

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Marius Kernagis

VIENFAZIO MAŽOS GALIOS ASINCHRONINIO VARIKLIO
TYRIMAS
Magistro darbas

Vadovas
doc. dr. T. Šimkevičius

ŠIAULIAI, 2007

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
KATEDROS VEDĖJAS

doc. dr. T. Šimkevičius

2007 06

VIENFAZIO MAŽOS GALIOS ASINCHRONINIO VARIKLIO
TYRIMAS
Magistro darbas

Recenzentas

ŠU Technologijos fakulteto Elektros
inžinerijos katedros

(parašas) doc. dr. Z. Turauskas
2007 06

Vadovas

(parašas)
2007 06

doc. dr. T. Šimkevičius

Atliko

(parašas)
2007 06 04

EM5 gr. stud.
M. Kernagis

Kernagis M. The Research of a Single-phase Little Capacity Engine: Master's Degree Paper on Energetic Engineering/tutor: docent Dr. T. Simkevicius; Siauliai University, the Faculty of Technology, the Department of Electric Engineer. – Siauliai, 2007. – 89 pages.

Summary

The aim of research is to test the improvement possibilities of start up characteristics of a single-phase little capacity electric engine with dissymmetric stator.

It was done an experimental examination, criticizing standard engines starting up characterisations and parallel characterisations, applied short connected coils. Was analysed magnetic flows and its harmonics. Was appointed short connected coils influence to magnetic flows harmonics end to starting up moment. The results was generalised end was made affiliations.

The results of examination could be used to improve characterisation of engines starting up.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS.....	6
ĮŽANGA.....	7
1. VIENFAZIŲ VARIKLIŲ VEIKIMO PRINCIPAS	8
1.1 Vienfazės apvijos kuriamas magnetinis laukas.....	8
1.2 Paleidimo momentas ir jo pagerinimo galimybės	10
1.3 Sąlygos reikalingos gauti apskritimiam sukamajam laukui dvifazėje mašinoje.....	14
2 VIENFAZIS ASINCHRONINIS VARIKLIS SU NESIMETRINIŲ STATORIAUS MAGNETOLAIDŽIU	17
2.1 Elipsinio lauko susidarymas vienfaziam asinchroniniame variklyje su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu	17
2.2 Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu paleidimo momentas	19
2.3 Atstojamoji asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu schema..	25
3 EKSPERIMENTINĖ DALIS	29
3.1 Tyrimo metodika	29
3.2 Matavimų duomenys	32
3.3 Nesinusinės evj sklaidymas Furje eilute.....	34
3.3.1 Statoriaus magnetolaidžio matavimo vijose indukuotų evj ir magnetinių srautų sklaidymas harmonikomis.....	36
3.3.2 Magnetiniai srautai užsidarantys per statoriaus magnetolaidžio siaurą ir plačią sieneles esant skirtingoms įtampoms.....	42
3.4 Apibendrinti matavimų duomenys	46
IŠVADOS.....	51
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	52
PRIEDAI	53

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms (be trumpai jungtų vijų)	32
3.2 Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms (su trumpai jungta vija)	32
3.3 Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	32
3.4 Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės (įtampa 220V)	42
3.5 Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės (įtampa 200V)	43
3.6 Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės (įtampa 180V)	43
3.7 Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės (įtampa 160V)	44
3.8 Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės (įtampa 140V)	45
3.9 Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 220 V)	46
3.10 Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 200 V)	46
3.11 Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 180 V)	47
3.12 Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 160 V)	47
3.13 Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 140 V)	48

