

## Gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų elektros variklių nuostoliai

S. Gečys, M. Kripas, V. Katkevičius

*Elektros sistemų katedra, Kauno technologijos universitetas,*

*Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300277, el. p. midog@one.lt*

### Įvadas

Gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų elektro-mechaniniame bloke dažniausiai taikomi vienfaziai asinchroniniai kondensatoriniai elektros varikliai su vientisaisiais feromagnetiniais rotoriais, jei naudojamas viengyslis geofizikos kabelis. Apskritai asinchroniniai elektros varikliai su vientisaisiais feromagnetiniais rotoriais naudojami ribotai dėl prastesnių energinių charakteristikų, todėl jie nėra pakankamai gerai ištirti. Mažos galios asinchroninius variklius su vientisaisiais feromagnetiniais rotoriais Lietuvoje tyrė prof. P. Kostrauskas ir prof. A. Smilgevičius [1,2]. P. Kostrauskas tyrė vientisą feromagnetinio rotoriaus ekvivalentinius parametrus ir juos pateikė kaip slydimo, plieno kokybės ir maitinimo įtampos dydžio funkcijas, priklausančias nuo plieno įsotavimo ir histerezės nuostolių. Vientisąjį rotorių skerspjūvį pasiūlyta skaidyti į atskiras elementarias kreivines trapecijas, kuriose rotoriaus parametrai pastovūs. A. Smilgevičius nagrinėjo simetrinį elektros variklį, kurio rotorius yra begalinio ilgio, o srovė teka tik ašine kryptimi. Magnetinės skvarbos nepastovumą ir baigtinį rotorių ilgį vertino W. Gibbs, L. Neimano, V. Kucevalovo, I. Vevierko pasiūlytais koeficientais.

Gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų elektros variklio viena iš pagrindinių charakteristikų yra mechaninė charakteristika, todėl ji turi būti vertinama atsižvelgiant į maitinimo grandinės parametrus: iki 10000 m ilgio viengyslio kabelio parametrus; patikimą variklio darbą visame sukimosi greičių ruože; ribotos galios maitinimo šaltinį; paleidimo kokybę; apkrovos momento pobūdį, atsižvelgiant ir į trinties į dielektrinį skystį momentą; darbo terpės aplinkos temperatūrų intervalą nuo  $-20^{\circ}\text{C}$  iki  $+200^{\circ}\text{C}$  ar daugiau [3]. Visas šias charakteristikas geriausiai tenkina asinchroninis kondensatorinis variklis su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi. Vienfazių asinchroninių kondensatorinių variklių su narveliniu rotoriumi naudingumo koeficientas siekia  $0,16 - 0,52$ , kai jų galia ( $6 - 180$ ) W [4]. Gerinant variklių su vientisaisiais feromagnetiniais rotoriais paleidimo kokybę, blogėja energinės charakteristikos, todėl šių variklių naudingumo koeficientas bus mažesnis negu variklių su narveliniais rotoriais [5,6].

Darbo tikslas – sudaryti gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų vienfazio asinchroninio kondensatorinio variklio su vientisuoju feromagnetiniu

rotoriumi galių diagramą, variklio nuostolių ir naudingumo koeficiento skaičiavimo algoritmą, atsižvelgiant į sudėtingą maitinimo grandinę (ilgas geofizikos kabelis su paskirstytais parametrais, nepastovi variklio apkrova ir įtampa per darbo ciklą, trinties į dielektrinį skystį nuostolių nepastovumas dėl plataus aplinkos temperatūros kitimo intervalo ir pan.).

### Vienfazio asinchroninio kondensatorinio variklio su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi nuostoliai

Gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų varikliai maitinami per ilgą geofizikos kabelį su paskirstytais parametrais, todėl varikliui tenka gerokai mažesnė įtampa negu maitinimo šaltinio, nes dalis jos krinta geofizikos kabelio varžoje, kuri būna tos pačios eilės kaip variklio pilnutinė įėjimo varža ( $150 - 350$ )  $\Omega$ .

**Maitinimo grandinės elektriniai nuostoliai.** Kad būtų paprasčiau, maitinimo grandinės balastinius elementus, esančius tiek šalia maitinimo šaltinio, tiek pačiame įtaise, išreikštus kompleksinėmis varžomis  $\underline{Z}_1$  ir  $\underline{Z}_2$ , tarp jų ir geofizikos kabelį, pakeiskime keturpoliu, įjungtu tarp maitinimo šaltinio ir elektros variklio. Jeigu maitinimo šaltinio vidaus kompleksinė varža  $\underline{Z}_U$  yra apčiuopiamo didumo, ją galima įjungti į keturpolį ir šitaip įvertinti.

