

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Virginijus Pilipavičius

**VIENFAZIO MAŽOS GALIOS ASINCHRONINIO VARIKLIO SU NESIMETRINIU
STATORIAUS MAGNETOLAIDŽIU CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS KEIČIANT
MAITINAMOS ĮTAMPOS DAŽNĮ**

Magistro darbas

Vadovas

Doc.dr. T.Šimkevičius

ŠIAULIAI 2006

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

doc.dr.T.Šimkevičius

2006.06

**VIENFAZIO MAŽOS GALIOS ASINCHRONINIO VARIKLIO SU NESIMETRINIU
STATORIAUS MAGNETOLAIDŽIU CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS KEIČIANT
MAITINAMOS ĮTAMPOS DAŽNĮ**

Magistro darbas

Rezendentas

Doc.dr. Z.Turauskas

2006. 06.

Vadovas

Doc.dr.T.Šimkevičius

2006.06.

Atliko

EM – 4 gr.stud.

V.Pilipavičius

2006.06.

ŠIAULIAI 2006

SANTRAUKA

**V.Pilipavičius . Asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas
keičiant įtampos dažnį. Magistro darbas.**

**Vadovas doc.dr.T.Šimkevičius. Šiaulių Universitetas, Technologijos Fakultetas,
Elektros inžinerijos katedra. Šiauliai 2006.**

SUMMARY

**V.Pilipavičius. The research of the characteristic of frequency inverterfed small power single –
phase induction motor with asymmetrical stator.**

Master thesis of Energetics engineer/ research advisor doc.dr. T.Šimkevičius. Šiauliai

The main purpose of this research – to investigate the mechanical and working characteristics of single – phase inductoin motor with asimmetrical stator . The other purpose - to evaluate single phase motor use with frequency transformer.

TURINYS

IŽANGA

1. Bendrieji principai	7
1.1. Vienfazės apvijos magnetovara	8
1.2. Atstojamosios variklio schemas	11
1.3. Vienfazio asinchroninio variklio teorijos ypatumai	15
1.4. Vienfazis asinchroninis variklis su asimetriniu statoriaus magnetolaidžiu	19
1.5 Asinchroninio variklio galios koeficientas $\cos\varphi$	21
1.6 Asinchroninio variklio naudingumo koeficientas η	21
1.7 Asinchroninio variklio momentas M	22
1.8 Asinchroninio variklio naudingoji galia P_2	24
2. Vienfazio asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi tyrimas	25
2.1 Bandyimo stendas	25
2.2 Skaičiavimo metodika	28
2.3 Dažnio keitiklis SIEMENS Micromaster Vector	30

3. Tyrimo programa	32
3.1 AV su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas maitinant iš tinklo	32
3.2 AV su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas maitinant iš dažnio keitiklio	32
3.3 AV su asimetriniu statoriumi charakteristikų palyginimas	33
4. Tyrimo rezultatai	34
4.1 Asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi tyrimas, kai jis prijungtas prie tinklo	34
4.2 Asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas, kai variklis maitinamas iš dažnio keitiklio	36
5. Rezultatų analizė	43
5.1 Momento analizė.....	43
5.2 Galios koeficiento $\cos\varphi$ analizė.....	44
5.3 Naudingumo koeficiento η analizė.....	45
Išvados	46
Literatūra	47

LENTELĖS

2.1 Lentelė. Dažnio keitiklio parametrai

4.1 Lentelė. Duomenų lentelė, kai AV maitinamas iš tinklo

4.2 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 10 Hz dažnio įtampa

4.3 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 20 Hz dažnio įtampa

4.4 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 30 Hz dažnio įtampa

4.5 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 40 Hz dažnio įtampa

4.6 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 50 Hz dažnio įtampa

4.7 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 60 Hz dažnio įtampa

4.8 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 70 Hz dažnio įtampa

4.9 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 80 Hz dažnio įtampa

4.10 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 90 Hz dažnio įtampa

4.11 Lentelė. Asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio 100 Hz dažnio įtampa

PAVEIKSLAI

- 1.1 Paveikslas. Variklio magnetinio lauko jėgų linijos
- 1.2 Paveikslas. Vienfazio variklio atstojamoji schema
- 1.3 Paveikslas. Vienfazio variklio atstojamoji schema su pataisos koeficientu
- 1.4 Paveikslas. Atstojamoji asinchroninio variklio (AV) schema
- 1.5 Paveikslas. Trifazio variklio schema, kuris nagrinėjamas kaip vienfazis
- 1.6 Paveikslas. Vektorinė srovių diagrama
- 1.7 Paveikslas. Atstojamoji asinchroninio variklio schema
- 1.8 Paveikslas. Plieno nuostolių kampo priklausomybė nuo plieno indukcijos
- 1.9 Paveikslas. Struktūrinė asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi schema
- 1.10 Paveikslas. Momentometro struktūrinė schema
- 1.11 Paveikslas. Momentometro matavimo principas
- 2.1 Paveikslas. Tyrime naudoto stendo nuotrauka
- 2.2 Paveikslas. AV bandymo schema jungiant iš tinklo
- 2.3 Paveikslas. AV bandymo schema jungiant iš dažnio keitiklio
- 2.4 Paveikslas. Dešinės pusės rodyklė
- 2.5 Paveikslas. Kairės pusės rodyklė
- 2.6 Paveikslas. Struktūrinė dažnio keitiklio schema
- 2.1 Paveikslas. Tinklo srovės amplitudė

2.1 Paveikslas. Dažnio keitiklio srovės amplitudė

4.1 Paveikslas. Parametrų η ir $\cos\varphi$ kitimas didinant apkrovą

4.2 Paveikslas. AV mechaninė charakteristika

4.3 Paveikslas. AV darbo charakteristika

4.4 Paveikslas. AV darbo charakteristika

5.1 Paveikslas. AV momento palyginimas

5.2 Paveikslas. Asinchroninio variklio max momento priklausomybė nuo dažnio

5.3 Paveikslas. Galios koeficiento priklausomybė

5.4 Paveikslas. Max galios koeficiento $\cos\varphi$ priklausomybė nuo dažnio

5.5 Paveikslas. Naudingumo koeficiento priklausomybė

5.6 Paveikslas. Max naudingumo koeficiento η priklausomybė nuo dažnio

IŽANGA

Asinchroniniai varikliai, tai kintamosios srovės mašinos, kurių veikimo ypatumą nusako pats pavadinimas. Statoriuje sudaromas sukamasis magnetinis laukas. Rotorius sukasi greičiu, kuris nelygus magnetinio lauko greičiui, todėl sakoma, kad rotorius sukasi nesinchroniškai.

Plačiausiai naudojami asinchroniniai trifaziai varikliai, tačiau taip pat naudojama nemažai asinchroninių variklių, kurie jungiami į vienfazį tinklą. Vienfazę elektros energiją galima tiekti pakankamai pigiai, jos savikaina ir eksploatavimas yra pigesni, tačiau tada reikia išspresti vienfazio variklio paleidimo ir valdymo galimybes. Tam sukuriami specialūs asinchroniniai varikliai:

- Vienfazis asinchroninis variklis su ekranine apviją poliuose
- Vienfazis asinchroninis variklis su laiptuotu oro tarpu
- Vienfazis asinchroninis variklis su asimetriniu statoriaus magnetolaidžiu

Magistriniame darbe nagrinėjamas asinchroninis variklis su asimetriniu statoriaus magnetolaidžiu, kurio paleidimo momentas sukuriamas be papildomos paleidimo apvijos, o esant nesimetriniam magnetolaidžiui. Darbe naudojamas dažnio keitiklis Siemens Vector Micromaster su kuriuo atliekamas išsamus variklio charakteristikų nagrinėjimas keičiant įtampos dažnį. Dažnio keitiklių panaudojimas suteikia galimybę reguliuoti ir keisti variklio charakteristikas turint tik pastovią 220V ir 50Hz dažnio tinklo įtampą.

1. Bendrieji principai

Nagrinėjant asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi charakteristikas būtina suprasti variklio veikimo principus, matavimo principus ir naudojamų matavimo bei reguliavimo prietaisų veikimą. Darbe naudojamas vienfazis asinchroninis variklis su asimetriniu statoriumi, dažnio keitiklis, dinamometras ir kiti matavimo prietaisai. Keičiant įtampos parametrus bus nagrinėjamo variklio charakteristikos :

- $\cos\varphi$ -galios koeficientas
- η - naudingumo koeficientas
- M - variklio sukuriamas momentas

Visi parametrai bus susieti vienas su kitu, taip suteikiant galimybę išnagrinėti naudojamo variklio ypatybes keičiant įtampos dažnį nuo 10Hz iki 100Hz.

1.1. Vienfazės apvijos magnetovara

Tekant per vienfazę apviją srovei i_s , [1] elektros mašinos oro tarpe susiformuoja MVJ, kurios matematinę išraišką lemia pilnutinės srovės dėsnis:

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = w_s i_s ; \quad (1.1)$$

kur: l - atsitiktinė uždara magnetinio lauko jėgos linija

w_s -sekcijos vijų skaičius.

Kadangi visuose feromagnetiko taškuose galioja sąlyga $H_{Fe} = B_{Fe} / \mu_{Fe} = 0$, tai kreivinis integralas uždaru kontūru lygus kreivinių integralų sumai kontūrais, kurių taškuose $H \neq 0$, t.y:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \oint_{\delta} \vec{H} d\vec{l} + \oint_{\delta} \vec{H} d\vec{l} = 2 \oint_{\delta} \vec{H} d\vec{l}; \quad (1.2)$$

Oro tarpe magnetinio lauko stiprumo vektorius lygiagretus integravimo kontūrai, tai:

$$\oint_l H dl = 2 \int_{\delta} H dl = 2H\delta = 2 \frac{B}{\mu_0} \delta; \quad (1.3)$$

čia μ_0 -oro tarpo magnetinė pastovioji.

Sulyginę (1.1) ir (1.3) formulę, gauname:

$$B = \frac{\mu_0}{\delta} \frac{w_s i_s}{2}; \quad (1.4)$$

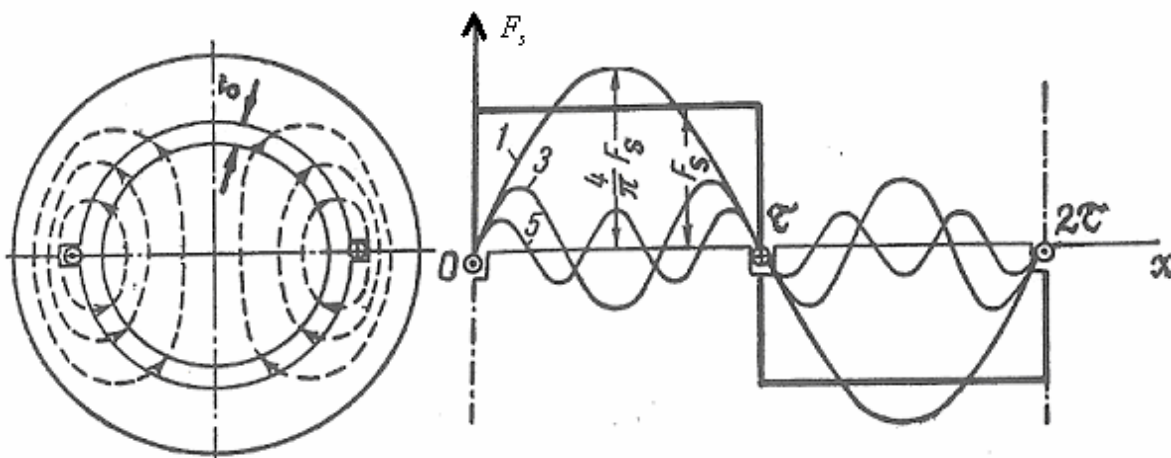
čia $\Lambda_{\delta} = \frac{\mu_0}{\delta}$ - oro tarpo magnetinis laidumas;

$F_s(t) = \frac{w_s i_s}{2}$ - oro tarpo magnetovaros jėga;

Taigi lygybę galime užrašyti šitaip:

$$B = \Lambda_{\delta} F_s(t); \quad (1.5)$$

Iš šios lygybės išplaukia, kad magnetinis srauto tankis proporcingas magnetovaros jėgai. Pilnutinės srovės dėsnis (1.1 formulė) galioja visoms magnetinio lauko jėgų linijoms, todėl judant taškui oro tarpu laikrodžio sukimosi kryptimi nuo kairiojo sekcijos aktyviojo šono prie dešiniojo, MVJ $F_s(t) = const$, kai laikas sustabdytas ($t=const$).