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. pulsuojančios magnetovaros išdalinimas į du besisukančius vektorius	9
1.2 pav. magnetovarų vektorinė diagrama.....	12
1.3 pav. Sąlygos reikalingos apskritiminių lauko susikūrimui	14
2.1 pav. Plieno magnetinių nuostolių kampo priklausomybė nuo magnetinio srauto tankio.....	17
2.2 pav. Vienfazis asinchroninis variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu	18
2.3 pav. Srautų Φ_1 , Φ_2 ir Φ_3 vektorinė diagrama.....	19
2.4 pav. Magnetinių srautų ir srovių pasiskirstymas vienfaziam asinchroniniame variklyje su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu ir sustabdytu rotoriumi [2]	20
2.5 pav. Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu ir sustabdytu rotoriumi magnetinių ir elektrinių dydžių vektorinis grafikas [5].....	21
2.6 pav. Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu atstojamoji magnetinė schema	25
2.7 pav. Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu atstojamoji elektrinė schema	26
2.8 pav. Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetinių srautų fazės prieš ir po trumpai jungtos vijos uždėjimo ant statoriaus magnetolaidžio plačiosios sienelės.....	28
3.1 schema. Eksperimentui atlikti buvo sujungta schema	29
3.1 Lentelė	32
Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms (be trumpai jungtų vijų).....	32
3.2 Lentelė	32
Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms.....	32
(kai ant statoriaus plačių sienelių uždėta viena trumpai jungta vija)	32
3.3 Lentelė	32
3.4 Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms.....	32
(kai ant statoriaus plačių sienelių uždėtos dvi trumpai jungtos vijos)	32
3.5 pav. Paleidimo momento priklausomybės nuo įtampos	33
3.6 pav. Grafinis metodas skleidžiant nesinusinį dydį Furje eilute	35
3.7 pav. Signalas išskaidytas harmonikomis	36
3.8 pav. Plačiosios sienelės matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V).....	37
3.9 pav. Magnetinis srautas plačioje sienelėje išskaidytas harmonikomis (įtampa 220 V)	38
3.10 pav. Siauros sienelės matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V).....	38
3.11 pav. Siauros sienelės magnetinio srauto harmonikos (įtampa 220 V).....	39
3.12 pav. Poliaus matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V).....	40
3.13 pav. Poliaus magnetinio srauto harmonikos	40
3.14 Poliuko matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V).....	41
3.15 pav. Poliuko magnetinio srauto harmonikos	41
3.16 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos.....	42
(įtampa 220 V).....	42
3.4 lentelė	42
Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės.....	42
3.17 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos.....	42
(įtampa 200 V).....	42
3.18 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos.....	43
(įtampa 180 V).....	43
3.19 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos.....	44
(įtampa 160 V).....	44
3.20 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos.....	44
(įtampa 140 V).....	44
3.21 pav. Plačios statoriaus sienelės magnetinio srauto pirmos harmonikos amplitudės priklausomybė nuo įtampos	48
3.22 pav. Siauros statoriaus sienelės magnetinio srauto pirmos harmonikos amplitudės priklausomybė nuo įtampos.....	49

IŽANGA

Vienfaziai asinchroniniai mažos galios elektros varikliai yra plačiai naudojami dėl jų patikimumo ir plataus panaudojimo galimybių. Tačiau šios mašinos be savo privalumų turi ir keletą trūkumų. Vienas iš didžiausių trūkumų yra tai, kad vienfazėje elektros mašinoje sukuriamas magnetinis laukas yra pulsuojantis dėl ko paleidimo momentas yra lygus 0.

Šiame tiriamajame darbe tyrinėjome vienfazį asinchroninį elektros variklį su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu [9]. Šio variklio statoriaus sienelės yra nevienodo skersmens. Tokio tipo varikliuose sukamasis magnetinis laukas yra elipsės formos. Kadangi sukuriamas laukas yra ne apskritiminis tai ir šio variklio paleidimo momentas nėra didelis. Tai pagrindinė šio variklio problema. ant nesimetrinio statoriaus magnetolaidžio plačių sienelių uždėtų trumpai jungtų vijų įtaką

Šio tiriamojo darbo tikslas yra išsiaiškinti vienfazio mažos galios asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu paleidimo charakteristikų pagerinimo galimybes.

Pagrindiniai tiriamojo darbo uždaviniai:

1. Išsiaiškinti variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu paleidimo charakteristikų pagerinimo galimybes.
2. Ištirti ant nesimetrinio statoriaus magnetolaidžio plačių sienelių uždėtų trumpai jungtų vijų įtaką variklio paleidimo momentui, vartojamai galiai ir srovei.
3. Išanalizuoti ant nesimetrinio statoriaus magnetolaidžio plačių sienelių uždėtų trumpai jungtų vijų įtaką magnetinių srautų fazėms ir amplitudėms.