Maitinimo grandinės elektriniai nuostoliai:

$$\Delta P_{eg} = P_I - P_V; \quad (1)$$

čia  $P_I = \text{Re}(\underline{U}_I \underline{I}_I^*)$  – iš maitinimo šaltinio imama galia;  $P_V = \text{Re}(\underline{U}_V \underline{I}_V^*)$  – elektros variklio imama galia;

$$\underline{U}_V = \frac{\underline{U}_I \cdot \underline{Z}_V}{\underline{A}_{22}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_U) + \underline{A}_{11}(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_V) + \underline{A}_{21}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_U)(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_V) + \underline{A}_{12}}$$

$$\underline{I}_V = \frac{\underline{U}_V}{\underline{Z}_V}; \quad \underline{I}_I^* = \underline{A}_{21}(\underline{U}_V + \underline{I}_V \underline{Z}_2) + \underline{A}_{12} \underline{I}_V;$$

$\underline{I}_I^*$  – iš maitinimo šaltinio imamos srovės jungtinis kompleksas;

$\underline{I}_V^*$  – elektros variklio srovės jungtinis kompleksas;

$\underline{U}_I$  – maitinimo šaltinio kompleksinė įtampa;

$\underline{Z}_V$  – asinchroninio kondensatorinio elektros variklio su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi įėjimo kompleksinė varža;

$\underline{A}_{11}$ ,  $\underline{A}_{12}$ ,  $\underline{A}_{21}$ ,  $\underline{A}_{22}$  – keturpolio koeficientai, įvertinantys ilgo geofizikos kabelio parametrus.

### Kondensatoriaus nuostoliai:

$$\Delta P_k = I_{wc}^2 R_c; \quad (2)$$

čia  $R_c$  – kondensatoriaus aktyvioji varža.

Jei  $R_c$  yra nežinoma, tai tariama, kad  $R_c \approx 0,05 X_C$ .

### Variklio statoriaus magnetiniai nuostoliai.

Tarsime, kad tiriamų variklių magnetinė sistema neprišotinta ir aukštesniosios magnetinio lauko erdvinės harmonikos nevertinamos. Tada statoriaus magnetiniai nuostoliai gali būti apskaičiuojami sumuojant nuostolius, kuriuos kuria tiesioginis ir atvirkštinis magnetiniai laukai [4, 7].

Tarsime, kad statoriaus magnetiniai nuostoliai, sukelti tiesioginių ir atvirkštinių magnetinių laukų, tiesiogiai proporcingi jų elektrovarų kvadratams. Esant bet kokiam slydimui, statoriaus magnetiniai nuostoliai apskaičiuojami taip [7]:

$$\Delta P_{ms} = \Delta P_{msk} \cdot \left( \frac{k_{e1} \cdot k_{ik} + k_{e2}}{1 + k_{ik}} \right); \quad (3)$$

čia  $\Delta P_{msk} = \Delta P_{ms1k} + \Delta P_{ms2k}$ , kai  $s=1$ ;

$$k_{ik} = \frac{E_{d1k}^2}{E_{d2k}^2} = \frac{I_{d1k}^2}{I_{d2k}^2}; k_{e1} = \frac{E_{d1}^2}{E_{d1k}^2}; k_{e2} = \frac{E_{d2}^2}{E_{d2k}^2};$$

$$\underline{E}_{d1} = \underline{I}_{d1} \cdot \underline{Z}_{Rd1}; \underline{E}_{d2} = \underline{I}_{d2} \cdot \underline{Z}_{Rd2};$$

$\underline{I}_{d1k}$ ,  $\underline{I}_{d2k}$ ,  $\underline{E}_{d1k}$ ,  $\underline{E}_{d2k}$  – darbinės apvijos tiesioginės ir atvirkštinės sekos srovių elektrovarų kompleksai, kai  $s=1$ ;

