

## Netiesioginis asinchroninių variklių su dvifaze statoriaus apvija statinio ekscentriciteto kontrolės būdas

**S. Gečys**

*Elektros sistemų katedra, Kauno technologijos universitetas  
Studentų g. 48, 51367 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300277*

**V. Barzdaitis**

*Inžinerinės mechanikos katedra, Kauno technologijos universitetas  
Gedimino g. 43 – 112, 44240 Kaunas, Lietuva*

**R. Muleravičius**

*Energetikos ir elektronikos katedra, Kauno technikos kolegija  
Tvirtovės alėja 35, LT – 3009 Kaunas, Lietuva*

### Įvadas

Asinchroniniai varikliai su dvifaze statoriaus apvija – tai automatinio valdymo sistemų asinchroniniai varikliai, asinchroniniai kondensatoriniai varikliai, asinchroniniai tachogeneratoriai, pasukamieji transformatoriai, gręžinių tyrimo prietaisų asinchroniniai kondensatoriniai varikliai.

Dėl ekscentriciteto, sąlygojančio elektros variklio oro tarpo netolygumą, didėja asinchroninių variklių nuostoliai, mažėja naudingumo koeficientas, apvijos ir magnetolaidžiai labiau šyla, didėja bendras triukšmų ir vibracijų lygis, mažėja vidutinis paleidimo momentas, atsiranda vienpusė magnetinės traukos jėga, dėl kurios savo ruožtu sutrumpėja guolių ilgaamžiškumas ir apskritai mažėja viso variklio patikimumas. Dėl gamybos netikslumų, technologinių veiksnių įtakos dažnai jau eksploatacijos pradžioje būna pradinis ekscentricitetas. Mažos galios asinchroninių elektros variklių oro tarpas esti palyginti nedidelis, todėl net menki technologiniai gamybos proceso, surinkimo, balansavimo nuokrypiai gali turėti didelę įtaką oro tarpo asimetrijai. Daugumos gaminamų mažos galios asinchroninių elektros variklių konstrukcija yra tokia, kad negalima tiesiogiai nustatyti ekscentriciteto, todėl jį kontroliuoti galima tik netiesiogiai. Dirbdamas variklis, šyla atsiranda papildomos elektromagnetinės, išcentrinės jėgos, kurios tik didina ekscentricitetą [1].

[2] pateikta elektros mašinų oro tarpo netolygumo kontrolės metodų apžvalga ir jų klasifikacija. Manoma, kad mažos galios asinchroninių variklių oro tarpo netolygumo kontrolei gali būti rekomenduojami tokie netiesioginiai kontrolės metodai, kurių informatyvūs diagnostiniai parametrai yra: poveikio įtampa, paleidimo srovė, vibracija ( $f_1$ ,  $2f_1$ ; čia  $f_1$  – maitinimo tinklo dažnis), reaktyvioji momento dedamoji.

Darbo tikslas – nustatyti asinchroninių variklių su dvifaze apvija statoriuje netiesioginį informatyvų parametrai, priklausantį nuo statinio ekscentriciteto. Pasiūlyti jo praktinio realizavimo būdą.

### Vienpusė magnetinės traukos jėga – informatyvus statinio ekscentriciteto parametras

Asinchroninių variklių vienpusės magnetinės traukos jėgos (VMTJ) tematika yra paskelbta nemaža darbų.

Daugumoje iš jų parodyta, kad tarp VMTJ ir ekscentriciteto yra tiesinė priklausomybė [3 – 7]:

$$F = kD_i l B_\delta^2 \varepsilon; \quad (1)$$

čia  $k$  – proporcingumo koeficientas;  $D_i$  – vidinis statoriaus skersmuo;  $l$  – aktyvusis statoriaus ilgis;  $B_\delta$  – oro tarpo magnetinio srauto tankis;  $\varepsilon = \frac{e}{\delta_0}$  –

santykinis ekscentricitetas ( $e$  – ekscentriciteto dydis;  $\delta_0$  – tolygaus oro tarpo dydis).

Kitų autorių pateiktos netiesinės priklausomybės rodo, kad, didėjant santykiniam ekscentricitetui, VMTJ didėja greičiau nei esant tiesinei priklausomybei.