Darbe bus nagrinėjamas vienfazis asinchroninis mažos galios elektros variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu. Bus tiriama kaip keičiasi nesimetrinio asinchroninio variklio paleidimo charakteristikos keičiant magnetolaidžio sienelių magnetinę varžą. Analizuosime kokia įtaką tai turi magnetinių srautų charakteriui. Pagal tyrime gautus rezultatus bus galima teikti pasiūlymus dėl variklio paleidimo charakteristikų pagerinimo.

1. VIENFAZIŲ VARIKLIŲ VEIKIMO PRINCIPAS

1.1 Vienfazės apvijos kuriamas magnetinis laukas

Bet kokia vienfazė apvija kai ja teka kintamoji srovė $i = I_m \cos \omega t$ sukuria pulsuojantį magnetinį lauką, kuris kinta nuo $+\Phi_m$ iki $-\Phi_m$.

Vienfazės apvijos pulsuojanti magnetovara F (A):

$$F = F_m \cos \omega t. \quad (1.1)$$

čia F_m – magnetovaros amplitudė, A;

t – laikas, s;

ω – kampinis dažnis, rad/s.

Vienfazę pulsuojančią magnetovara išskaidome į dvi F_1 ir F_2 magnetovaras kurios erdvėje sukasi priešingomis kryptimis kampiniu dažniu ω ir kurių dydis lygus pusei pulsuojančio lauko magnetovaros F_m amplitudės.

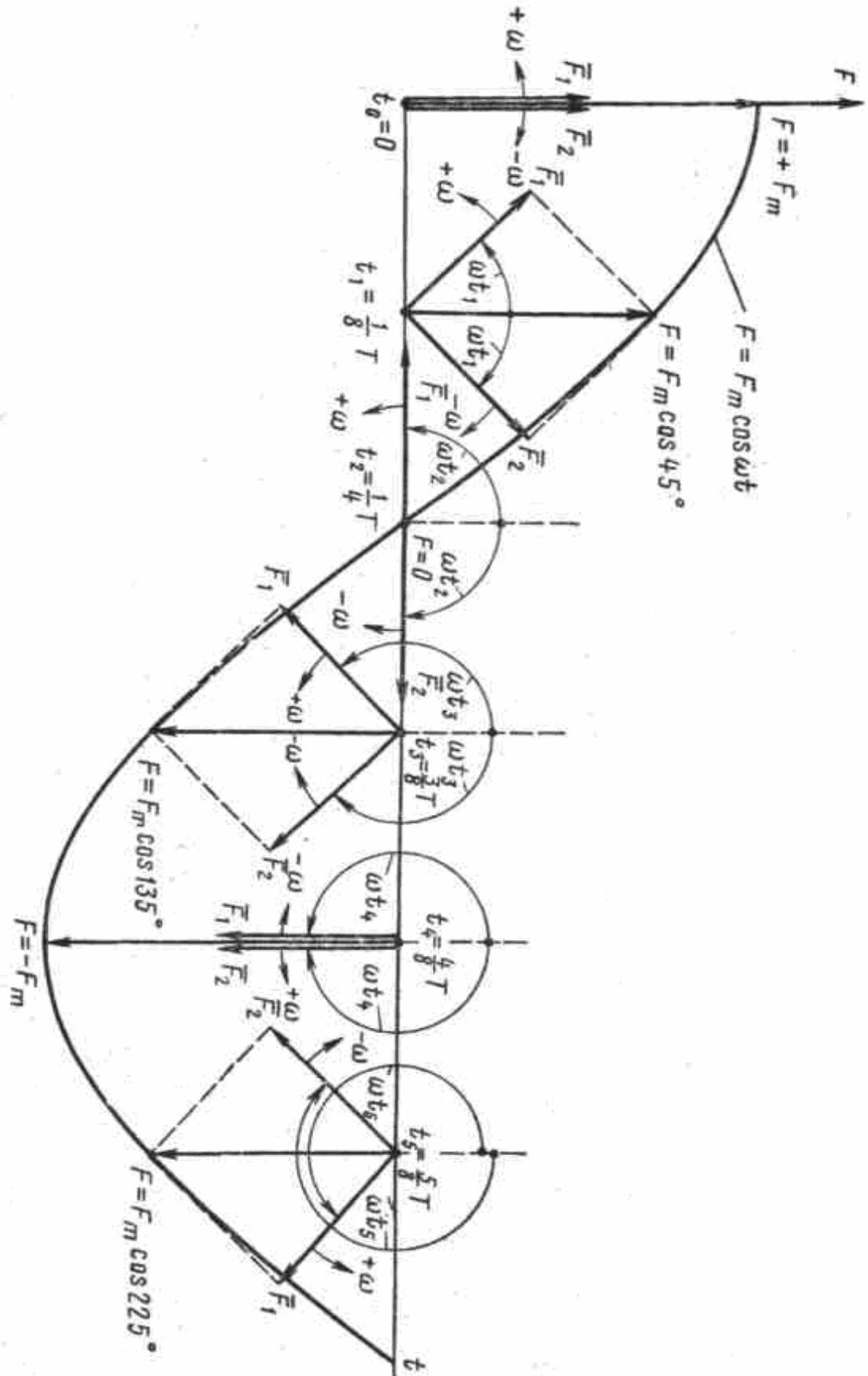
$$F_1 = F_2 = \frac{F_m}{2}. \quad (1.2)$$