$\underline{I}_{d1}$ ,  $\underline{I}_{d2}$ ,  $\underline{E}_{d1}$ ,  $\underline{E}_{d2}$  – atitinkamai esant skirtingoms  $s$  vertėms;

$$\underline{Z}_{Rd1} = \frac{jX_{md} \cdot \left( \frac{R'_{2d}}{\sqrt{s}} + \frac{jX'_{2d}}{\sqrt{s}} \right)}{jX_{md} + \frac{R'_{2d}}{\sqrt{s}} + \frac{jX'_{2d}}{\sqrt{s}}};$$

$$\underline{Z}_{Rd2} = \frac{jX_{md} \cdot \left( \frac{R'_{2d}}{\sqrt{2-s}} + \frac{jX'_{2d}}{\sqrt{2-s}} \right)}{jX_{md} + \frac{R'_{2d}}{\sqrt{2-s}} + \frac{jX'_{2d}}{\sqrt{2-s}}}.$$

Tiesioginio lauko sukelti magnetiniai nuostoliai  $\Delta P_{ms1k}$  apskaičiuojami pagal [4] pateiktą formulę, o

$$\Delta P_{ms2k} = \Delta P_{ms1k} \cdot \frac{E_{d2k}^2}{E_{d1k}^2}.$$

**Vientisojo feromagnetinio rotorius magnetiniai nuostoliai.** Tarsime, kad vientisojo feromagnetinio rotorius magnetiniai nuostoliai, sukelti tiesioginių ir atvirkštinių magnetinių laukų, tiesiogiai proporcingi ne tik elektrovarų kvadratams, bet ir dažniui  $f^\beta$  ( $\beta=1,3-1,5$ , tai priklauso nuo plieno markės). Taigi, esant bet kokiam slydimui, rotorius magnetiniai nuostoliai apskaičiuojami taip:

$$\Delta P_{mR} = \Delta P_{mRk} \cdot \left( \frac{k_{ik} \cdot k_{e1} \cdot (s)^\beta + k_{ik} \cdot k_{e1} \cdot (2-s)^\beta}{1 + k_{ik}} \right); \quad (4)$$

čia  $\Delta P_{mRk} = \Delta P_{mR1k} + \Delta P_{mR2k}$ , kai  $s=1$ ;

$$\Delta P_{mRk} = \frac{\Delta P_{mR1k}}{k_{ik}}.$$

Tiesioginio lauko sukurti vientisojo feromagnetinio rotorius magnetiniai nuostoliai  $\Delta P_{mRk}$  apskaičiuojami pagal formules, pateiktas [8]. Asinchroniniams varikliams su narveliniais rotoriais, kai magnetinis laukas elipsinis, esant mažiems slydimams  $s=0,05-0,1$ , rotorius magnetinių nuostolių nepaisoma, nes jie yra gana maži. Kai variklio rotorius vientisas feromagnetinis, o variklis turi patikimai dirbti plačiame slydimų ruože nuo  $s=s_0$  iki  $s=0,6$ , todėl šie nuostoliai gali būti panašaus didumo kaip ir statoriaus magnetiniai nuostoliai.

### Statoriaus apvijų elektriniai nuostoliai.

Asinchroninio variklio magnetiniai nuostoliai padidina statoriaus darbinės ir kondensatorinės apvijų srovių aktyvijas dedamąsias. Magnetinių nuostolių įtaka statoriaus srovėms gali būti įvertinta statoriaus aktyviųjų srovės dedamųjų prieaugiais, kuriuos galima apskaičiuoti atsižvelgiant į ekvivalentines schemas, taip, kaip siūloma kondensatoriniams varikliams su narveliniais rotoriais [7]. Tarsim, kad statoriaus aktyviųjų srovės dedamųjų prieaugiai ( $\Delta I_{d1}$ ,  $\Delta I_{d2}$ ,  $\Delta I_{wc1}$ ,  $\Delta I_{wc2}$ ) yra sąlygoti magnetinių nuostolių ir kompensuojami po lygiai abiejų apvijų – darbinės ir kondensatorinės. Statoriaus apvijų elektriniai nuostoliai apskaičiuojami taip:

$$\Delta P_{es} = \Delta P_{esd} + \Delta P_{eswc} = \underline{I}_{sd}^2 \cdot \underline{R}_{1d} + \underline{I}_{swc}^2 \cdot \underline{R}_{1wc}; \quad (5)$$