1.1 pav. Magnetinio lauko jėgų linijos

Tai atvaizduota paveiksle 1.1 pav., tiesės atkarpa, išvesta F_s atstumu virš x ašies. Taškui kertant oro tarpo horizontaliąją ašį, magnetinio lauko jėgų linijų kryptis šuoliškai pasikeičia ir, taškui judant apatine oro tarpo dalimi, visuose taškuose magnetovaros jėga bus lygi $F_s(t) = -w_s i_s / 2 = const$, tai pavaizduota tiesės atkarpa, nubrėžta žemiau x ašies intervale ($\tau, 2\tau$

). Taigi sekcijos MVJ erdvėje vaizduojama stačiakampe periodine linija, kurios periodas 2τ .

Išskleidus MVJ stačiakampę kreivę Furje eilute, gauname:

$$F_s(t) = \sum_{v=1}^{\infty} F_{sv}(t) \sin v \frac{\pi}{\tau} x ; \quad (1.6)$$

Srovė išreiškiama tokia formule:

$$i_s(t) = \sqrt{2} I_s \sin \omega t, \quad (1.7)$$

O magnetovaros jėga išreiškiama šitokia formule:

$$F_s(t) = \frac{w_s}{2} \sqrt{2} I_s \sin \omega t . \quad (1.8)$$

1.2. Atstojamosios variklio schemos

Darbine vienfazio asinchroninio variklio apvija išdėstoma statoriuje[4], ji gauna maitinimą iš vienfazio kintamojo tinklo. Jis sukuria pulsuojantį kintamą magnetinį lauką, kuris gali būti išskaidytas į priešingomis kryptimis besisukančius laukus su

vienodomis amplitudėmis, kurios yra lygios pusei pulsuojančio lauko reikšmės ir geičio. Tai variklį priveda prie to, kad jis pradiniu paleidimo momentu nesukuria paleidimo momento.

Jei AV rotoriumi suteiksime pradinį momentą į kurią nors pusę, tada laukas indukuos rotoriaus apvijoje srovę turinčią dažnį:

$$f_{2B} = p(n_1 - n) = \frac{n_1 - n}{n_1} pn_1 = sf_1; \quad (1.9)$$

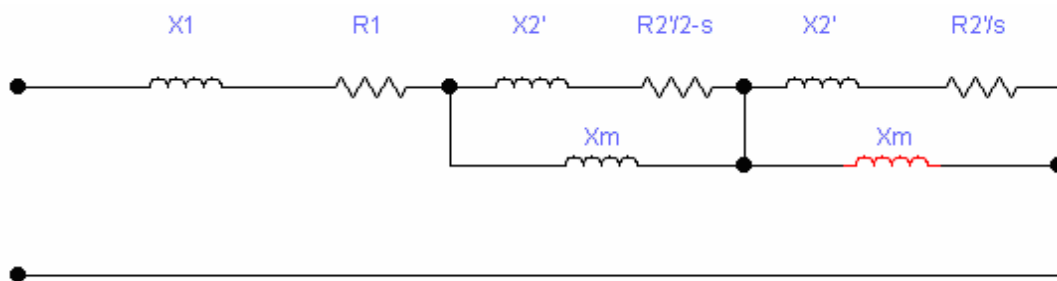
čia : s – rotoriaus slydimas.

Priešingo lauko sukuriamas dažnis bus:

$$f_{2B} = p(n_1 + n) = p[2n_1 - (n_1 - n)] = (2 - s)f_1; \quad (1.10)$$

Vienfazio variklio schema remiantis pasakytais faktais parodyta paveiksle 1.2 pav, kur antrinė garandinė su pasipriešinimu

x_2' ir $\frac{r_2'}{s}$ atitinka teisioginę sukimosi kryptį, o x_2' ir $\frac{r_2'}{(2-s)}$ priešinį sukimosi lauką.



1.2 pav. Vienfazio variklio atstojamoji schema

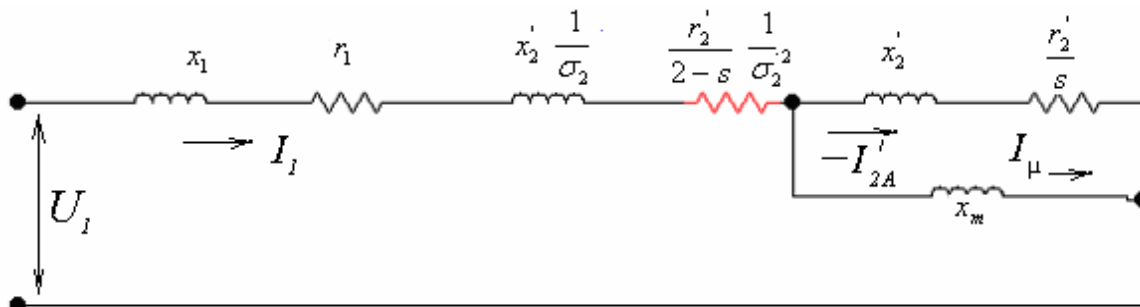
Jei nagrinėti asinchroninio variklio darbą sukantis teisiogine kryptimi ($-\infty < s < 1$) ir sujungus kairiąją lygiagrečią grandinę į vieną, šios grandinės pasipriešinimas bus :

$$\begin{aligned} Z_{2-s} &= \frac{\left(\frac{r_2'}{2-s} + jx_2'\right) jx_m}{\frac{r_2'}{2-s} + jx_2' + jx_m} = \frac{\frac{r_2'}{2-s} + jx_2'}{1 + \frac{x_2'}{x_m} - j\frac{r_2'}{(2-s)x_m}} \approx \\ &\approx \frac{r_2'}{2-s} * \frac{1}{\sigma_2} + jx_2' \frac{1}{\sigma_2}; \end{aligned} \quad (1.11)$$

$$\sigma_2 = 1 + \frac{x_2'}{x_m}$$

kur: $\frac{x_2'}{x_m}$; pataisos koeficientas, lygus rotoriaus sklaidos koeficientui.

Tokiu būdu supaprastinus schemą, ji įgauna pavidalą pavaizduotą paveiksle 1.3 pav.

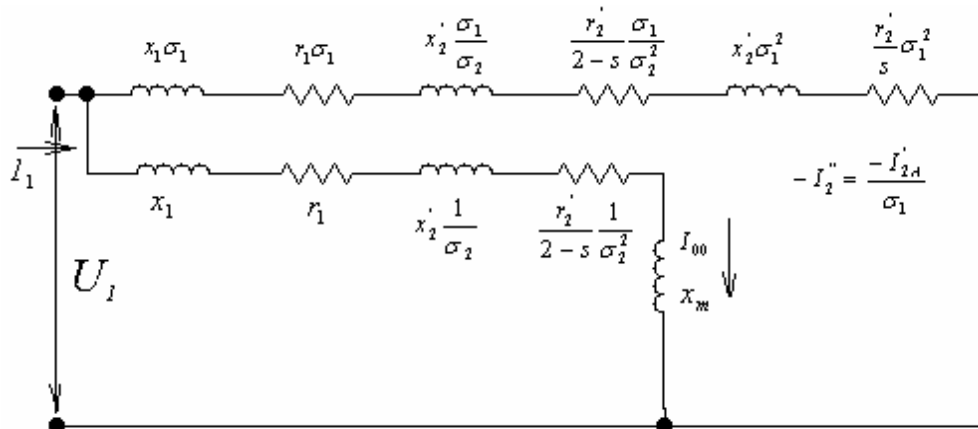


1.3 pav. AV atstojamoji schema su pataisos koeficientu σ_1

Šioje schemoje lygiagretus kontūras su pasipriešinimu x_m pirminiuose gnybtuose. Tada gauname kita atstojamąją schemą pavaizduotą 1.4 paveiksle, kur pataisos koeficientas σ_1 :

$$\sigma_1 = 1 + \frac{x_1 + x_2' \frac{1}{\sigma_2}}{x_m}; \tag{1.12}$$

Įmagnetiname konture galime laikyti, kad $s=0$, todėl, kad šioje grandyje x_m yra didelė palyginus su kitomis šios grandinės varžomis.



1.4 pav. Atstojamoji AV schema

Įdeali tuščiosios eigos srovė ($s=0$) :

$$I'_{00} = \frac{U_1}{\left(r + \frac{r'_2}{2} \frac{1}{\sigma_2^2} + r'_m\right) + j\left(x_1 + x'_2 \frac{1}{\sigma_2} + x'_m\right)}, \quad (1.13)$$

o pagrindinės grandinės srovė:

$$-I''_2 = \frac{U_1}{\left(r_1 \sigma_1 + \frac{r'_2}{s} \sigma_1^2 + \frac{r'_2}{2-s} \frac{\sigma_1}{\sigma_2^2}\right) + j\left(x_1 \sigma_1 + x'_2 \sigma_1^2 + x'_2 \frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}; \quad (1.14)$$

Pagal 1.5 schemos duomenis galime gauti galingumo, momentų ir nuostolių apvijose išraišką.

Nuostoliai tuščioje veikoje ($s=0$) :

$$P_{M0} = I_{00}^2 \left(r_1 + \frac{r'_2}{2} \frac{1}{\sigma_2^2} + r'_m \right); \quad (1.15)$$

Slydimas gali būti rastas iš formulės:

$$s(2-s) = \frac{P_{M2}}{P_{eM}}; \quad (1.16)$$

Kur:

$$P_{M2} = I_2'^2 \left(r'_2 \sigma_1^2 + r'_2 \frac{\sigma_1}{\sigma_2^2} \right);$$

$$P_{eM} = 2I_2'^2 r'_2 \frac{1}{s(2-s)};$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3}(1-a)I; \quad (1.17)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) = \frac{1}{3}(1-a^2)I; \quad (1.18)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0; \quad (1.19)$$

kur:

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos \frac{2\pi}{3} + j \sin \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad (1.20)$$

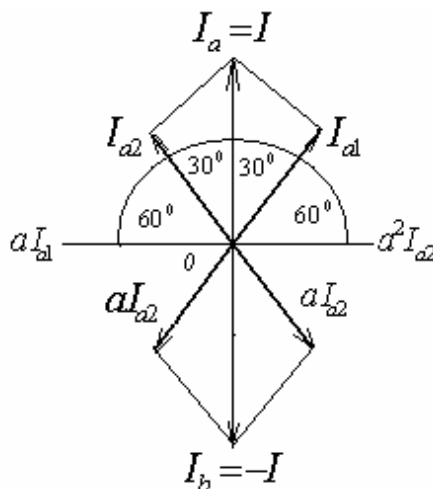
$$a = e^{j\frac{4\pi}{3}} = \cos \frac{4\pi}{3} + j \sin \frac{4\pi}{3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (1.21)$$

tada:

$$I_{a1} = \frac{1}{3} \left(\frac{3}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) I = \frac{1}{\sqrt{3}} I e^{-j\frac{\pi}{6}}; \quad (1.22)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} \left(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) I = \frac{1}{\sqrt{3}} I e^{-j\frac{\pi}{6}}; \quad (1.23)$$

Vektorinė srovių diagrama parodyta paveiksle 1.6 pav.