Laikykime, kad magnetovara F_1 sukasi ta pačia kryptimi kaip ir rotorius, o F_2 priešingai rotoriaus sukimosi kryptčiai.

Bet kokiu laiko momentu geometrinė besisukančiu F_1 ir F_2 magnetovarų suma savo dydžiu ir kryptimi bus lygi momentinei pulsuojančios magnetovaros reikšmei.

$$F = F_m \cos \omega t = \frac{F_m}{2} e^{+j\omega t} + \frac{F_m}{2} e^{-j\omega t} = F_1 + F_2. \quad (1.3)$$

1.1 pav. Parodytos magnetovaros F , F_1 ir F_2 , laiko momentu t_0, t_1, t_2, \dots . Pulsuojančios magnetovaros padalinimas į dvi erdvėje besisukančias magnetovaras leidžia pasinaudoti tais pačiais tyrinėjimo metodais kurie naudojami simetrinėms trifazėms ir dvifazėms elektros mašinoms su apskritiminiu magnetiniu lauku. [3]



1.1 pav. pulsuojančios magnetovaros išdalinimas į du besisukančius vektorius

1.2 Paleidimo momentas ir jo pagerinimo galimybės

Praktikoje dažnai sutinkame elektrines mažos galios mašinas su dviem apvijom sudarančiom tarp savęs erdvinį kampą θ . Išnagrinėsime tokią nesimetrinę dvifazę mašiną, kurios apvijos A ir B turi nevienodą vijų skaičių ir tarp kurių yra erdvinis kampas θ . Laikykite, kad apvijomis A ir B atitinkamai teka akimirkinės i_a (A) ir i_b (A) srovės yra nevienodos savo dydžiu ir perstumtos faze β .

$$i_A = I_{Am} \cos \omega t ; \quad (1.4)$$

$$i_B = I_{Bm} \cos(\omega t + \beta). \quad (1.5)$$

Čia I_{Am} – amplitudinė A apvijoje tekančios srovė reikšmė, A;
 I_{Bm} – amplitudinė B apvijos tekančios srovė reikšmė, A;
 β – kampas laike tarp srovių tekančių A ir B apvijomis.

Apvijų F_A (A) ir F_B (A) magnetovaros nevienodos savo dydžiu ir perstumtos faze β .

$$F_A = F_{Am} \cos \omega t ; \quad (1.6)$$

$$F_B = F_{Bm} \cos(\omega t + \beta). \quad (1.7)$$

čia F_{Am} – A apvijos kuriama magnetovara;
 F_{Bm} – B apvijos kuriama magnetovara;
 β – fazinis kampas tarp F_A ir F_B magnetovaru.

