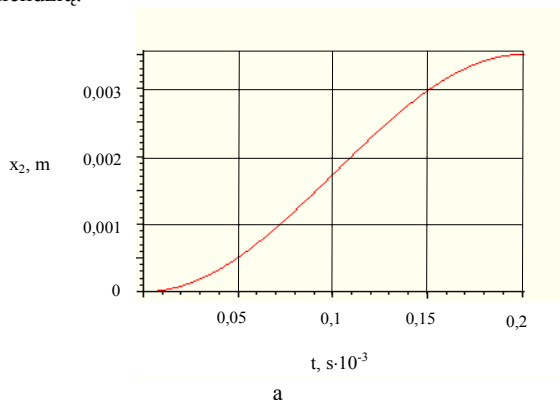
6 paveiksle pateikta dozavimo bunkerio, turinčio sklendę su TAV, virpesių amplitudės priklausomybė nuo bunkerio masės.

Charakteristikos apskaičiuotos panaudojus MAPLE programų paketą.

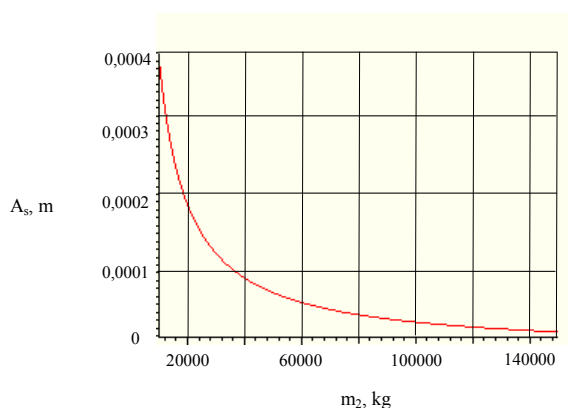
### Sklendės naudojimas dulkių sprogamams lokalizuoti

Organinių dulkių (pvz., malūnų, elevatorių, kombinuotųjų pašarų gamyklų dulkių, miltų, sėlenų ir pan.) ir oro mišiniai yra sproguš. Sprogimas įvyksta esant tam tikrai dulkių koncentracijai ir pakankamai šilumos šaltinio temperatūrai bei energijai. Pirminiai sprogamai paprastai yra silpni, tačiau jie gali sukelti antrinius griauamosios galios sprogamus. Tokių sprogamų galima išvengti, naudojant dulkių sprogamų automatinės lokalizacijos sistemas (DSALS). DSALS pagrindiniai elementai yra pirminio sprogo jutikliai ir greitaveikės ugnį užtveriančios sklendės, kurių judrusis elementas yra kartu ir tiesiaiegio asinchroninio variklio antrinis elementas.

Iš principo greitaveikes sklendes galima naudoti ir kaip technologines. Tačiau jos sukelia nepageidautinai stiprius smūgius į amortizatorius. Todėl dažnam vamzdžių atidarymui ir uždarymui reikia silpnesnes jėgas sukeliančių sklendžių.



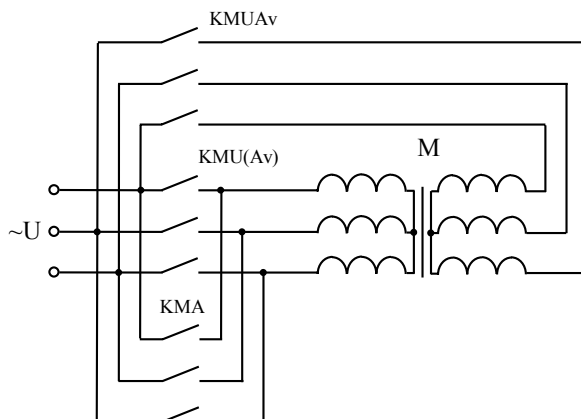
5 pav. Dozavimo bunkerio su sklende, kuri yra TAV antrinis elementas, virpesių dinaminės charakteristikos: a – kai  $0 \leq t \leq \tau$ ; b – kai  $t > \tau$



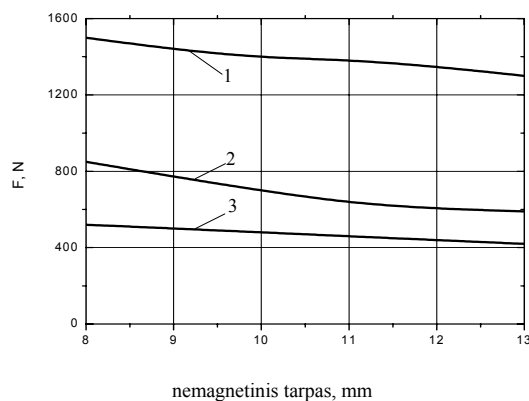
6 pav. Dozavimo bunkerio, turinčio sklendę su TAV, virpesių amplitudės priklausomybė nuo bunkerio masės

TAV sukeltą jėgą galima sumažinti, naudojant tik vieną induktorių apviją (7 pav.), kurią komutuoja

magnetiniai paleidikliai KMA (atidaryti) ir KMU(Av) (uždaryti). Jei suveikia DSALS, tai įjungiamos abiejų TAV induktorių apvijų (suveikia magnetiniai paleidikliai KMU(Av) ir KMUA v (7 pav.)). Tuomet angą sklendė uždaro daug greičiau, nes TAV kuria didesnę jėgą. TAV sukeltųjų jėgų priklausomybės nuo nemagnetinio tarpo tarp induktorių, esant įvairiems elektriškai ir magnetiškai dvipusio TAV apvijų jungimo būdams, pateiktos 8 paveiksle.