1.6 pav. Vektorinė srovių diagrama

Pirminė variklio įtampa:

$$U = U_{ab} = U_a - U_b = (U_{a1} + U_{a2}) - (U_{b1} + U_{b2}) = (Z_{c1}I_{a1} + Z_{c2}I_{a2}) - (Z_{c1}I_{b1} + Z_{c2}I_{b2}), \quad (1.24)$$

kur Z_{c1} ir Z_{c2} - trifazio variklio tiesioginės ir atvirkštinės sekos fazių pasipriešinimas, išmatuotas nuo pirminės apvijios gnybtų ir tuo pačiu įvertinant antrinės apvijios pasipriešinimą. Įstačius į paskutinę lygtį:

$$I_{b1} = a^2 I_{a1}; I_{b2} = a I_{a2}. \quad (1.25)$$

iš 1.22, 1.23 formulių randame I_{a1} ir I_{a2} , tada įtampa:

$$U = \frac{1}{3}(1-a^2)(1-a)Z_{c1}I + \frac{1}{3}(1-a)(1-a^2)Z_{c2}I, \quad (1.26)$$

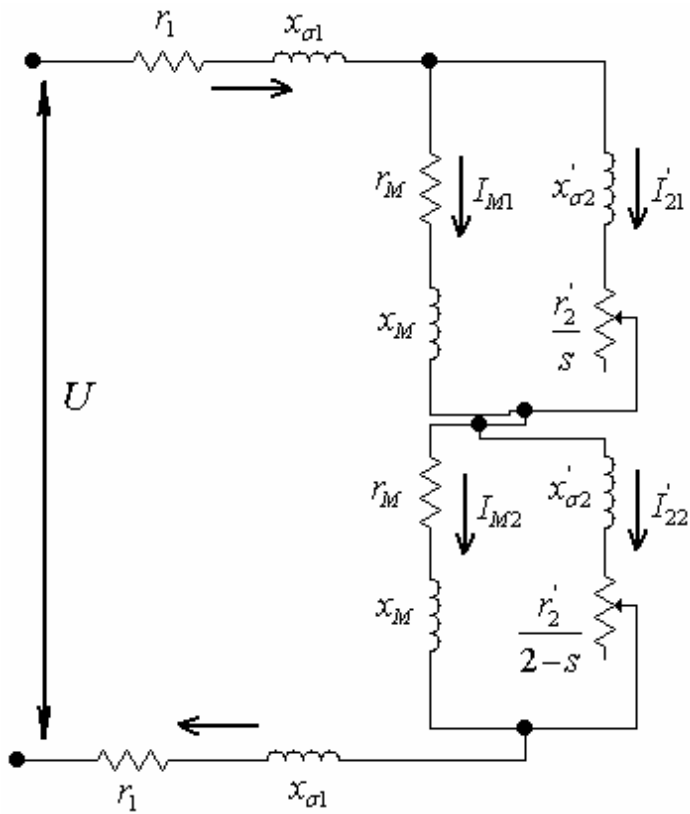
kur:

$$\frac{1}{3}(1-a^2)(1-a) = \frac{1}{3}(1-a^2-a+a^3) = 1, \quad (1.27)$$

ir todėl:

$$U = (Z_{c1} + Z_{c2})I. \quad (1.28)$$

Pasipriešinimas Z_{c1} ir Z_{c2} pagal lygybę (1.28) jungiamos nuosekliai ir todėl vienfazio variklio atstojamoji schema turi pavidalą parodytą paveiksle. Viršutinė schemos dalis vaizduoja pirminę srovės seką, o apatinė –atvirkštinę srovės seką



1.7 pav.

Pagal išraišką :

$$I = I_a = \sqrt{3}I_{a1} = \sqrt{3}I_{a2}, \quad (1.29)$$

visos įtampos ir srovės pavaizduotos paveiksle 1.6 pav. yra $\sqrt{3}$ karto didesnės už simetrines dedamąsias. Būtina pabrėžti, kad 1.7 pav. schemas varžos yra trifazio variklio fazių varžos, varžos r_2' ir $x_{\sigma 2}'$ atsiranda esant išstūmimo efektui viršutinėje ir apatinėje schemas dalyje, t.y. kada susidaro tiesioginės ir atvirkštinės rotoriaus apvijų fazių skirtumas.

Vienfazio variklio sukimo momentas:

$$M = M_1 + M_2 = \frac{P}{\omega_1} \left[3 \left(\frac{I'_{21}}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{r_2'}{s} - 3 \left(\frac{I'_{22}}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{r_2'}{2-s} \right] \quad (1.30)$$

arba

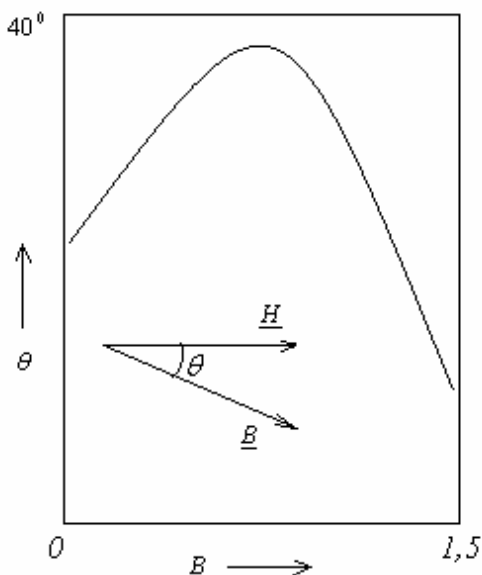
$$M = \frac{P}{\omega_1} \left[I_{21}'^2 \frac{r_2'}{s} - I_{22}'^2 \frac{r_2'}{2-s} \right], \quad (1.31)$$

kur antrinės srovės I_{21}' ir I_{22}' atitinka 1.7 pav. schemoje pavaizduotus elementus.

1.4. Vienfazis asinchroninis variklis su asimetriniu statoriaus magnetolaidžiu

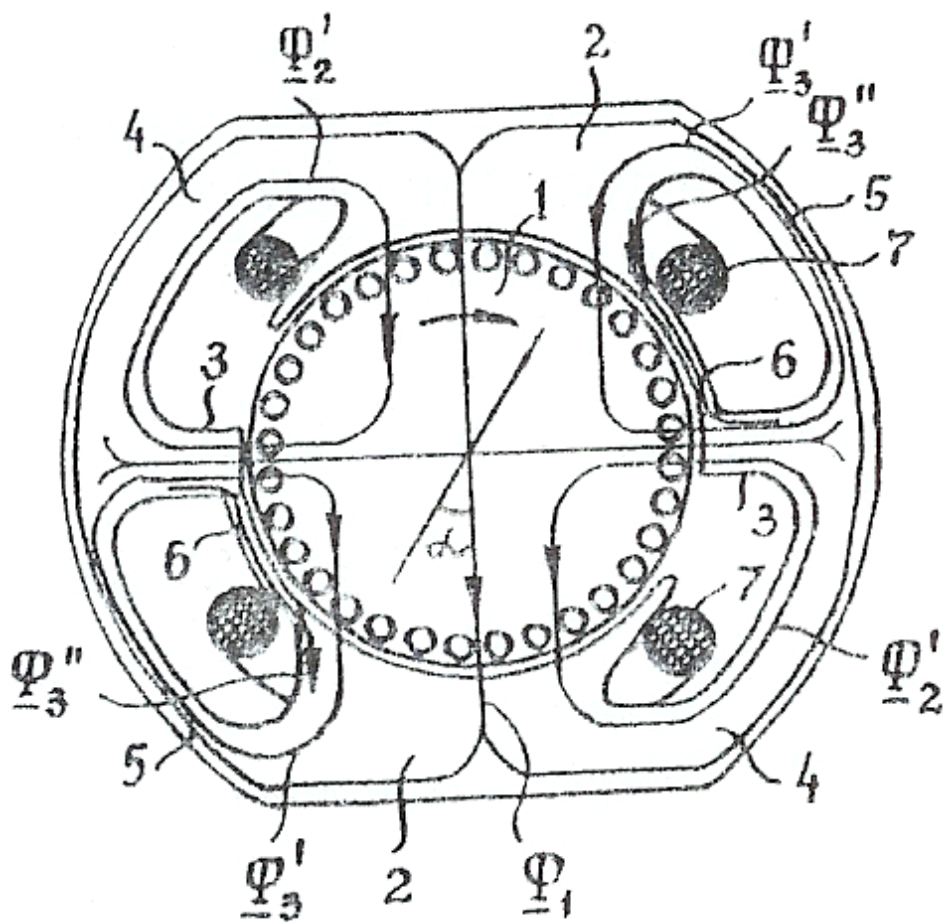
Norint suvokti kaip sukuriamas variklio pradinis paleidimo momentas,[1] reikia išanalizuoti plieno nuostolių kampo θ priklausomybę nuo plieno magnetinio srauto tankio $\frac{B}{\mu_0}$ dydžio.

Permagnetinant feromagnetiką (1.8 pav.) dėl sūkurinių srovių ir magnetinės histerezės nuostolių, magnetinio srauto tankio kompleksas $\frac{B}{\mu_0}$ atsilieka laike kampu θ nuo magnetinio lauko stiprumo komplekso $\frac{H}{\mu_0}$ ($\frac{B}{\mu_0}$ ir $\frac{H}{\mu_0}$ priklauso tai pačiai harmonikai).



1.8 pav. Plieno nuostolių kampo priklausomybė nuo plieno indukcijos

Magnetinio lauko stiprumo komplekso \underline{H} fazė sutampa su statoriaus srovės kompleksu. Taigi visų magnetinių srautų magnetinio lauko stiprumo kompleksai yra vienodi. Atitinkamu magnetinių srautų magnetinės indukcijos priklauso nuo feromagnetinio magnetolaidžio skerspjūvio (išotinio). Magnetinio srauto Φ_1 magnetolaidis: plačioji poliaus dalis 2; platusis jungas 4; siaurasis jungas 5; Tarkime, kad srauto Φ_1 vidutinė magnetinės indukcijos vertė $1,5T$ ($\theta_1 \approx 10^\circ$). Magnetinio srauto Φ_2 magnetolaidis: plačioji poliaus dalis 1; siauroji poliaus dalis 3; platusis jungas 4. Srauto Φ_2 vidutinė magnetinė indukcija mažesnė (apie $1,0 T$); nuostolių kampas θ_2 surandamas iš 1.9 pav. ($\theta_2 \approx 30^\circ$). Magnetiniai srautai Φ_1 ir Φ_2 sudaro erdvinį kampą α ; jų laiko fazės skiriasi kampu $\theta_2 - \theta_1$. Vadinasi rotorius veiks pradinis paleidimo momentas, kuris suks rotorius laikrodžio rodyklės sukimosi kryptimi.



1.9 pav. Struktūrinė AV su asimetriniu statoriumi schema

Nesimetrinių asinchroninių variklių oro tarpo magnetinis laukas yra elipsinis, sudarytas iš tiesioginio ir atvirkštinio lauko. Taigi ir variklio mechaninėje charakteristikoje turi atsispindėti tiesioginiai ir atvirkštiniai laukai. Žemiau pateikiama tokios mechaninės charakteristikos formulė:

$$M = A \left[\frac{1}{s_c} + (1 + \beta) s_c \right] \left\{ \frac{+B^2}{s/s_c + s_c/s + \beta s_c} - \frac{-B^2}{(2-s)/s_c + s_c/(2-s) + \beta s_c} \right\} \quad (1.32)$$

čia $A = \text{const}$ – priklauso nuo variklio geometrinių ir elektromagnetinių parametru; $\beta = 2R_1 / R_2$; $+B$ -oro tarpo tiesioginės sekos magnetinės indukcijos amplitudė, kai rotorius nejudą; $-B$ -oro tarpo atvirkštinės sekos magnetinės indukcijos amplitudė, kai rotorius nejudą; s_c -kritinis variklio slydimas.