Taigi VMTJ gali būti patikimas ir informatyvus netiesioginis parametras elektros variklių statiniam ekscentricitetui kontroliuoti ar diagnozuoti, nes ji atsiranda tik tuomet, kai yra ekscentricitetas. VMTJ, veikianti variklio guolius, didina trinties momentą, todėl atsiranda galimybė palyginti, kaip keičiasi trinties momentas, kai VMTJ yra ir kai jos nėra.

Tiriamąjį elektros variklio trinties momentą galima nustatyti sklandžiai didinant maitinimo įtampą nuo nulio iki vertės, kol jo rotorius pradės stabiliai sukstis. Tolygiai didinant elektros variklio maitinimo įtampą, jo pradinis sukimo momentas didėja, kai elektros variklio rotorius iš lėto pradeda sukstis, pradinis variklio sukimo momentas būna lygus trinties momentui.

Maitinimo įtampa, kuri reikalinga, kad neapkrautas elektros variklis pradėtų sukstis, yra nedidelė. Ji siekia apie 2÷5% nominaliosios įtampos vertės. Esant tokiai mažai maitinimo įtampai, elektros variklio oro tarpo magnetinis srauto tankis bus nedidelis, kartu ir VMTJ bus labai maža

(su sąlyga, kad elektros variklis turi ekscentricitetą), nes VMTJ yra tiesiogiai proporcinga magnetinio srauto tankio kvadratui  $F \equiv B_{\delta}^2$ .

Nustatyti VMTJ, kai elektros variklis yra maitinamas nominaliąja įtampa, yra sudėtinga. Vienas iš galimų būdų variklio oro tarpo magnetinio srauto tankiui  $B_{\delta}$  padidinti yra vienos iš variklio statoriaus fazinių apvijų pamagnetinimas nuolatinė srove. Taip sužadinus magnetinį lauką asinchroninio variklio oro tarpe, nuolatinė srovė, tekanti viena iš statoriaus fazinių apvijų, yra įmagnetinančioji ir, kadangi variklio rotorius nesisuka, jo apvijose nesiindukuos elektrovara ir jokio variklio rotorius išmagnetinančio poveikio nebus. Dėl šios priežasties, prijungus asinchroninio variklio vieną iš fazinių apvijų prie nuolatinės srovės šaltinio, iki rotorius nepradės sukis, stabdantis elektromagnetinis momentas nesusikurs, kitaip tariant, dinaminio stabdymo nebus. VMTJ, didindama radialiąją variklio guolių apkrovą, kartu didina ir trinties momentų dedamąsias, kurios yra susijusios su histerezės nuostoliais guoliuose ir diferencialiniu slydimu [8].

Asinchroninio variklio su dvifaze statoriaus apvija trinties momentas guoliuose gali būti apskaičiuotas taip:

$$M_{trg} = M_{p1} \frac{U_{vpov} U_{fpov}}{U_{v1} U_{f1}}; \quad (2)$$

čia  $M_{p1}$  – neapkrauto variklio paleidimo momentas, kai  $U_{f1} = U_{v1}$ ;  $U_{f1}$  – variklio žadinimo apvijų maitinimo įtampa;  $U_{v1}$  – variklio valdymo apvijų maitinimo įtampa;  $U_{vpov}$  – variklio valdymo apvijų poveikio įtampa;  $U_{fpov}$  – variklio žadinimo apvijų poveikio įtampa.

Variklio paleidimo momentas gali būti nustatytas, kai įtampos gerokai mažesnės už nominaliąsias. Paleidimo momentui nustatyti gali būti naudojamas skriemulio su svareliu metodas. Nustatant variklio guolių trinties momentą  $M_{trg}$ , įtampos  $U_{vpov}$  ir  $U_{fpov}$  didinamos tolygiai. Variklio trinties momentas guoliuose, kai žadinančioji statoriaus apvija papildomai dar pamagnetinama nuolatinė srove, gali būti apskaičiuotas taip:

$$M_{trgp} = M_{p1} \frac{U_{vpovp} U_{fp}}{U_{v1} U_{f1}}; \quad (3)$$

čia  $M_{p1}$  – surandamas kaip ir anksčiau, esant toms pačioms sąlygoms;  $M_{trgp}$  – variklio trinties momentas, atsižvelgiant į pamagnetinimą nuolatinė srove;  $U_{vpovp}$  – valdymo apvijų poveikio įtampa, atsižvelgiant į pamagnetinimą nuolatinė srove;  $U_{fp}$  – žadinimo apvijų įtampa ( $U_{fp} = \sqrt{U_{f1}^2 + U_{f-}^2}$ );  $U_{f-}$  – nuolatinės įtampos dedamoji;  $U_{v1}$ ,  $U_{f1}$  – įtampos, kurioms esant nustatytas  $M_{p1}$ .

Skirtumas tarp variklio trinties momentų, kai jo žadinančioji apvija papildomai pamagnetinama nuolatinė srove ir kai ji nepamagnetinama, yra variklio reaktyvusis

momentas, kurio atsiradimo priežastis yra VMTJ, su sąlyga, jei yra statinis ekscentricitetas. Taigi elektros variklio reaktyvusis momentas bus

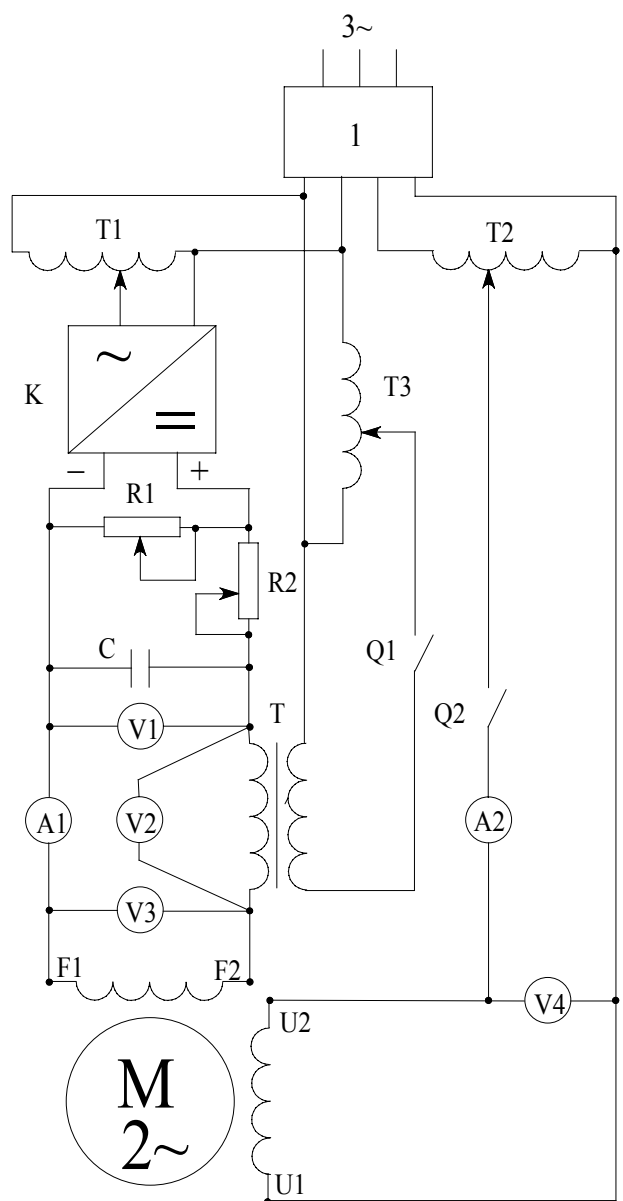
$$M_r = M_{trgp} - M_{trg} = \frac{M_{p1}}{U_{v1} U_{f1}} (U_{vpovp} U_{fp} - U_{vpov} U_{fpov}); \quad (4)$$

o jo santykinis reaktyvusis momentas

$$m_r = \frac{1}{U_{v1} U_{f1}} (U_{vpovp} U_{fp} - U_{vpov} U_{fpov}); \quad (5)$$

čia

$$m_r = \frac{M_r}{M_{p1}}$$



1 pav. Principinė elektrinė schema: 1 – Scott'o transformatorius; T1, T2, T3 – autotransformatoriai; T – skiriamasis transformatorius; K – keitiklis