čia

$\underline{I}_{sd} = \sqrt{I_{sd1}^2 + I_{sd2}^2}$ ,  $\underline{I}_{swc} = \sqrt{I_{swc1}^2 + I_{swc2}^2}$  – tikrosios darbinės ir kondensatorinės apvijų srovės;

$$\underline{I}_{sd1} = I_{d1} + \frac{P_{ms1} + P_{mR1}}{2 \cdot E_{d1}}; \underline{I}_{sd2} = I_{d2} + \frac{P_{ms2} + P_{mR2}}{2 \cdot E_{d2}};$$

$$\underline{I}_{swc1} = I_{wc1} + \frac{\Delta I_{d1}}{k}; \underline{I}_{swc2} = I_{wc2} + \frac{\Delta I_{d2}}{k}; k = \frac{W_{wc} \cdot k_{wc}}{W_d \cdot k_d}.$$

**Vientisojo feromagnetinio rotorius elektriniai nuostoliai.** Narvelinio rotorius elektriniai nuostoliai gali būti apskaičiuojami kaip visų rotorius srovių dedamųjų kuriamų nuostolių suma, tačiau dėl rotorius srovių apskaičiavimo sudėtingumo patogiau naudotis statoriaus apvijų srovėmis [7]. Tada vientisojo feromagnetinio rotorius elektriniai nuostoliai

$$\Delta P_{eR} = 2 \cdot I_{d1}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd1}) \cdot s + 2 \cdot I_{d2}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd2}) \cdot (2-s); \quad (6)$$

Atvirkštinės sekos elektromagnetinės galios  $P_{el2}$  nepakanka kompensuoti nesimetrinių vienfazių asinchroninių variklių rotoriaus elektriniams nuostoliams, sukeltiems sekos srovių  $P_{eR2}$  [7]. Todėl galia  $\Delta P_{eR2}$  (1 pav.) kompensuojama tiesioginės sekos elektromagnetine galia  $P_{el1}$ . Nekompensuoti galia

$$\Delta P_{eR2} = \Delta P_{eR2} - P_{el2} = 2 \cdot I_{d2}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd2}) \cdot (1-s); \quad (7)$$

$$\text{čia } \Delta P_{eR2} = 2 \cdot I_{d2}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd2}) \cdot (2-s);$$

$$P_{el2} = 2 \cdot I_{d2}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd2}).$$

**Mechaniniai nuostoliai.** Elektros variklių, dirbančių dielektriniame skystyje, mechaniniai nuostoliai susideda iš trijų dedamųjų:

$$\Delta P_{mech} = \Delta P_{pav} + \Delta P_{gal} + \Delta P_g; \quad (8)$$

čia  $\Delta P_{pav}$  – rotoriaus cilindrinio paviršiaus trinties nuostoliai;  $\Delta P_{gal}$  – rotoriaus galų trinties nuostoliai;  $\Delta P_g$  – rotoriaus guolių trinties nuostoliai.

Mechaninių nuostolių dedamųjų vertę lemia variklio matmenys, dielektrinio skysčio parametrai (kinematinė klampa ir tankis, kurie priklauso nuo variklio darbo aplinkos temperatūros), bet didžiausią dalį sudaro rotoriaus cilindrinio paviršiaus trinties ir dielektrinių skystų nuostoliai. Rotoriaus galų trinties nuostoliai sudaro ne daugiau kaip 10 %, o riedėjimo guolių trinties nuostoliai (20 – 30) % bendrų mechaninių nuostolių [9]. Cilindrinio paviršiaus ir rotoriaus galų trinties nuostolių apskaičiavimo formulės yra pusiau empirinės, o kurias iš jų taikyti, priklauso nuo Taylora ir Reynoldso skaičių verčių, kurios lemia dielektrinio skysčio, esančio elektros variklio oro tarpe tekėjimo režimą.

Buvo atlikti mechaninių nuostolių skaičiavimai pagal keturias metodikas dviem elektros varikliams (rotorių skersmenys 28 mm ir 16 mm, aktyvieji rotorų ilgiai 100 mm ir 50 mm) atitinkamai su dviejų tipų dielektriniais skysčiais, kurių kinematinė klampa +20 °C temperatūroje skiriasi 8 kartus. Šių dielektrinių skysčių parametrų (kinematinės klamos ir tankio) skaitinės vertės, pateiktos žinyuose ar techninėse sąlygose, yra nustatytos tik esant +20 °C, +50 °C, +100 °C temperatūroms, todėl jų vertės kitose temperatūrose iki +200 °C buvo gautos pasinaudojus tiesine ekstrapoliacija.