Variklio energetinės charakteristikos panašios kaip ir variklio su ekranuotaisiais poliais, tik nėra fazės pasukančios apvijų; fazės pasukimą čia atlieka statoriaus magnetolaidis.

1.5 Asinchroninio variklio galios koeficientas $\cos\varphi$

Galios koeficientas [2] nusakomas variklio aktyviosios ir reaktyviosios galios santykiu:

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI} = \frac{W}{V \cdot A}; \quad (1.33)$$

Galios koeficientas $\cos\varphi$ yra tuo didesnis, kuo variklio apkrova didesnė vardinei apkrovai, taip pat $\cos\varphi$ nusako kampą tarp sinusinės įtampos ir srovės.

1.6 Asinchroninio variklio naudingumo koeficientas η

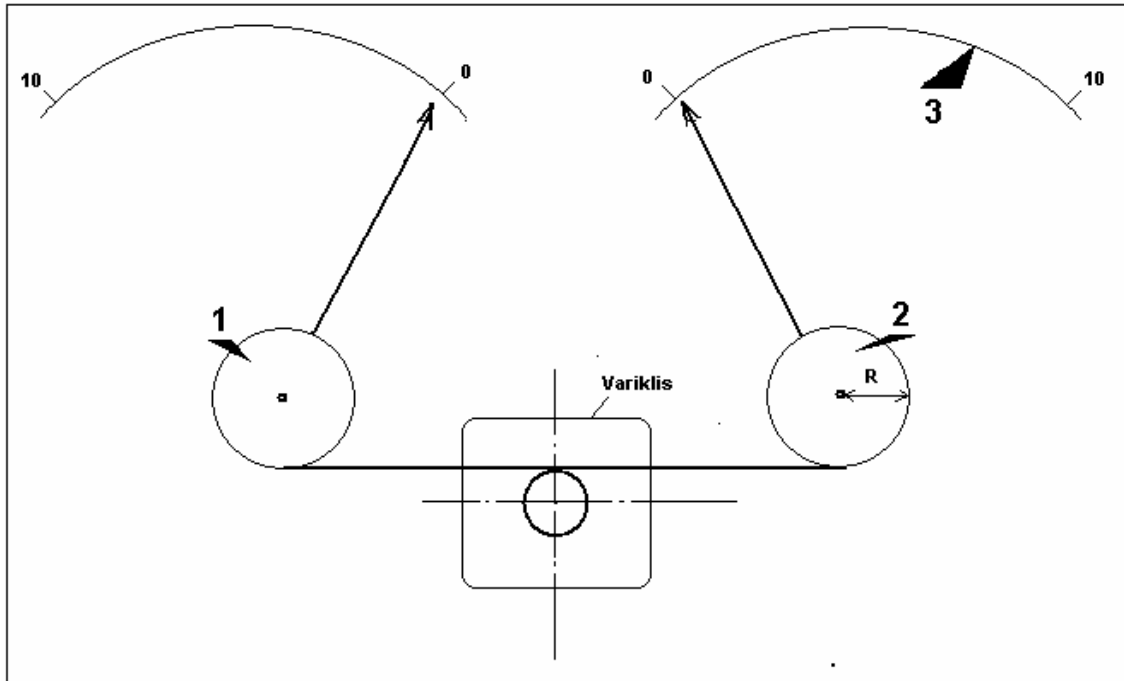
Asinchroninis variklis paverčia elektros energiją mechanine. [2] Naudingumo koeficientas nusakomas variklio naudingosios galios P_2 ir iš tinklo imamos galios P_1 santykiu ir apibūdina, kiek variklis elektros energijos paverčia mechanine energija:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{W}{\bar{W}}; \quad (1.34)$$

Visų elektros mašinų nuostolius galima suskirstyti į dvi grupes. Vieni jų (magnetiniai, mechaniniai) nuo apkrovos nepriklauso ir vadinami pastoviais. Kiti didėjant apkrovai, didėja kvadratine priklausomybe ir vadinami kintamaisiais. Didinant apkrovą naudingumo koeficientas didėja, kol kintamieji nuostoliai susilygina su pastoviais. Dar labiau apkraunant variklį, kintamieji nuostoliai padidėja tiek, kad naudingumo koeficientas pradeda mažėti.

1.7 Asinchroninio variklio momento matavimas

Variklio sukimo momentas M yra vienas svarbiausių jo mechaninių dydžių. Variklio momentas apskaičiuojamas naudojant momentometrą. Struktūrinė momento matavimo schema pateikta paveikslėlyje 1.10 pav. :



1.10 pav. Momentometro struktūrinė schema

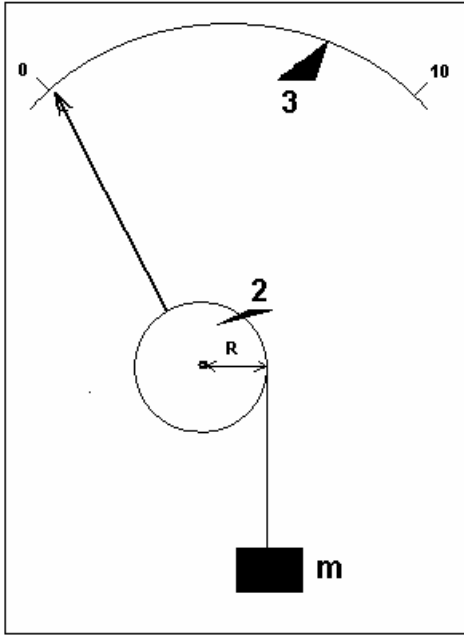
Momentometro sudedamosios dalys:

1. Kairės pusės skriemulys su rodykle
2. Dešinės pusės skriemulys su rodykle
3. Matavimo skalė(vienodos ir kairėje ir dešinėje)

Tarp skridinių ištemptas troselis, kuris apviniojamas apie variklio skriemulį . Ant skriemulių **1** ir **2** užmaunami svareliai. Sukdamasis variklis įtempia 1 ir 2 skridinį ir pagal rodyklių atsilenkimo padalų skaičių apskaičiuojamos dešinę ir kairę puses veikiančios jėgos.[7] Skriemulius veikianti jėga F apskaičiuojama įvertinant rodyklių atsilenkima nuo tam tikro svorio m (1.11 pav.) ir laisvojo kritimo pagreičio g :

$$F = m \cdot g; \text{ [N]} \quad (1.35)$$

Kadangi ant skridinių 1 ir 2 yra skirtingi svoriai, jų m yra skirtingas. Todėl išskiriamos F dešinės - F_d ir F kairės - F_k pusės jėgos. Išmatavus rodyklių atsilenkimo rodmenis keliuose taškuose yra sudaromas grafikas, pagal kurį galima rasti F_d ir F_k reikšmes bet kokiame intervale nuo 0 iki 10.



1.11 pav. Momentometro matavimo principas

Bendroji variklį veikianti jėga F apskaičiuojamas pagal formulę:

$$F = F_d - F_k; \text{ [N]} \quad (1.36)$$

Variklio sukimo momentas randamas pagal formulę:

$$M = F \cdot R; \text{ [N*m]} \quad (1.37)$$

kur: R – skridinio spindulys

1.8 Asinchroninio variklio naudingoji galia P_2

Asinchroninio variklio naudingoji [2] galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_2 = M \cdot \omega ; [\text{W}] \quad (1.38)$$

kur ω -kampinis sūkių dažnis, rad/s

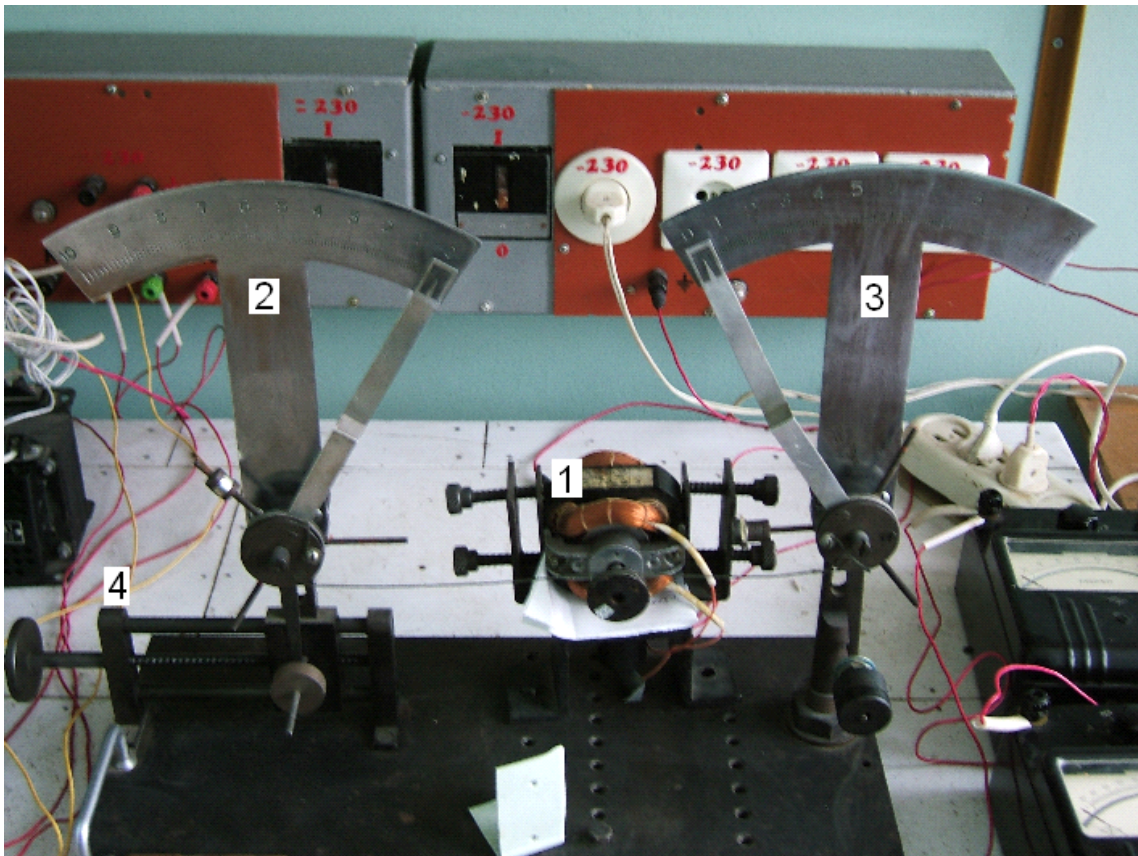
2. Vienfazio asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi tyrimas

2.1 Bandymo stendas

Tiriant asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi charakteristikas naudojamas:

- Vienfazis asinchroninis variklis su asimetriniu statoriumi AD-10-2/45A1Y4 220 V 10W

- Dažnio keitiklis Siemens Micromaster Vector
- Momentometras
- Vatmetras
- Ampermetras
- Voltmetras
- Apsukų matuoklis
- Autotransformatorius



2.1 pav. Tyrime naudojamo stendo nuotrauka

Čia: 1- Vienfazis asinchroninis variklis su asimetriniu statoriumi;

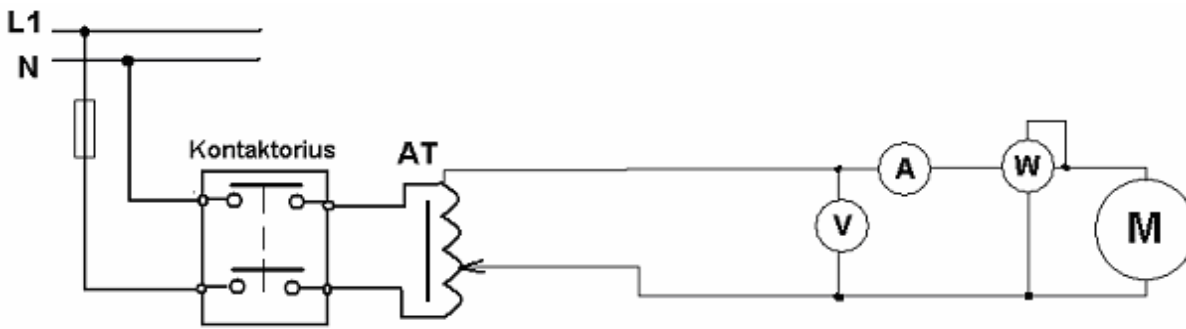
2 ir 3 –Momentometro skalės;

4 – Momentometro apkrovos reguliatorius;

Momentometras matuoja variklio sukimosi momentą, sukdami rankenėlę 4 galime keisti variklio apkrovą, skalės 2 ir 3 atsilenkia dėl variklio sukimosi ir galime apskaičiuoti variklio išvystomą momentą.