Išskaidykime kiekvienos apvijos magnetovaras į tiesiogines ir atvirkštines dedamąsias.

$$F_{A1} = F_{A2} = \frac{F_{Am}}{2} ; \quad (1.8)$$

$$F_{B1} = F_{B2} = \frac{F_{Bm}}{2}. \quad (1.9)$$

1.2 paveiksle grafiškai pavaizduotos tiesioginės ir atvirkštinės sekos magnetovaros A ir B apvijose kai $t = 0$. Ten pat parodytos ir suminės magnetovaros tiesioginės sekos F_1 ir atvirkštinės sekos F_2 kurios atitinkamai yra lygios:

$$\overline{F}_1 = \overline{F}_{A1} + \overline{F}_{B1}; \quad (1.10)$$

$$\overline{F}_2 = \overline{F}_{A2} + \overline{F}_{B2}. \quad (1.11)$$

Suminė tiesioginės sekos F_1 magnetovara yra lygi OC kraštinei ir gali būti randama šiuo būdu:

$$\overline{F}_1 = OC = \sqrt{OD^2 + DC^2 - 2 \cdot OD \cdot DC \cdot \cos \angle ODC};$$

$$\angle ODC = 180^\circ - \angle ADC = 180^\circ - (\theta - \beta);$$

$$\cos \angle ODC = \cos[180^\circ - (\theta - \beta)] = -\cos(\theta - \beta).$$

Kadangi:

$$OD = \overline{F}_{A1} = \frac{\overline{F}_{Am}}{2};$$

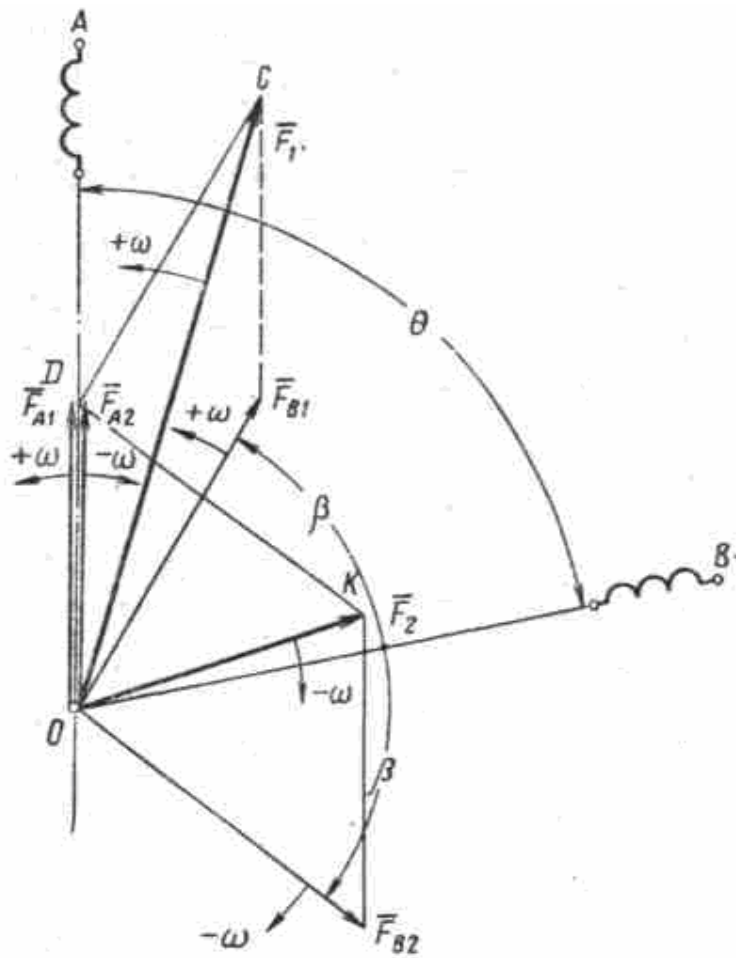
$$DC = \overline{F}_{B1} = \frac{\overline{F}_{Bm}}{2}.$$

Tada F_1 išraiška bus:

$$F_1 = \frac{1}{2} \sqrt{F_{Am}^2 + F_{Bm}^2 + 2F_{Am}F_{Bm} \cos(\theta - \beta)}. \quad (1.12)$$

čia θ – erdvinis kampas tarp magnetovarų.