## Būdo praktinis taikymas

Asinchroninių variklių su dvifaze apviją statoriuje statiniam ekscentricitetui kontroliuoti siūloma, kad viena iš statoriaus fazinių apvijų (žadinimo) būtų maitinama arba tik kintamąja įtampa, arba vienu metu kintamąja ir nuolatine įtampomis. Tokiu atveju bandomojo variklio žadinimo apviją F1 – F2 (1pav.) galėsime pamagnetinti nuolatine srove. Tam siūloma panaudoti principinę schemą, parodytą 1 paveiksle.

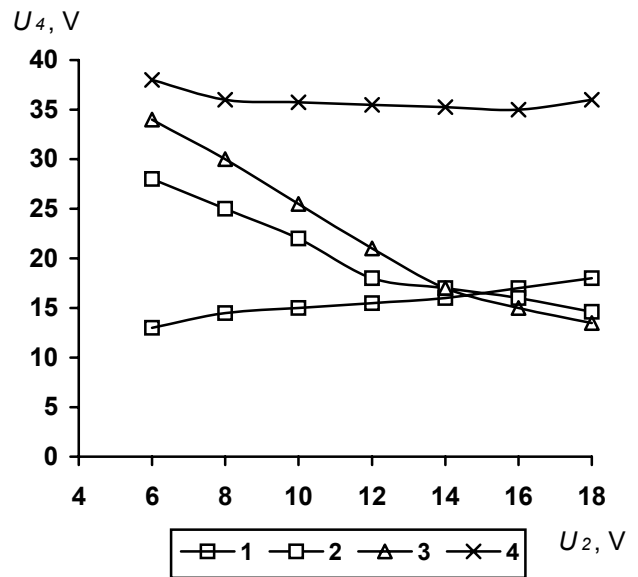
Dvi statmenos įtampos gaunamos Scotto transformatoriumi. Kintamųjų įtampų vertės reguliuojamos autotransformatoriais T2 ir T3. Į žadinančiosios apvijos

F1 – F2 grandinę įjungtas keitiklis K. Nuolatinės įtampos  $U_f$  dydį galima reguliuoti autotransformatoriumi T1 ir rezistoriumi R1. Kintamoji įtampa  $U_{f1}$  dedamoji reguliuojama autotransformatoriumi T3. Įtampos pulsacijoms sumažinti į grandinę įjungtas kondensatorius C. Variklio valdymo apviją U1 – U2 maitinančioji įtampa  $U_v = U_4$  reguliuojama autotransformatoriumi T2.

## Eksperimentiniai tyrimai

Bandomasis elektros variklis – tai dvipolis variklis asinchroninis su dvifaze statoriaus apviją (apvijų transformacijos koeficientas  $k \approx 1$ ). Variklio nominalioji galia 50W. Variklio rotorius yra vientisasis, feromagnetinis. Bandomajam varikliui statinis ekscentricitetas buvo sukurtas panaudojant guolius su tam tikslui ištekintomis įvorėmis. Bandomasis variklis, tiek su dirbtinai sukurtu statiniu ekscentricitetu, tiek be ekscentriciteto, buvo kontroliuojamas panaudojant kitus metodus. 2 paveiksle pateikta bandomojo variklio valdymo įtampos  $U_4$  priklausomybė nuo žadinimo apviją maitinančios kintamosios įtampos  $U_{f1} = U_1$  (kai bandomasis variklis beveik neturi statinio ekscentriciteto). Kai žadinimo apviją nepamagnetinta,  $U_2 = U_3$ . Nustatomos bandomojo variklio poveikio įtampos  $U_{vpov}$  ir  $U_{fpov}$ , kai jo žadinimo apviją nepamagnetinta. Įtampos  $U_{vpov}$  ir  $U_{fpov}$  didinamos sklandžiai, pradedant nuo nulio, iki bandomojo variklio rotorius pradės stabiliai sukintis.