Tiriant variklio charakteristikas, kai jis prijungtas tiesiogiai prie maitinimo tinklo, sujungiama schema parodyta paveiksle

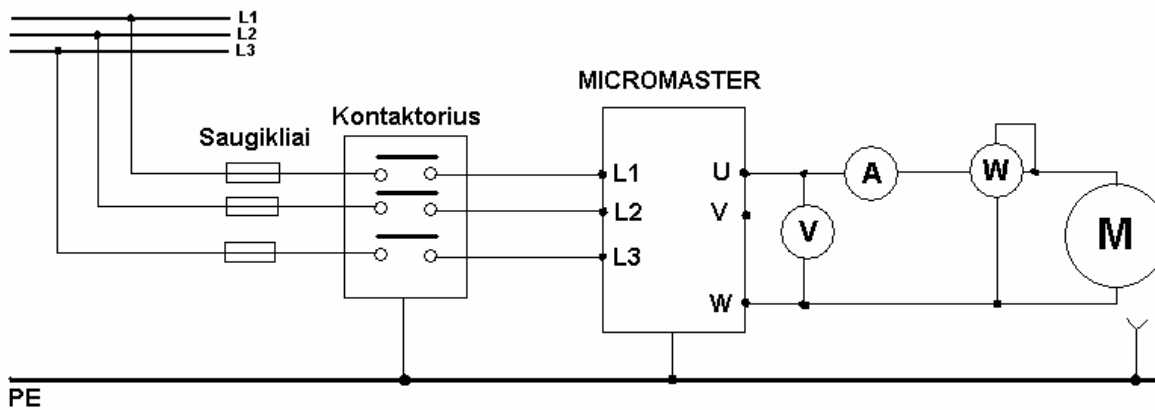
2.2 pav. :



2.2 pav. AV bandymo schema, jungiant iš tinklo

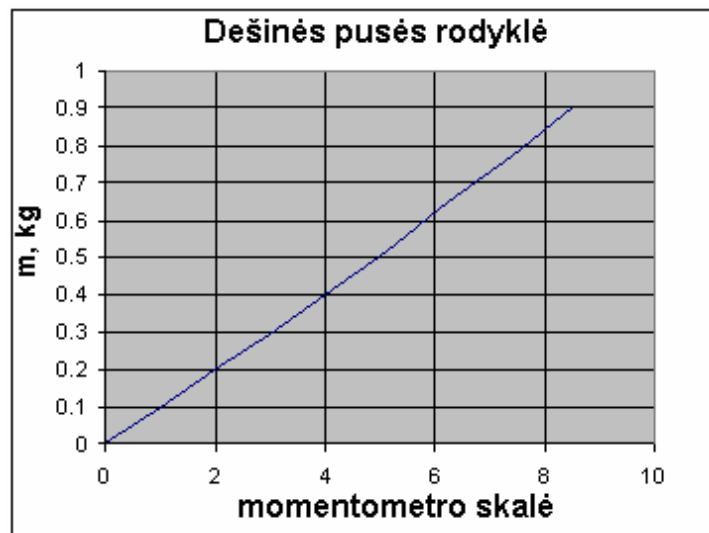
Šiuo atveju asinchroninis variklis su asimetriniu statoriumi maitinamas 220V tinklo įtampa per autotransformatorių AT iš vienfazio tinklo.

Nagrinėjant asinchroninio variklio charakteristikas, kai yra keičiamas įtampos dažnis, naudojama schema parodyta paveiksle 2.3 pav.

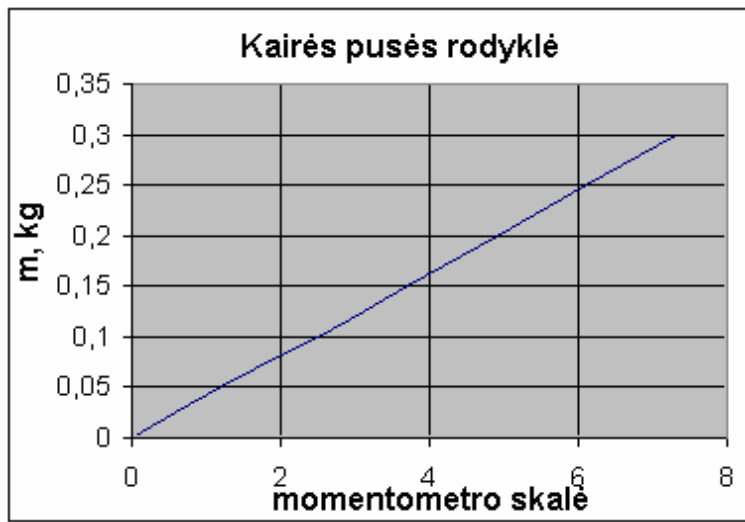


2.3 pav. AV bandymo schema, jungiant per dažnio keitiklį

Šiems bandymams naudojamas momentometras (1.11 pav.) su dvejomis skalėmis kairės ir dešinės. Skalės padalos reikšmė nustatoma, naudojant tiesiogini matavimą su tam tikro svorio svareliais, kurie atitinka tam tikrą rodyklės poslinkį. Ši priklausomybė pateikta (2.4 pav.) ir (2.5 pav.) paveiksluose.



2.4 pav. Dešinės pusės rodyklė



2.5 pav. Kairės pusės rodyklė

2.2 Skaičiavimo metodika

Momento skaičiavimus atlieku sekančia tvarka:

1. Asinchroninio variklio apsisukimus n paverčiu kampiniu dažniu ω , kuris yra lygus:

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} ; \quad (2.1)$$

kur: n – variklio sūkių dažnis, aps/min;

2. Iš (2.4 pav.) ir (2.5) paveikslų surandu dešinės ir kairės skalės reikšmes kilogramais .
3. Surandu sunkio jėgas F veikainčias abi skales, pagal formulę:

$$F = m \cdot g ; \quad (2.2)$$

kur : m – svarelis masė,kg

g - laisvojo kritimo pagreitis,lygus $9,8 \text{ m/s}^2$.

4. Variklis dešinės ir kairės pusės skales veikia tam tikra jėga, kadangi kairė pusė atspindi sudaroma apkrovą , o dešinė skalės

pusė variklio sukuriama jėga, tai variklio sukuriama bendra jėga yra lygi dešinės ir kairės skalių pusių skirtumui:

$$F_v = F_d - F_k; \quad (2.3)$$

kur: F_d -dešinę skalės pusę veikianti jėga;

F_k -kairę skalės pusę veikianti jėga;

5. Variklio momentas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$M = F_v * d; \quad (2.4)$$

Kur: d – prie skalės pritvirtinto apskritimo petys.

$$d = 0.02\text{m}$$

6. Toliau apskaičiuoju naudingąją galią:

$$P_2 = M \cdot \omega; \quad (2.5)$$

7. Naudingumo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

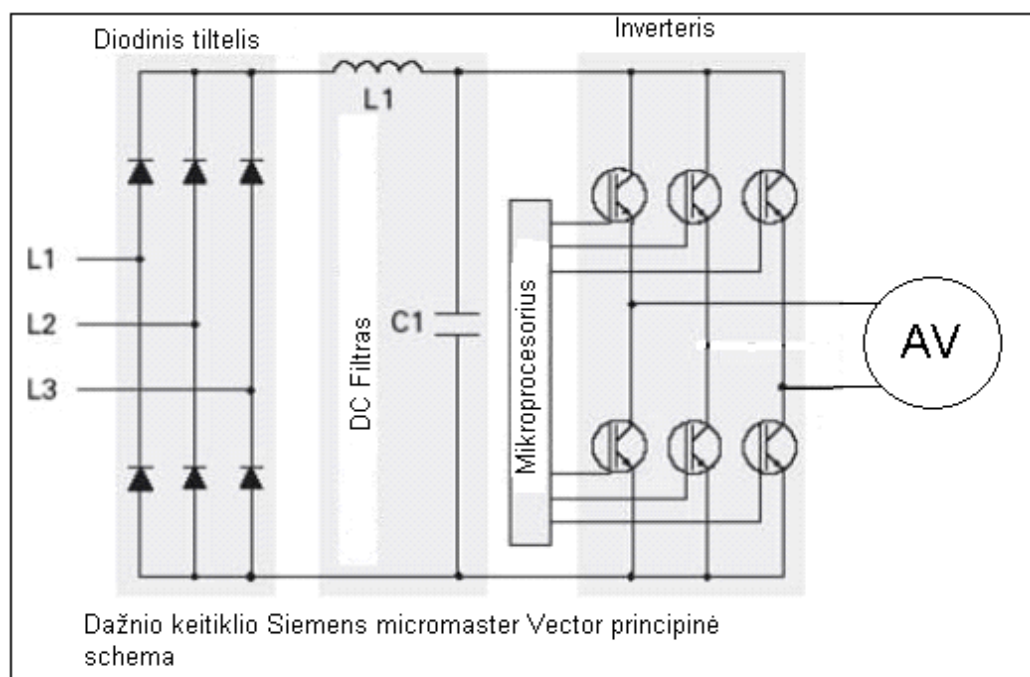
$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad (2.6)$$

8. Apskaičiuojame galios koeficientą:

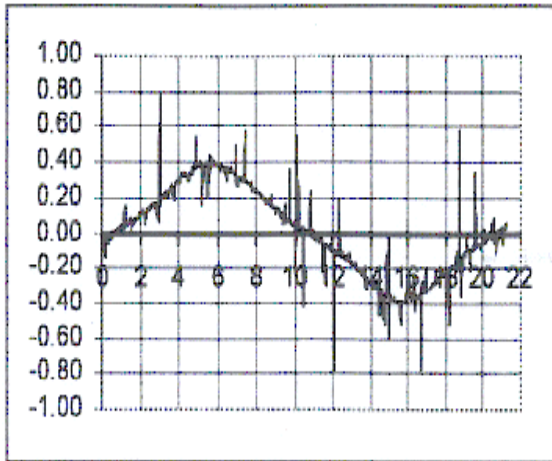
$$\cos\varphi = \frac{P}{UI};$$

2.3 Dažnio keitiklis SIEMENS Micromaster Vector

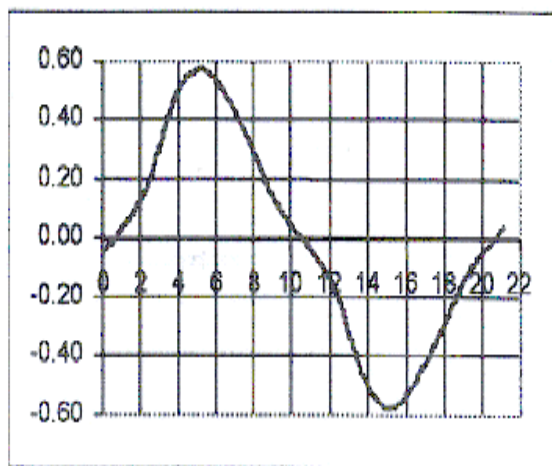
Šiuolaikinėse elektros pavarose vis plačiau naudojami elektroniniai dažnio keitikliai,[8] kurie suteikia galimybę plačiame diapazone keisti asinchroninių variklių greitį, paleidimo ir stabdymo režimus. Tačiau mažos galios asinchroniniams varikliams(iki 1000W) dažnio keitikliai beveik nenaudojami. Naudojami dviejų tipų dažnio keitikliai: su nepertraukiamu ryšiu ir su nuolatinės srovės užtvaros kontūru. Pirmieji dažnio keitikliai dažnį gali keisti palyginti nedideliame diapazone. Tad dažniausiai naudojami dažnio keitikliai su nuolatinės srovės užtvaros kontūru. Struktūrinė tokio keitiklio schema parodyta (2.6 pav). Kintamoji tinklo įtampa tokiame keitiklyje yra išlyginama diodinio tiltelio pagalba, po to ji filtruojama filtro pagalba ir galiausiai inverterius suformuoja mums reikiamo dažnio įtampą.