Suminė atvirkštinės sekos magnetovara F_2 yra lygi OK kraštinei ir gali būti randama šiuo būdu:



1.2 pav. magnetovarų vektorinė diagrama

$$\overline{F}_2 = OK = \sqrt{OD^2 + DK^2 - 2 \cdot OD \cdot DK \cdot \cos \angle ODK};$$

$$\angle ODK = 180^\circ - \angle ADK = 180^\circ - (\theta + \beta);$$

$$\cos \angle ODK = \cos [180^\circ - (\theta + \beta)] = -\cos(\theta + \beta).$$

Kadangi:

$$OD = \overline{F}_{A2} = \frac{\overline{F}_{Am}}{2};$$

$$DK = \overline{F}_{B2} = \frac{\overline{F}_{Bm}}{2}.$$

Tada F_2 išraiška bus:

$$F_2 = \frac{1}{2} \sqrt{F_{Am}^2 + F_{Bm}^2 + 2F_{Am} F_{Bm} \cos(\theta + \beta)}. \quad (1.13)[7]$$

Išraiškos (1.12) ir (1.13) leidžia rasti sumines tiesioginės sekos F_1 ir atvirkštinės sekos F_2 magnetovaras mašinoje su dviem apvijomis esant bet kokioms magnetovaroms (F_{Am} ir F_{Bm}) bet kokiems kampams θ (erdvinis apvijų poslinkis) ir bet kokiems faziniams kampams β . Tai leidžia rasti dvifazės mašinos tiesioginių ir atvirkštinių sekų magnetinių laukų dydžius.

Analizuodami F_1 ir F_2 išraiškas galime nustatyti keletą dvifazės mašinos savybių. Kadangi $\cos(\theta - \beta) = \cos(\beta - \theta)$ tai bet koks erdvinio kampo θ poslinkis įtakos magnetovaros dydį F_1 ir F_2 , o tuo pačiu tai pakeis magnetinio lauko charakterį. Lygiai taip pat magnetinio lauko charakteris keisis keičiantis kampui β .

Pasinaudodami F_1 ir F_2 išraiškas galime rasti paleidimo momentų priklausomybes visiems nesimetriniams dvifaziams asinchroniniams varikliams ir sinchroniniams varikliams su asinchroniniu paleidimu.

Šiuo atveju momento M (N·m) dydis lygus:

$$M = c \cdot F_{Am} \cdot F_{Bm} \cdot \sin \theta \cdot \sin \beta. \quad (1.14)[6]$$

čia c – pastovus daugiklis;

Tokiu būdu dvifazių elektros variklių paleidimo yra tiesiog proporcingas F_{Am} ir F_{Bm} magnetovaroms, o taip pat erdviniam kampui tarp apvijų θ ir srovių fazių skitumui β .

Maksimalus paleidimo momentas bus kai $\theta=90^0$ ir $\beta=90^0$.

Šių sąlygų teisingumu galime įsitikinti analizuodami 1.3 pav. kuriame parodytos dvi A ir B apvijos kurios tarp savęs sudaro erdvinį kampą θ . Srovės, o taip pat ir magnetovaros F_A ir F_B perstumtos laike kampu β :

$$F_A = F_{Am} \cos \omega t ; \quad (1.17)$$

$$F_B = F_{Bm} \cos(\omega t + \beta). \quad (1.18)$$

Tam, kad atvirkštinis laukas būtų lygus 0 reikia, kad jo dedamųjų ($F_{A2} + F_{B2}$) suma būtų 0. Taip bus tada kai apvijų atvirkštinės magnetovarų reikšmės bus vienodos ir suksis priešingomis kryptimis. Apskritiminio lauko dydį galime rasti analizuodami 1.3 paveikslą. Kadangi keturkampis OKMN esant apskritiminių laukui yra rombo formos ($F_{A1} = F_{B1}$), tai:

$$F_1 = 2F_{A1} \cos \alpha = 2F_{A1} \cos \left[\frac{(\beta - \theta)}{2} \right]. \quad (1.19)$$

kadangi esant apskritiminių laukui:

$$F_{A1} = F_{B1} = \frac{F_{Am}}{2} = \frac{F_{Bm}}{2} = \frac{F_{\Phi m}}{2} \text{ ir } \beta = 180^\circ - \theta. \quad (1.20)$$

gauname:

$$F_1 = F_{\Phi m} \sin \theta. \quad (1.21)$$

Ši lygybė rodo, kad mašinoje su dviem apvijom apskritiminį lauką galime gauti prie bet kokio kampo θ . Tačiau maksimalus lauko dydis bus kai $\theta = 90^\circ$.