7 pav. TAV apvijų jungimas: M – tiesiaiegis asinchroninis variklis (TAV), KMA – magnetinis paleidiklis (atidaryti), KMU(Av) – magnetinis paleidiklis (uždaryti), KMUA v – magnetinis paleidiklis (uždaryti suveikus DSALS)



8 pav. Jėgos priklausomybė nuo nemagnetinio tarpo ir induktorių jungimo būdo: 1 – induktoriai sujungti lygiagrečiai, 2 – antrasis induktorius atjungtas, 3 – induktoriai sujungti nuosekliai

### Išvados

1. Tiesiaiegių asinchroninių variklių savybės įgalina paprastomis priemonėmis sukurti daugiavalius įrenginius.
2. Esant tiems patiems nemagnetiniams tarpams tarp induktorių, TAV kuriamą jėgą priklausomai nuo apvijų jungimo būdo galima keisti 1,3 – 3,1 karto.
3. Birioms medžiagoms dozuoti naudojant sklendes su TAV, galima suprojektuoti kur kas kompaktiškesnę, paprastesnę ir funkcionalesnę dozavimo sistemą negu naudojant pneumatines kaušines sklendes.

4. Sklendės sukeltas horizontalus tiesiaiegis smūgis į dozavimo bunkerį sukelia simetrinius silpstančiuosius virpesius.

5. Dozavimo bunkerio, turinčio sklendę su TAV, charakteristikas galima analizuoti panaudojant supaprastintą dinaminį modelį su vienu laisvės laipsniu.

#### Literatūra

1. **McLean G. W.** Review of Recent Progress in Linear Motors // IEE Proceedings. November 1988. –Vol. 135, Pt B, No 6. – P. 380–416.
2. METTLER TOLEDO Weigh Module Publications: June 2000. The new Weigh Module CD. <http://www.mt.com/mt/resourcedetail/handbooksGuides.jsp>.
3. **Smilgevičius A., Poška A., Rinkevičienė R., Teišerskas Č.** Specialiosios automatinės sistemos su tiesiaiegiėmis elektros

pavaromis // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2001. – Nr. 5(34). –P. 76–87.

4. **Žiliukas A.** Medžiagų mechanika. –Kaunas: Technologija, 2001. –595 p.
5. **Carlson J., Johnson J.** Multivariable Mathematics with Maple. <http://www.math.utah.edu/books/calc2-maple>.
6. **Augustaitis V. K.** Mechaninių virpesių pagrindai. –Vilnius: „Žiburio“ leidykla, 2000. –320 p.

Pateikta spaudai 2003 03 14

#### **A. Poška, Z. Savickienė, J. Zubaitis. Daugiafunkcės tiesiaiegiės asinchroninės elektros pavaros // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 5(61). – P. 28–32.**

Nagrinėjama automatinio dozatoriaus bunkerio sklendė su daugiafunkce tiesiaiege asinchronine elektros pvara. Dozatoriaus sklendė vykdo šias funkcijas: dozuoja birias medžiagas, nupurto nuo bunkerio sienelių nuogulas ir lokalizuoja dulkių sprogimus. Trečioji funkcija vykdoma tik avariniais atvejais. Pateikiama šios sklendės kompiuterinio valdymo algoritmo struktūrinė schema, birių medžiagų automatinės dozavimo sistemos dozavimo bunkerio dinaminis modelis, analizuojamos gautos sistemos dinaminės charakteristikos. Taigi tiesiaiegių asinchroninių variklių savybės leidžia paprastomis priemonėmis suprojektuoti daugiafunkcius įrenginius. Priklausomai nuo elektriškai ir magnetiškai dvipusio tiesiaiegio asinchroninio variklio apvijų jungimo būdo (induktoriai sujungti lygiagrečiai, nuosekliai ar pavieniui) galima keisti TAV kuriamą jėgą. Il. 8, bibl. 6 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

#### **A. Poška, Z. Savickienė, J. Zubaitis. Multifunctional Linear Induction Electric Drives // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 5(61). – P. 28–32.**

A damper of automatic dosator bunker with multifunctional linear induction electric drive is investigated. The functions of this damper are: dosing of dry materials, shaking off the dust from the bunker walls and localization of the dust explosions. The third function is realized only in emergency case. The structural schematic of the algorithm for this damper computer control and dynamical model of dosator bunker are presented and obtained dynamical characteristics of this automatic dosation system for dry materials are analyzed. Properties of linear induction electric drives give an opportunity to create multifunctional equipment using simple appliance. The force, produced by LAM, can be adjusted using a different winding connection mode (parallel, serial or single) of the electrically and magnetically double-sided linear induction electric motor. Ill. 8, bibl. 6 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

#### **A. Пошка, З. Савицкене, И. Зубайтис. Многофункциональный линейный асинхронный электропривод // Электроника и электротехника. – Каunas: Технология, 2005. – № 5(61). – С. 28–32.**

Рассматривается задвижка бункера автоматического дозатора с многофункциональным линейным асинхронным электроприводом. Задвижка дозатора выполняет такие функции: дозирует сыпучий материал, встряхивает наложения от стен бункера и локализирует пылевоздушные взрывы. Третья функция реализуется только в аварийных случаях. Представлена структурная схема алгоритма компьютерного управления задвижкой, динамическая модель бункера дозирования автоматической дозировочной системы сыпучих материалов, анализируются полученные динамические характеристики системы. Свойства линейных асинхронных двигателей позволяют несложными средствами реализовать многофункциональные устройства. В зависимости от способа включения электрически и магнитно двухстороннего линейного асинхронного двигателя (индукторы включены параллельно, последовательно или отдельно), можно менять развиваемую силу ЛАД. Ил. 8, библи. 6 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).