Elektros variklio, dirbančio dielektriniame skystyje, trinties nuostolių kitimas proporcingas dielektrinio skysčio parametrų kitimui, atsižvelgiant į platų aplinkos temperatūros kitimą bei sukimosi greitį. Palyginus elektros variklių mechaninių nuostolių skaičiavimų rezultatus su eksperimento rezultatais, nustatyta, kad su eksperimento rezultatais geriausiai koreliuoja skaičiavimai, atlikti pagal metodiką, pateiktą [10], todėl ji ir buvo pasirinkta.

Dažniausiai formulės elektros mašinų mechaniniams nuostoliams apskaičiuoti projektavimo knygoje pateikiamos atsižvelgiant į elektros mašinos konstrukciją. Ventilacijos ir trinties nuostoliai guoliuose apskaičiuojami kartu. Kadangi tiriamasis variklis dirba dielektrinio skysčio terpėje, tai tokia metodika negali būti taikoma. Guolių trinties nuostoliai apskaičiuojami pagal metodiką, pateiktą [11].

**Papildomieji nuostoliai.** Paprastai skaičiuojami tik didelės galios asinchroninių variklių papildomieji nuostoliai. Juos apskaičiuoti sunku, todėl dažniausiai atsižvelgiama į standartų nurodymus. Tačiau ir standartų nurodymai skiriasi (pvz., GOST ir IEC standartai numato  $\Delta P_{pap} = 0,005 P_{IN}$ ; NEMA standartai numato  $\Delta P_{pap} = 0,012 P_{2N}$ , jei  $P_{2N} < 1875$  kW, ir  $\Delta P_{pap} = 0,009 P_{2N}$ , jei  $P_{2N} \geq 1865$  kW). Pavyzdžiui, vienfazio asinchroninio variklio su narveliniu rotoriumi ( $P_{2N} = 120$  W;  $\eta_N = 0,60$ )  $\Delta P_{pap} \approx 0,028 P_{IN}$ , kai variklis apkrautas nominaliaja apkrova, ir  $\Delta P_{pap} \approx 0,012 P_{IN}$ , kai variklis veikia tuščiaja veika [4].

Asinchroninių variklių su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi papildomieji nuostoliai yra didesni negu variklių su narveliniu rotoriumi, tačiau nesudėtingomis priemonėmis juos galima sumažinti [5]. Dauguma autorių ir mažos galios asinchroniniams elektros varikliams ima  $\Delta P_{pap} = 0,005 P_{IN}$ . Atsižvelgdami į čia išdėstytas mintis, autoriai siūlo vienfaziams asinchroniniams kondensatoriniams varikliams su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi imti  $\Delta P_{pap} = 0,03 P_{IV}$ .

Papildomųjų nuostolių kitimą, keičiantis slydimui, rekomenduojama apskaičiuoti taip:

$$\Delta P_{pap}(s) = \Delta P_{pap} \left( \frac{I_{V\Sigma}(s)}{I_{Vp}} \right)^2; \quad (9)$$

čia  $I_{V\Sigma}(s)$  – variklio suminės imamosios srovės modulis bet kuriame slydimo taške;  $I_{Vp} = I_{V\Sigma}$ , kai  $s=1$ .

#### Elektros variklio bendrieji nuostoliai:

$$\Delta P = \Delta P_{eg} + \Delta P_k + \Delta P_{ms} + \Delta P_{es} + \Delta P_{mR} + \Delta P_{eR} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{pap}. \quad (10)$$

#### Nesimetrinio asinchroninio elektros variklio su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi galių diagrama

Elektros variklio elektromagnetinė galia:

$$P_{el} = 2 \cdot I_{d1}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd1}) + 2 \cdot I_{d2}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd2}), \quad (11)$$

mechaninė galia:

$$P_{mec} = 2 \cdot \left( I_{d1}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd1}) - I_{d2}^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{Rd2}) \right) \cdot (1-s), \quad (12)$$

naudingoji galia:

$$P_2 = P_{mec} - \Delta P_{mech} - \Delta P_{pap}. \quad (13)$$

Elektros variklio naudingumo koeficientas, atsižvelgiant į maitinimo grandinės nuostolius:

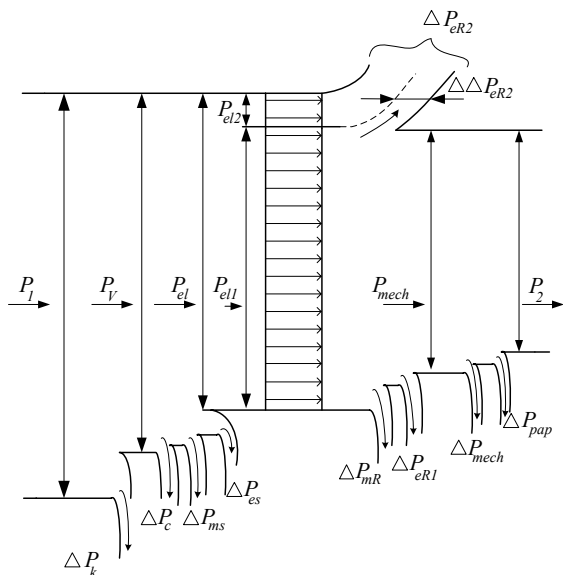
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (14)$$

Elektros variklio naudingumo koeficientas, neatsižvelgiant į maitinimo grandinės nuostolius,

$$\eta = \frac{P_2}{P_V} \quad (15)$$

Atskirais atvejais, analizuojant ekvivalentinės schemas varžų ar kitų parametrų įtaką variklio charakteristikoms, patogiau naudoti idealizuoto naudingumo koeficiento vertę, t. y. nevertinant magnetinių, mechaninių ir papildomųjų nuostolių.

Atsižvelgiant į anksčiau aptartus vienfazio asinchroninio kondensatorinio elektros variklio su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi nuostolius ir galias sudaryta variklio galių diagrama pateikta 1 paveiksle.

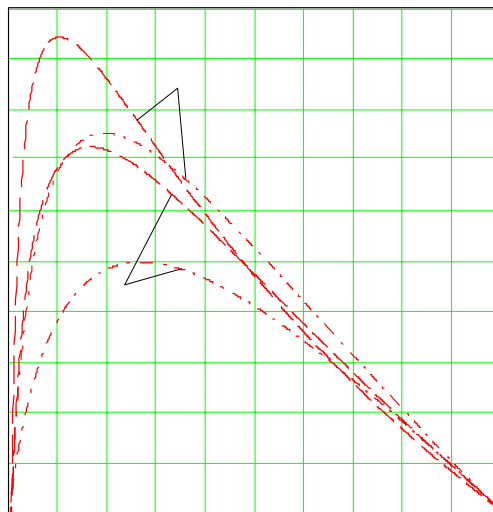


1 pav. Grežinių tyrimo mechatroninių įtaisų nesimetrinio asinchroninio elektros variklio galių diagrama

2 ir 3 paveiksluose pateiktos apskaičiuotos vienfazio asinchroninio kondensatorinio variklio su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi naudingumo koeficiento priklausomybės nuo slydimo, esant skirtingoms aplinkos temperatūroms  $\theta_0$  bei vertinant ir ne maitinimo grandinės nuostolius. Didžiausią bendrųjų tiriamojo variklio nuostolių dalį – apie (31–36) % sudaro elektros maitinimo grandinės nuostoliai, (26–32) % – rotoriaus elektriniai nuostoliai ir (16–22) % – statoriaus elektriniai nuostoliai (palyginimui imta  $s=0,3-0,4$ ,  $\theta_0=20^\circ\text{C}$  ir  $\theta_0=200^\circ\text{C}$ ).

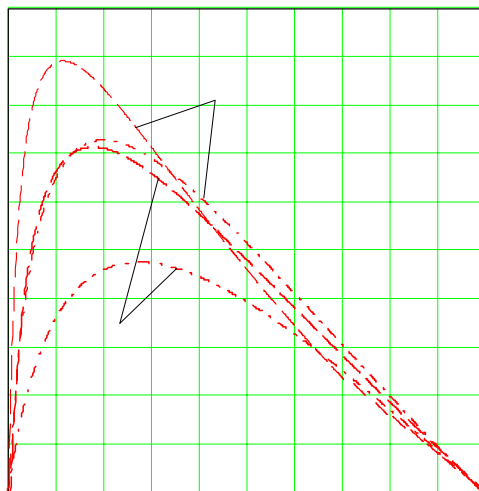
Panaudojus tinkamą mažiausios klampos dielektrinių skystį, mechaniniai nuostoliai neviršija 5,5 % bendrųjų nuostolių. Aplinkos temperatūrai kylant, didėja statoriaus fazės apvijų aktyvioji varža  $R_1 \approx \rho_1$  ir atitinkamai rotoriaus aktyvioji varža  $R_2' \approx \rho_2^{0,5}$ , todėl kinta nuostolių dedamųjų santykinė dalis bendruosiuose nuostoliuose. Pastaruoju metu vientisųjų feromagnetinių rotorijų gamybai galima naudoti geležies ir vario lydinys, ir tai leidžia sumažinti