Bandomojo variklio paleidimo momentas  $M_{p1}$  nustatomas esant įtampoms  $U_{v1}$  ir  $U_{f1}$ . Įtampas  $U_{v1}$  ir  $U_{f1}$  reikia parinkti tokias, kad variklio magnetinė grandinė būtų neįsotinta ( $U_{v1} < U_{v1N}$ ,  $U_{f1} < U_{f1N}$ ). Iš šių bandymo duomenų pagal (2) lygtį galima apskaičiuoti bandomojo variklio guolių trinties momentą. Kaip matyti iš 2 paveikslo, bandomajam varikliui optimaliausia nustatyti poveikio įtampos  $U_{vpov}$  vertes (kai variklio žadinimo apviją nepamagnetinta ir kai ji pamagnetinta nuolatine srove), kai įtampa  $U_2 = 12 \div 15V$ . Ši įtampa  $U_2$  vertė nustatoma, kai variklio žadinimo apviją nepamagnetinta, o variklio poveikio įtampos  $U_{vpov} = U_4$  ir  $U_{fpov} = U_2$  didinamos sklandžiai nuo nulio, iki variklio rotorius pradės stabiliai sukintis.



1 -  $\varepsilon = 0$  su P ; 2 -  $\varepsilon \neq 0$  be P; 3 -  $\varepsilon = 0$  be P; 4 -  $\varepsilon \neq 0$  su P;  
P – pamagnetinimas

**2 pav.** Bandomojo variklio valdymo įtampos  $U_4$  priklausomybė nuo žadinimo apviją maitinančios įtampos  $U_2$ : 1–variklis beveik neturi ekscentriciteto, žadinimo apviją pamagnetinta nuolatine srove; 2–variklis turi statinį ekscentricitetą ( $\varepsilon_s \approx 0,6$ ), žadinimo apviją nepamagnetinta; 3–variklis beveik neturi ekscentriciteto, žadinimo apviją nepamagnetinta; 4–variklis turi statinį ekscentricitetą ( $\varepsilon_s \approx 0,6$ ), žadinimo apviją pamagnetinta nuolatine srove

## Išvados

1. Pasiūlytas netiesioginis būdas mažos galios asinchroninių variklių su dvifaze statoriaus apviją statiniam ekscentricitetui kontroliuoti ar diagnozuoti. Būdo informatyvus diagnostinis parametras – vienpusė magnetinės traukos jėga, veikianti bandomojo variklio guolius, gerokai padidina jų trinties momentą, kai viena iš statoriaus fazinių apvijų papildomai pamagnetinama nuolatine srove. Skirtumas tarp variklio guolių trinties momentų, kai jo žadinančioji apviją papildomai pamagnetinama ir nepamagnetinama, yra variklio reaktyvusis momentas, kurio atsiradimo priežastis yra vienpusė magnetinės traukos jėga, su sąlyga, kad yra statinis ekscentricitetas.

2. Pasiūlyta principinė elektrinė schema vienai iš bandomojo variklio fazinei apvijai pamagnetinti nuolatine srove.

## Literatūra

1. **Гячис С.** Увеличение начального эксцентриситета электрических машин в экстремальных условиях работы // Электротехника: Научные труды. – Вильнюс, 1988. – № 15(24). – С.37–42.
2. **Gečys S.** Elektros mašinų oro tarpo kontrolės metodai ir įrenginiai // Elektrotechnika: Mokslo darbai. – Kaunas, 1993. – Nr.18(27). – P.51-65.

3. **Bradford M.** Unbalance Magnetic Pull in a 6 – pole Induction Motor // Proc. IEE. – 1968 – 115(11). – P.1619 – 1627. **Heller B.** Der Einseitige Magnetische Zug in der Asynchronmaschine // Acta Technica ČSAV. – 1969. –No 3. – P.272 – 282.
4. **Binns K., Dye M.** Identification of Principal Factors Causing Unbalanced Magnetic Pull in Cage Induction Motors // Proc.IEE. – 1973.v.120. – No 3. – P.349 – 354.
5. **Arkkio A.** Unbalanced Magnetic Pull in Cage Induction Motors – Dynamic and static Eccentricity // Proc.ICEM' 96, Sept. 1996. Vigo, Spain. – P. 192 – 197.
6. **Поспелов Л.И.** Конструкции авиационных электрических машин. - Москва: Энергоатомиздат, 1982. – 320 с.
7. **Приборные шариковые подшипники: Справочник.** // Под редакцией К.Н. Явленского. – Москва: Машиностроение, 1981. – 351 с.