Palyginimui galime pavaizduoti kokios formos srovė išeina iš paprasto tinklo ir dažnio keitiklio, kai prijungiamas variklis(2.7 pav.) ir (2.8 pav.).



2.7 pav. Tinklo srovė



2.8 pav. Keitiklio srovė

Kaip matome (2.7 pav.) ir (2.8 pav.) paveiksluose[6] išeinanti srovė iš dažnio keitiklio iškraipyta, yra harmonikų.

Dažnio keitiklis Siemens Micromaster Vector, priklausomai nuo pajungto variklio yra programuojamas. Lentelėje pateikiu kai kuriuos parametrus, kurie buvo nustatyti vykdant tiriamąjį darbą

Lentelė 2.1

Dažnio keitiklio parametrai

Parametras	Diapazonas	Reikšmė
P005	0÷650 Hz	Išeinamasis dažnis
P0081	0÷650Hz	Nominalus variklio dažnis

P0083	0,1÷300Hz	Nominali variklio srovė
P0076	0÷7	Nustatomas išeinamos srovės impulsų dažnis 16kHz

3. TYRIMO PROGRAMA

Tiriamasis darbas atliekamas norint išnagrinėti vienfazio asinchroninio variklio (AV) su asimetriniu statoriumi charakteristikas, esant skirtingiems maitinimo įtampos parametrus, t.y. keičiant įtampos dažnį. Tyrimo tikslas sąlygotas duomenų trūkumu apie mažos galios asinchroninių variklių charakteristikas, kai keičiamas įtampos dažnis ir norint sužinoti ar asinchroninių variklių valdymas dažnio keitikliu Siemens Micromaster Vector gali būti naudojimas pramonėje ar individualiuose prietaisuose su AV.

3.1 AV su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas maitinant iš tinklo

Asinchroninis variklis su asimetriniu statoriumi pajungiamas prie 50 Hz dažnio ir 220 V įtampos tinklo. Matuojamas variklio momentas, didinant apkrova nuo minimumo iki maksimalios apkrovos, kai variklis sustoja. Apskaičiuojamas variklio naudingumo koeficientas η , galios koeficientas $\cos\varphi$. Gaunamos charakteristikos:

- $\eta = f(P_2)$,
- $\cos\varphi = f(P_2)$,
- $M = f(\omega)$

3.2 AV su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas maitinant iš dažnio keitiklio

Dažnio keitiklis Siemens Vector Micromaster maitinamas iš trifazio tinklo, AV su asimetriniu statoriumi maitinamas nuo 10 Hz iki 100 Hz įtampa didinant apkrovą nuo minimumo iki maksimumo, kai variklis sustoja. Apskaičiuojamas variklio naudingumo koeficientas η , galios koeficientas $\cos\varphi$, gaunamos charakteristikos:

- $\eta = f(P_2)$,
- $\cos\Phi = f(P_2)$,
- $M = f(\omega)$

3.3 AV su asimetriniu statoriumi charakteristikų palyginimas

Charakteristikų palyginimas apima naudingumo koeficiento $\eta = f(P_2)$, galios koeficiento $\cos\Phi = f(P_2)$ ir $M = f(\omega)$ mechaninės charakteristikos , kai variklis maitinamas iš tinklo esant 50 Hz dažnio 220 V įtampai ir maitinant variklį iš dažnio keitiklio esant 220V 50Hz įtampai, sugretinimą.

4. TYRIMO REZULTATAI

4.1 Asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi tyrimas, kai jis prijungtas prie tinklo

Tyrimo metu AV su asimetriniu statoriumi prijungiamas prie 220 V ir 50Hz dažnio tinklo įtampos . Fiksuojami šie energetiniai variklio rodikliai:

- Momentometro parodymai;
- AV rotoriaus sūkių dažnis n , aps/min;
- Tinklo įtampos parodymai U , V;
- AV imama iš tinklo srovė I , A;
- AV naudojama galia P , W;

Išmatavus duomenis yra apskaičiuojami šie parametrai:

- Kampinis variklio sūkių dažnis ω , rad/s;
- Momentometro dešinės ir kairės pusės jėgas F , N;
- AV momentas M , $N \cdot m$;
- AV naudingoji galia P_2 , W
- Naudingumo koeficientas η ;
- Galios koeficientas $\cos\varphi$;

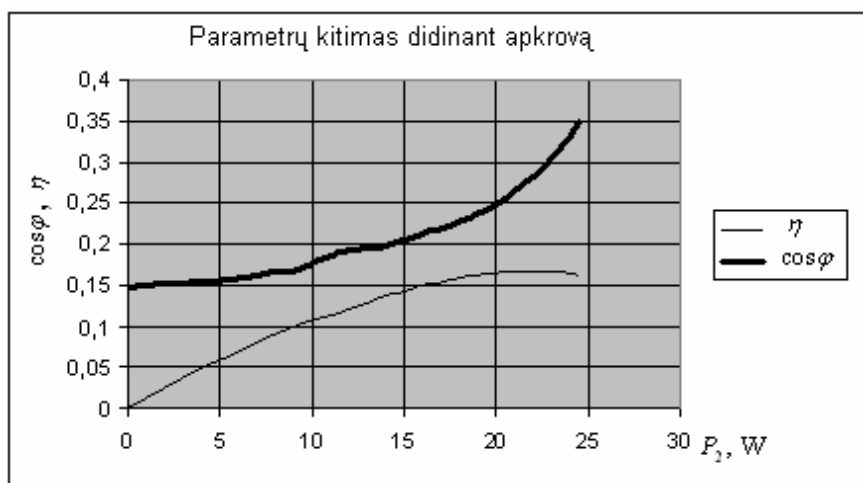
Parametrų skaičiavimo metodika pateikta 2.2 skyriuje. Duomenys pateikti 4.1 lentelėje. Matavimo ir skaičiavimo duomenų priklausomybės pateiktos (4.1 pav.) paveiksle.

4.1 Lentelė

Duomenų lentelė, kai AV maitinamas iš tinklo

U, V	I, A	P, W	n, aps/min	$\dot{\omega}$, rad/s	M, N*m	P2, W	ζ	cos ϕ
220	0,405	80	2860	299	0	0	0	0,147 273
220	0,405	82	2843	297	0,00642	1,90674	0,023253	0,150 955
220	0,41	83,6	2835	296	0,01292	3,82432	0,045745	0,155 8
220	0,41	84,8	2815	294	0,0188	5,5272	0,065179	0,158 036
220	0,411	87,6	2802	293	0,02542	7,44806	0,085024	0,163 653
220	0,413	90	2790	292	0,03186	9,30312	0,103368	0,168 955
220	0,415	92,4	2772	290	0,0338	9,802	0,106082	0,174 3
220	0,42	96	2756	288	0,03728	10,73664	0,11184	0,183 273
220	0,425	100	2740	286	0,043	12,298	0,12298	0,193 182
220	0,426	101,6	2713	283	0,0486	13,7538	0,135372	0,196 735
220	0,433	104,8	2699	282	0,05326	15,01932	0,143314	0,206 265
220	0,438	110	2668	279	0,0602	16,7958	0,152689	0,219
220	0,444	113,2	2634	275	0,0658	18,095	0,15985	0,228 458
220	0,45	120,8	2600	272	0,0728	19,8016	0,163921	0,247 091
220	0,46	127,2	2560	268	0,0786	21,0648	0,165604	0,265 964

220	0,47	134	2517	263	0,0848	22,3024	0,166436	0,286 273
220	0,49	142	2463	257	0,0916	23,5412	0,165783	0,316 273
220	0,505	152	2401	251	0,0976	24,4976	0,161168	0,348 909
220	0,55	172,8	2220	232	0,1032	23,9424	0,138556	0,432



4.1 Pav. Parametrų η ir $\cos \varphi$ kitimas didinant apkrovą

4.2 Asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi charakteristikų tyrimas, kai variklis maitinamas iš dažnio keitiklio

Šiame tyrime AV su asimetriniu statoriumi yra maitinamas iš dažnio keitiklio Siemens Micromaster Vector. Variklio charakteristikos gaunamos, keičiant iš dažnio keitiklio išeinančios įtampos dažnį nuo 10 iki 100 Hz .

Tyrimo metu matuojami šie parametrai:

- Momentometro parodymai;
- AV rotoriaus sūkių dažnis n , aps/min;
- Tinklo įtampos parodymai U , V;
- Fiksuojama dažnio keitiklio įtampa displejuje U_{siem} , V;
- AV imama iš tinklo srovė I , A;
- AV naudojama galia P , W;

Išmatavus duomenis yra apskaičiuojami šie parametrai:

- Kampinis variklio sūkių dažnis ω , rad/s;
- Momentometro dešinės ir kairės pusės jėgas F, N;
- AV momentas M, $N \cdot m$;
- AV naudingoji galia P_2 , W
- Naudingumo koeficientas η ;
- Galios koeficientas $\cos\varphi$;

Matavimo duomenys pateikiami lentelėse (4.2 – 4.12)

4.2 Lentelė

AV maitinamas 10 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P,W	?	co sō
45	46,5	0,2 3	8	265	29,6782	0	0	0	0,0 4
45	46,5	0,2 4	8,4	90	10,0794	0,01176	0,11853	0,01 4	0,0 43

4.3 Lentelė

AV maitinamas 20 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	co sō
83	88,8	0,3 1	16,4	1012	113,337	0	0	0	0,0 57
87	88,8	0,3 1	16,8	975	109,194	0,012152	1,32692	0,07 9	0,0 59
87,5	88,8	0,3 12	18,8	915	102,474	0,018032	1,84781	0,09 8	0,0 66

87,5	88,8	0,3 29	20,8	787	88,1388	0,030576	2,69493	0,13	0,0 77
------	------	-----------	------	-----	---------	----------	---------	------	-----------

4.4 Lentelē

AV maitinamas 30 Hz ģtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/mi n	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	∞ sō
130	131,2	0,34	44,608	1640	183,669	0	0	0	0,1 16
130	131,2	0,35	45,92	1610	180,309	0,012152	2,19112	48	0,0 0,1 23
130	131,2	0,355	46,576	1575	176,39	0,02156	3,80296	82	0,0 0,1 26
130	131,2	0,36	47,232	1527	171,014	0,031752	5,43003	15	0,1 0,1 3
130	131,2	0,368	48,282	1478	165,526	0,039004	6,45618	34	0,1 0,1 35
130	131,2	0,38	49,856	1420	159,031	0,04116	6,5457	31	0,1 0,1 44

4.5 Lentelē

AV maitinamas 40 Hz ģtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	∞ sō
-----	-----	-----	-----	-----------	---------	--------	------	---	---------