nuostolių dedamąsias. Gerokai mažesnė šių lydinių magnetinė skvarba  $\mu_2$  ir truputį mažesnė savitoji varža, nors padidėja variklio įmagnetinimo varža ir sumažėja galios koeficientas, tačiau naudingumo koeficientas iki tam tikros  $\mu_2$  vertės didėja, o po to vėl mažėja. Kadangi tiriamų variklių aktyvusis ilgis yra gerokai didesnis negu tokio pat skersmens statorių turinčio standartinio variklio, tai, mažėjant statoriaus skersmeniui, neproporcingai didėja



2 pav. Variklio naudingumo koeficiento priklausomybė nuo slydimo atsižvelgiant į maitinimo grandinės nuostolius: 1 –  $\theta_0=20^\circ\text{C}$ ; 2 –  $\theta_0=200^\circ\text{C}$ ; rotoriaus medžiaga: - - - - plienas (Cr 3), - - - - Fe-Cu lydinys (CM – 25)

statoriaus fazės ir rotoriaus aktyvioji varža, todėl konkrečių matmenų varikliui, atsižvelgiant į maksimalios galios perdavimo maitinimo grandinė sąlygą bei platų aplinkos temperatūros kitimo intervalą, būtina parinkti optimalią  $\mu_2$  vertę.



3 pav. Variklio naudingumo koeficiento priklausomybė nuo slydimo neatsižvelgiant į maitinimo grandinės nuostolius: 1 –  $\theta_0=20^\circ\text{C}$ ; 2 –  $\theta_0=200^\circ\text{C}$ ; rotoriaus medžiaga: - - - - plienas (Cr 3), - - - - Fe-Cu lydinys (CM – 25)

## Išvados

1. Sudarytas gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų vienfazio asinchroninio kondensatorinio elektros variklio su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi bendrųjų nuostolių ir jų dedamųjų bei naudingumo koeficiento apskaičiavimo algoritmas ir programa, atsižvelgiant į sudėtingą elektros variklio maitinimo grandinę, darbo terpės ypatumus ir platų aplinkos temperatūros kitimo intervalą.

2. Sudaryta vienfazio asinchroninio kondensatorinio elektros variklio galių diagrama, atsižvelgiant į sudėtingą maitinimo grandinę.

## Literatūra

1. **Костраукас П.** Однофазные явнополюсные асинхронные двигатели. – Каунас: Технология, 1995.– 124 с.
2. **Smilgevičius A.** Mažo galingumo asinchroninių variklių su paskirstytais antrinės grandinės parametrais teorijos ir skaičiavimo klausimu: Daktaro dis. – Vilnius: 1966.– 154 p.
3. **Gečys S., Kalvaitis A.** Geofizikos prietaisų elektros variklių mechaninės charakteristikos vertinimo kriterijai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2002.– Nr. 4 (39). – P. 42 – 46.
4. **Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А.** Проектирование электрических машин малой мощности.– М.: Высшая школа, 2002. – 512 с.

5. **Лопухина Е.М., Захаренко А.Б.** Улучшение показателей асинхронных двигателей с массивными ферромагнитными роторами // Электричество.– 1999. – №12. – С. 42 – 45.
6. **Experimental Investigations on High Speed Solid and Composite Rotor Induction Motor / N. D. Sharma, R. Anbarasu, J. Nataraj, A. Y. Dangore, B. Bhattacharjee // Proceedings of the 1996 International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth. – New – Deli, India, 8 – 11 Jan. 1996. -Vol. 2. – P. 913 – 919.**
7. **Юферов Ф.М.** Электрические машины автоматических устройств.– Москва: Высшая школа, 1988.– 480 с.
8. **Геллер Б., Гамата В.** Высшие гармоники в асинхронных машинах / Пер. с англ. – М.: Энергия, 1981.– 352 с.
9. **Электрические машины с жидкостным охлаждением / Г.Г. Счастливый, Г.М. Федоренко, В.А. Терешонков, В.И. Выговский.** – Киев: Наукова думка, 1989.– 288 с.
10. **Ковалев Е.Б., Непочатов В.В., Дмитренко Ю. И.** Исследование потерь трения в жидкостнозаполненном электродвигателе // Сборник научных трудов ВНИПКИ взрывозащищенного и рудничного оборудования.– 1982.– №. 8. – С. 9 – 13.
11. **Бертинов А. И., Синева Н. В.** Индукционные трехфазные двигатели с различными роторами. – М.: МАИ, 1968.– 72 с.