Pateikta spaudai 2003 09 22

**S. Gečys, V. Barzdaitis, R. Muleravičius. Netiesioginis asinchroninių variklių su dvifaze statoriaus apvija statinio ekscentriciteto kontrolės būdas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 1(50). – P. 42-45.**

Straipsnyje nagrinėjamas netiesioginis būdas mažos galios asinchroninių variklių su dvifaze statoriaus apvija statiniam ekscentricitetui kontroliuoti ar diagnozuoti. Būdo informatyvus diagnostinis parametras – vienpusė magnetinės traukos jėga, veikianti bandomojo variklio guolius, gerokai padidina jų trinties momentą, kai viena iš statoriaus fazinių apvijų papildomai pamagnetinama nuolatine srove. Skirtumas tarp variklio guolių trinties momentų, kai jo žadinančioji apvija papildomai pamagnetinama ir kai ji nepamagnetinama, yra variklio reaktyvusis momentas, kurio atsiradimo priežastis yra vienpusė magnetinės traukos jėga, jei variklyje yra statinis ekscentricitetas. Pateikta vienos iš bandomojo variklio fazinių apvijų pamagnetinimo nuolatine srove principinė elektrinė schema. Bandomojo variklio trinties momentą galima diagnozuoti sklandžiai didinant maitinimo įtampą (pvz., valdančiosios apvijos, o prie žadinimo apvijos prijungta nustatyta įtampa) nuo nulio iki vertės, kol jo rotorius pradės stabiliai sukstis. Il.2, bibl.8 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**S. Gečys, V. Barzdaitis, R. Muleravičius. The Indirect Control Method of Static Eccentricity for Induction Motors with Two – Phase Stator Winding // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 1(50). – P. 42-45.**

The indirect control or diagnosis method of static eccentricity for small power induction motors with two – phase stator winding have been analysed. The informative diagnostic parameter of this method is unbalanced magnetic pull acting on the bearings of tested motor that significant increases the friction torque when the one of phase stator winding are in addition with direct – current magnetic biasing. The difference between friction torques in bearings of motor have been stated when its excitation winding in addition with direct – current magnetic biasing and without magnetic biasing is the reactive torque of motor. The main reason of this torque rise is the unbalanced magnetic pull if the static eccentricity is dominant. The basic electrical circuit for magnetic biasing of motor excitation winding have been developed. The friction torque of tested motor may be diagnosed smoothly from zero increasing the supply voltage (e.g. of control winding, while the fixed voltage is supplied to the excitation winding) until the rotor reaches stable regime of rotation. Il.2, bibl.8 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

**С. Гячис, В. Барздайтис, Р. Мулеравичюс. Способ косвенного контроля статического эксцентриситета асинхронных двигателей с двухфазной обмоткой на статоре // Электроника и электротехника. Каунас: Технология, 2004. – № 1(50). – С. 42-45.**

В статье анализируется косвенный способ контроля или диагностики статического эксцентриситета асинхронных двигателей малой мощности с двухфазной обмоткой на статоре. Информативный диагностический параметр способа – односторонняя магнитная сила тяжения, действующая на подшипники испытуемого двигателя, значительно увеличивает момент трения в них, если одна из фазных обмоток статора дополнительно подмагничивается постоянным током. Разница между моментами трения в подшипниках двигателя, когда его возбуждающая обмотка дополнительно подмагничена, есть реактивный момент двигателя, причиной его возникновения является сила одностороннего магнитного тяжения, если двигатель имеет статический эксцентриситет. Представлена принципиальная электрическая схема для подмагничивания одной из фазных обмоток испытуемого двигателя. Момент трения испытуемого двигателя может быть диагностирован плавно поднимая напряжение питания (напр. для обмотки управления, а к обмотке возбуждения подключено определённое напряжение) до тех пор пока ротор начнёт стабильно вращаться. Ил.2, библи.8 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском, русском яз.).