178	174	0,3 61	62,814	2250	251,985	0	0	0	0,1 3
178	174	0,3 7	64,38	2185	244,705	0,021952	5,37177	0,08 3	0,1 37
178	174	0,3 9	67,86	2095	234,626	0,039592	9,28931	0,13 7	0,1 52
178	174	0,4 1	71,34	1987	222,531	0,057232	12,7359	0,17 9	0,1 68
178	174	0,4 5	78,3	1799	201,476	0,063896	12,8735	0,16 4	0,2 03

4.6 Lentelė

AV maitinamas 50 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	cos φ
220	216	0,375	81	2845	318,621	0	0	0	0,1 41
220	216	0,39	84,24	2818	315,597	0,018032	5,69085	0,068	0,1 52
220	216	0,4	86,4	2762	309,326	0,035476	10,9736	0,127	0,1 6
220	216	0,41	88,56	2694	301,71	0,05292	15,9665	0,18	0,1 68
220	216	0,445	96,12	2574	288,271	0,066052	19,0409	0,198	0,1 98
220	216	0,47	101,52	2410	269,904	0,070952	19,1502	0,189	0,2 21

4.7 Lentelė

AV maitinamas 60 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	cos φ
260	258,4	0,3 9	100,78	3446	385,929	0	0	0	0,152
260	258,4	0,3 95	102,07	3412	382,121	0,02156	8,23853	0,081	0,156

260	258,4	0,4 15	107,24	3340	374,058	0,039592	14,8097	0,138	0,172
260	258,4	0,4 35	112,4	3240	362,858	0,058996	21,4072	0,19	0,189
260	258,4	0,4 65	120,16	3130	350,539	0,0735	25,7646	0,214	0,216
260	258,4	0,5 2	134,37	2930	328,14	0,0882	28,942	0,215	0,27

4.8 Lentelė

AV maitinamas 70 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	co sö
328	301,6	0,4	120,64	4065	455,253	0	0	0	0,1 6
328	301,6	0,4 15	125,16	4000	447,973	0,02156	9,65831	0,07 7	0,1 72
328	301,6	0,4 2	126,67	3945	441,814	0,039592	17,4923	0,13 8	0,1 76
328	301,6	0,4 4	132,7	3880	434,534	0,058016	25,2099	0,19	0,1 94
328	301,6	0,4 7	141,75	3723	416,951	0,073304	30,5642	0,21 6	0,2 21
328	301,6	0,5 15	155,32	3580	400,936	0,089572	35,9127	0,23 1	0,2 65

4.9 Lentelė

AV maitinamas 80 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	co sö
-----	-----	-----	-----	-----------	---------	--------	------	---	----------

364	344	0,4 05	139,32	4660	521,889	0	0	0	0,1 64
364	344	0,4 25	146,2	4598	514,945	0,018032	9,28549	0,06 4	0,1 81
364	344	0,4 4	151,36	4560	510,69	0,03724	19,0181	0,12 6	0,1 94
364	344	0,4 5	154,8	4517	505,874	0,05292	26,7708	0,17 3	0,2 03
364	344	0,4 65	159,96	4457	499,154	0,06468	32,2853	0,20 2	0,2 16
364	344	0,5	172	4330	484,931	0,077812	37,7335	0,21 9	0,2 5
364	344	0,5 3	182,32	4264	477,54	0,09016	43,055	0,23 6	0,2 81
364	344	0,5 6	192,64	4173	467,348	0,10388	48,5481	0,25 2	0,3 14
364	344	0,6	206,4	3960	443,494	0,1127	49,9817	0,24 2	0,3 6

4.10 Lentelē

AV maitinamas 90 Hz ģatapa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	co sō
-----	-----	-----	-----	-----------	---------	--------	------	---	----------

416	387,2	0,4 1	158,75	5268	589,981	0	0	0	0,1 68
416	387,2	0,4 4	170,37	5181	580,237	0,02156	12,5099	0,07 3	0,1 94
416	387,2	0,4 5	174,24	5143	575,982	0,038416	22,1269	0,12 7	0,2 03
416	387,2	0,4 7	181,98	5093	570,382	0,05684	32,4205	0,17 8	0,2 21
416	387,2	0,4 9	189,73	5039	564,334	0,069972	39,4876	0,20 8	0,2 4
416	387,2	0,5 4	209,09	4870	545,408	0,085456	46,6083	0,22 3	0,2 92
416	387,2	0,5 6	216,83	4850	543,168	0,098	53,2304	0,24 5	0,3 14
416	387,2	0,5 7	220,7	4810	538,688	0,107604	57,965	0,26 3	0,3 25
416	387,2	0,5 8	224,58	4700	526,369	0,116816	61,4883	0,27 4	0,3 36
416	387,2	0,6	232,32	4680	524,129	0,1274	66,774	0,28 7	0,3 6

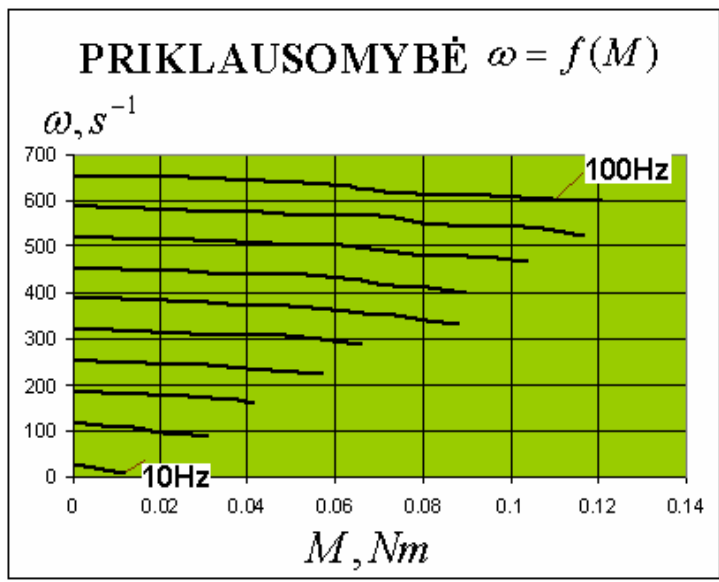
4.11 Lentelė

AV maitinamas 100 Hz įtampa

U,V	U,V	I,A	P,W	n,aps/min	w,rad/s	M, N·m	P2,W	?	cos ö
444	427,2	0,43	183,7	5800	649,561	0	0	0	0,1 85
444	427,2	0,435	185,83	5789	648,329	0,021952	14,2321	0,077	0,1 89
444	427,2	0,45	192,24	5743	643,178	0,039004	25,0865	0,13	0,2 03
444	427,2	0,465	198,65	5673	635,338	0,05684	36,1126	0,182	0,2 16

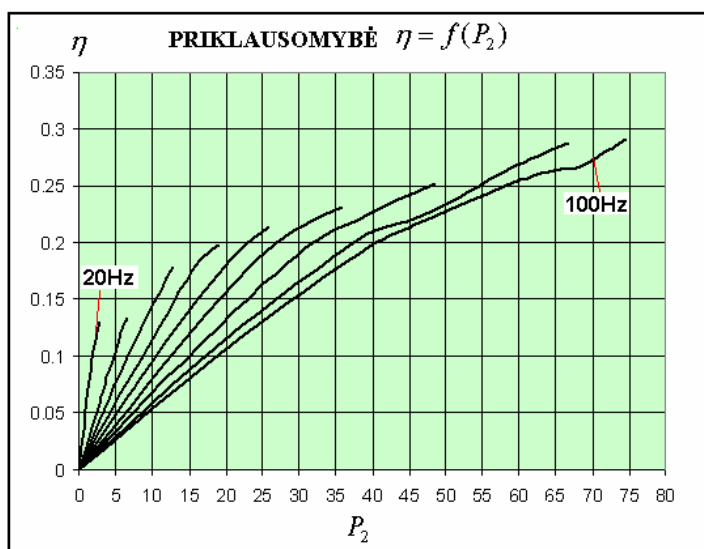
444	427,2	0,49	209,33	5520	618,203	0,071148	43,9839	0,21	0,24
444	427,2	0,56	239,23	5410	605,884	0,102312	61,9892	0,259	0,314
444	427,2	0,6	256,32	5360	600,284	0,11368	68,2403	0,266	0,36
444	427,2	0,6	256,32	5350	599,164	0,12054	72,2233	0,282	0,36
444	427,2	0,6	256,32	5342	598,268	0,119364	71,4117	0,279	0,36
444	427,2	0,6	256,32	5180	580,125	0,128576	74,5902	0,291	0,36

Turėdami duomenis galime pradėti charakteristikų nagrinėjimą. Paveiksle (4.2 pav.) pateikiama natūralioji mechaninė, asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi, charakteristika $M = f(\omega)$, ji apibūdina variklio darbą didėjant apkrovai ir variklio galimai maksimalų sukuriamą sukimo momentą esant tam tikram keitiklio įtampos dažniui.

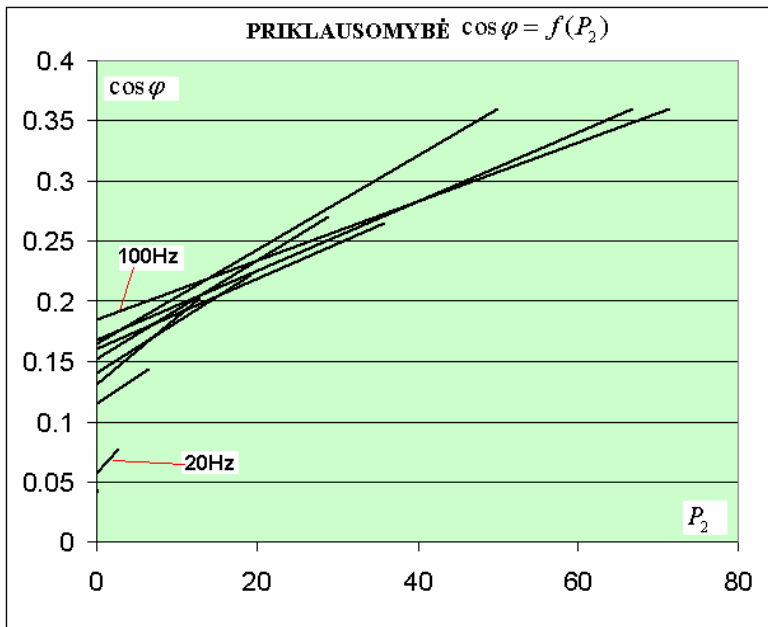


4.2 pav. AV mechaninė charakteristika

Viena svarbiausių variklio charakteristikų yra naudingumo koeficiento priklausomybė nuo mechaninės variklio galios P_2 .