Pateikta spaudai 2005 02 02

## S. Gečys, M. Kripas, V. Katkevičius. Gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų elektros variklių nuostoliai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 2(58). – P 65–69.

Gręžinių tyrimo mechatroninių įtaisų elektros variklio viena iš pagrindinių charakteristikų yra mechaninė charakteristika, tačiau ir kitos charakteristikos turi būti vertinamos atsižvelgiant į maitinimo grandinę ( iki 10000 m ilgio viengyslio geofizikos kabelio parametrai, papildomos balastinės varžos dažniausiai talpinio pobūdžio), patikimą variklio darbą visame sukimosi greičių ruože, ribotos galios maitinimo šaltinį, paleidimo kokybę, apkrovos momento pobūdį , atsižvelgiant ir į trinties į dielektrinį skystį momento kitimą dėl plataus darbo terpės aplinkos temperatūros intervalo kitimo nuo –20 °C iki +200 °C. Visus anksčiau paminėtus reikalavimus geriausiai tenkina vienfazis asinchroninis kondensatorinis variklis su vientisuoju feromagnetiniu rotoriumi. Aptariamas tiriamojo variklio maitinimo per sudėtingą maitinimo grandinę ir atsižvelgiant į darbo terpės ypatumus bei platų aplinkos temperatūros kitimo intervalą, nuostolių dedamųjų apskaičiavimo algoritmas. Sudaryta tiriamojo variklio galių diagrama, bendrųjų nuostolių ir naudingumo koeficiento apskaičiavimo algoritmas ir programa. Il. 3 , bibl. 11 ( lietuvių kalba; santraukos lietuvių , anglų ir rusų k.).

## S. Gečys, M. Kripas, V. Katkevičius. Losses of Electrical Motor for Borehole Investigating Mechatronical Devices // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 2(58). – P. 65–69.

The performances of the electrical motor for borehole investigating devices as well as and the torque-slip one may be evaluated taking into account the supply circuit ( the parameters of the long (till 10000 m) single-core geophysical cable, the ballast complex impedances), reliable motor operating in whole slip range, the limited power supply source, the starting quality, character of load torque to dielectric liquid depending on wide operating medium temperature change interval from –20 °C up to +200 °C. The single-phase asynchronous capacitor motor with solid ferromagnetic rotor is the most suitable for above mentioned conditions. The calculation algorithm of the losses components of the investigating motor supplying through the complex circuit taking into account the peculiarities of operating medium and wide temperature change interval. The power diagram as well as the calculation algorithm and programme of general losses and efficiency of the investigating motor have been created. Ill. 3, bibl. 11 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

## S. Гячис, М. Крипас, В. Каткявичюс. Потери электродвигателей для геофизических скважинных мехатронных устройств // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2005. – № 2(58). – С. 65–69.

Характеристики электродвигателя для геофизических скважинных мехатронных устройств, в том числе и механическая, должны учитывать цепь питания ( параметры длинного до 10000 м одножильного геофизического кабеля, добавочные балластные сопротивления емкостного характера), надёжную работу двигателя во всём диапазоне скоростей вращения, предельную мощность источника питания, добротность пуска, характер нагрузочного момента, учитывая изменение момента трения о диэлектрическую жидкость из-за широкого диапазона изменения окружающей температуры от –20 °C до +200 °C. Всем вышеупомянутым условиям лучше всего удовлетворяет однофазный асинхронный конденсаторный двигатель с массивным ферромагнитным ротором. Представлен алгоритм расчёта составляющих потерь исследуемого двигателя, питаемого через сложную цепь питания учитывая специфику рабочей среды и широкий диапазон изменения температуры окружающей среды. Составлена диаграмма мощностей, алгоритм и программа расчёта суммарных потерь и коэффициента полезного действия исследуемого двигателя. Ил. 3, библи. 11 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