4.3 pav. AV darbo charakteristika

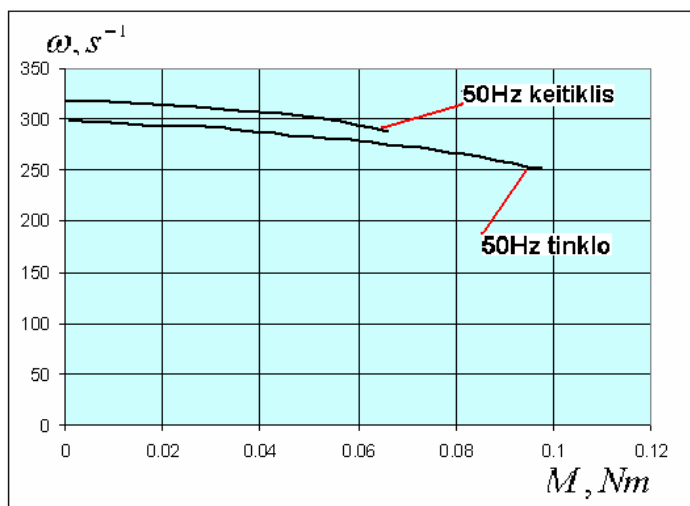


4.4 pav. AV Darbo charakteristika

5. TYRIMO REZULTATŲ ANALIZĖ

5.4 Momento analizė

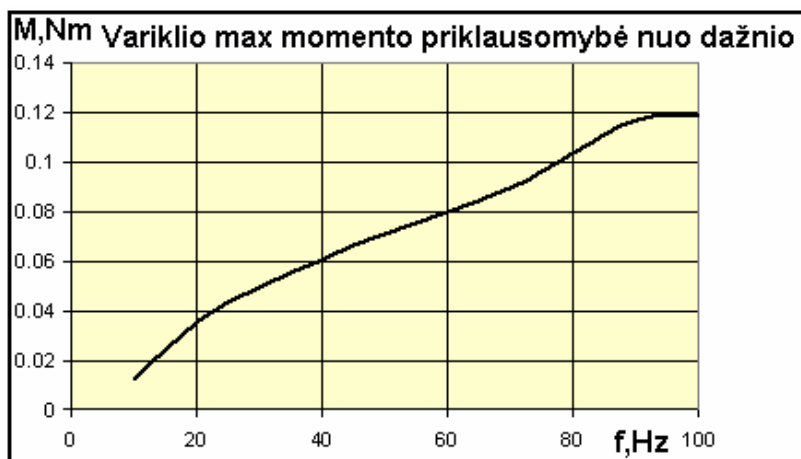
Analizuojant momento priklausomybę nuo apkrovos, kai variklis prijungtas prie paprasto tinklo ir maitinamas iš dažnio keitiklio Siemens Micromaster Vector, matosi, kad variklio sukimosi momentas M yra gerokai didesnis, kai AV su asimetriniu statoriumi maitinamas iš paprasto tinklo prie 50 Hz ir 220 V įtampos, paveikslas (5.1 pav) :



5.1 pav. AV momento M palyginimas

Mažesni variklio sukuriama momentą, kai variklis maitinamas iš keitiklio sąlygoja aukštesniųjų srovės harmonikų egzistavimas.

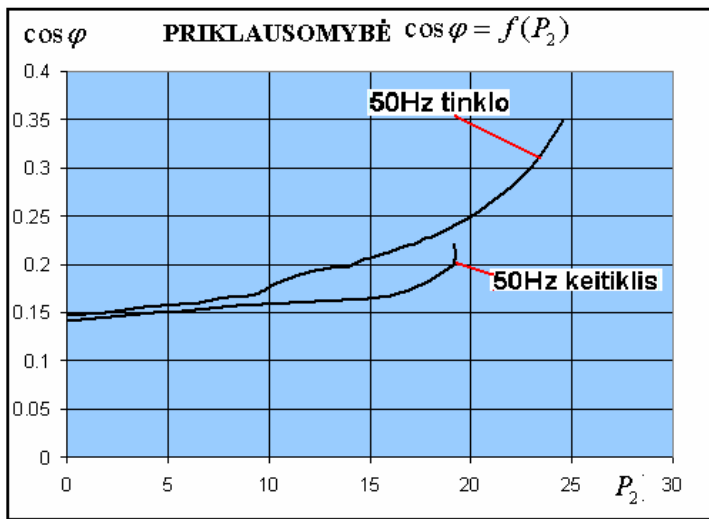
Maitinant AV su asimetriniu statoriumi iš keitiklio ir keičiant įtampos dažnį nuo 10 iki 100 Hz, variklio momentas didėja didinant dažnį, paveikslas (5.2 pav)



5.2 Pav. Asinchroninio variklio max momento priklausomybė nuo dažnio

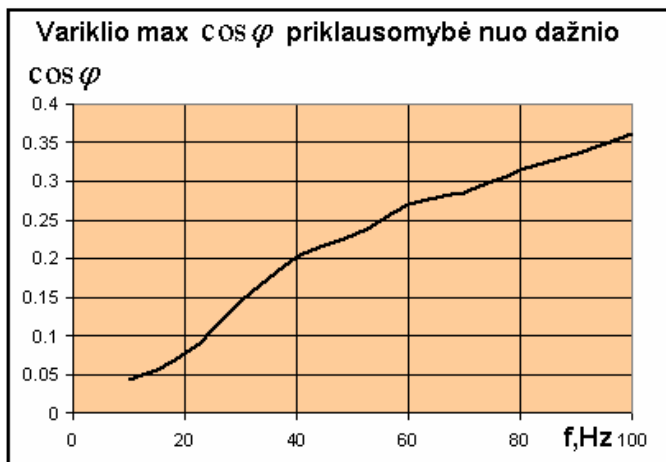
5.2 Galios koeficiento $\cos\phi$ analizė

Maksimalus galios koeficientas, maitinant AV su asimetriniu statoriumi iš tinklo 50 Hz ir 220 V įtampa yra gerokai didesnis palyginus, kai variklis maitinamas iš dažnio keitiklio, paveikslas(5.3 pav.):



5.3 pav. Galios koeficiento priklausomybė

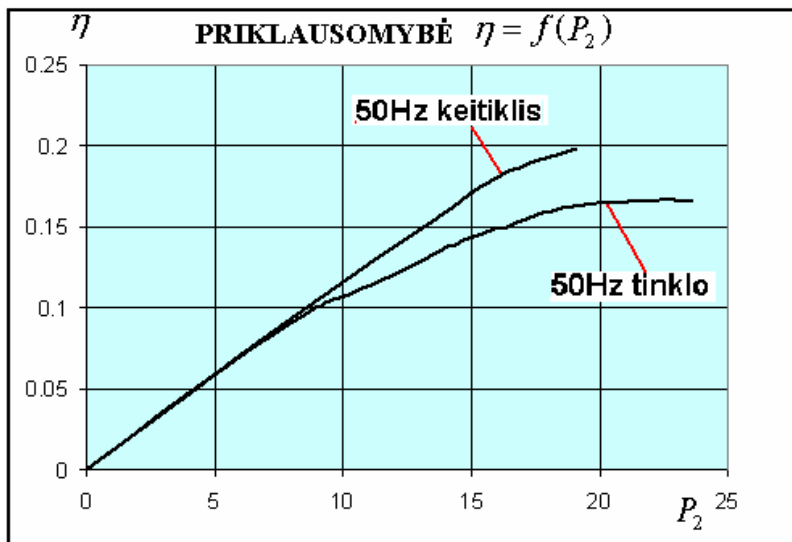
Kaip matome, galios koeficientas $\cos \varphi$ esant mažoms apkrovoms beveik nesiskiria, kai variklis maitinamas iš paprasto įtampos tinklo ar dažnio keitiklio. Tačiau didinant apkrovą iš tinklo maitinamo asinchroninio variklio $\cos \varphi$ gerokai išauga. Tokius rezultatus sąlygoja aukštesniųjų srovės harmonikų įtaka, kurios pablogina variklio mechanines charakteristikas. Kai asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio, variklio $\cos \varphi$ didėja didinant išeinančios įtampos dažnį, paveikslas (5.4 pav.).



5.4 pav. Max galios koeficiento $\cos \varphi$ priklausomybė

5.3 Naudingumo koeficiento η analizė

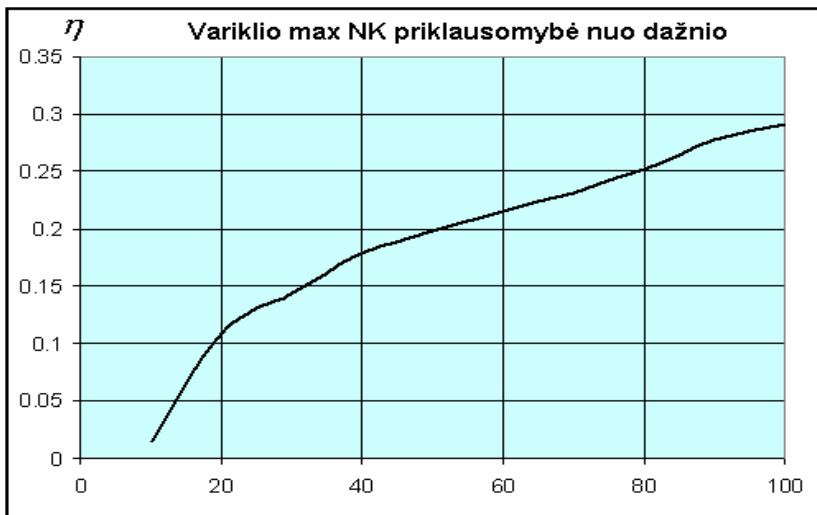
Naudingumo koeficientas, kai asinchroninis variklis maitinamas iš dažnio keitiklio yra didesnis nei tada, kai variklis maitinamas iš tinklo, paveikslas (5.5 pav.)



5.5 pav. Naudingumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos

Didėjant variklio maitinamos įtampos dažniui nuo 10 iki 100 Hz, naudingumo koeficientas taip pat didėja ir yra didžiausias savo reikšme, kai variklį maitinanti įtampa pasiekia 100 Hz,

paveikslas (5.6 pav.)



5.6 pav. Max naudingumo koeficiento η priklausomybė nuo dažnio

IŠVADOS

1. Maitinant asinchroninį variklį su asimetriniu statoriumi iš dažnio keitiklio, mechaninės charakteristikos, sukimo momentas, didėjant įtampos dažniui gerėja. Dėl to galime dažnio keitikliu keičiant įtampos dažnį gerinti variklio paleidimo, darbinės charakteristikas.
2. Asinchroninis variklis išvysto didesnę maksimalų momentą, kai jis maitinamas 220 V ir 50 Hz tinklo įtampa, nei prie tokių pat įtampos charakteristikų, maitinant iš dažnio keitiklio. Iš tinklo maitinamo asinchroninio variklio maksimalus momentas maždaug 30% didesnis nei variklio maitinamo iš dažnio keitiklio.
3. Asinchroninio variklio galios koeficientas $\cos \varphi$ apie 40% didesnis, kai variklis maitinamas tinklo 220 V ir 50 Hz įtampa, nei prie tokių pat įtampos charakteristikų, maitinant iš dažnio keitiklio. Esant nedidelei variklio apkrovai $\cos \varphi$ praktiškai nesiskiria, ar variklis maitinamas iš paprasto elektros tinklo ar iš dažnio keitiklio.
4. AV su asimetriniu statoriumi naudingumo koeficientas η didesnis, kai variklis maitinamas iš dažnio keitiklio esant 220 V ir 50 Hz įtampai, apie 20%.

Asinchroninio variklio su asimetriniu statoriumi tyrimas, keičiant įtampos dažnį nuo 10 iki 100 Hz, rodo, kad variklio maitinimas iš dažnio keitiklio turi realią perspektyvą. Tačiau būtina įvertinti kokia naudojamo variklio paskirtis. Maitinti AV su asimetriniu statoriumi dažnio keitikliu, prie panašių į tinklo įtampos parametrų, nelabai pagrįsta mintis, nes blogėja, iš dažnio keitiklio, maitinamo variklio mechaninės charakteristikos. Taip pat būtina atsižvelgti į priklausomybę $U/f = \text{const}$, tyrimo metu dažnio keitiklio įtampa didėja augant dažniui.

LITERATŪRA

1. Povilas Kostrauskas. Asinchroninės elektros mašinos. KTU,2004. 96-97 p. ISBN 9986-13-425-0.
2. S.Masiokas.Elektrotechnika. Vilnius, 1989. 314-343p.79-81p. ISBN 5-420-00145-4
3. А.И. Вольбек .Электрические машины. 1974 , Ленинград.605-609р.

4. М П Костенко .Элекрические машины. 1973, Ленинград.538-542р.
5. Н.И. Волков .Элекромашинные устройства автоматики. 1978 Москва.161-162р.
6. Elektrotechnika-2005: konferencijos pranešimų medžiaga [Kaunas]
7. A.Kairienė. Mechanikos uždavinių sprendimo metodika. Vilnius, 2000.18-19р.
ISBN 9986-491-59-2.
8. <http://www.cta.ru>