Tiesioginio lauko išraiška per kampą β bus lygi:

$$F_1 = F_{\Phi m} \sin \beta. \quad (1.22)$$

Ši lygybė rodo, kad maksimali tiesioginės sekos elektrovaros reikšmė bus kai $\beta = 90^\circ$. Esant apskritiminių laukui šiuo atveju ir erdvinis kampas $\theta = 90^\circ$.

Išanalizavę (1.21) ir (1.22) formules matome, kad maksimali sukamojo apskritiminio lauko reikšmė dvifazėje mašinoje įvykdžius (1.15) ir (1.16) sąlygas bus lygi vienos iš apvijų magnetinio lauko amplitudei:

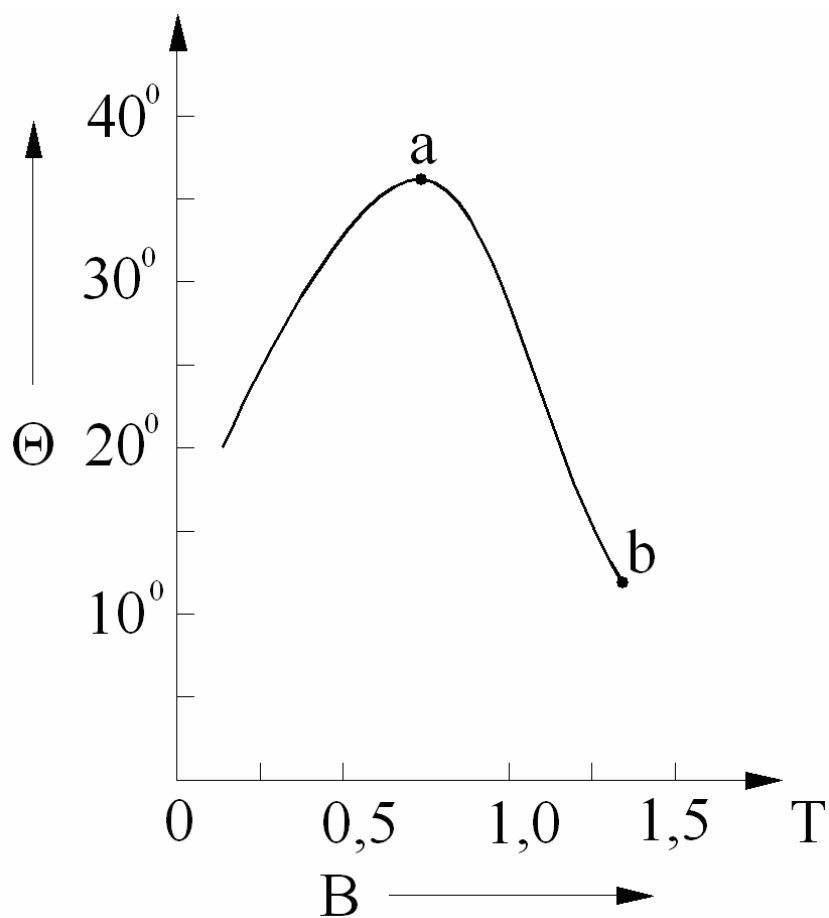
$$F_{1\max} = F_{Am} = F_{Bm} = F_{\Phi m} . \quad (1.23)$$

Norėdami gauti maksimalų sukamąjį apskritiminį lauką esant mažiausioms apvijų magnetovaroms ir srovėms apvijose reikia įvykdyti (1.15) ir (1.16) sąlygas.

2 VIENFAZIS ASINCHRONINIS VARIKLIS SU NESIMETRINIU STATORIAUS MAGNETOLAIDŽIU

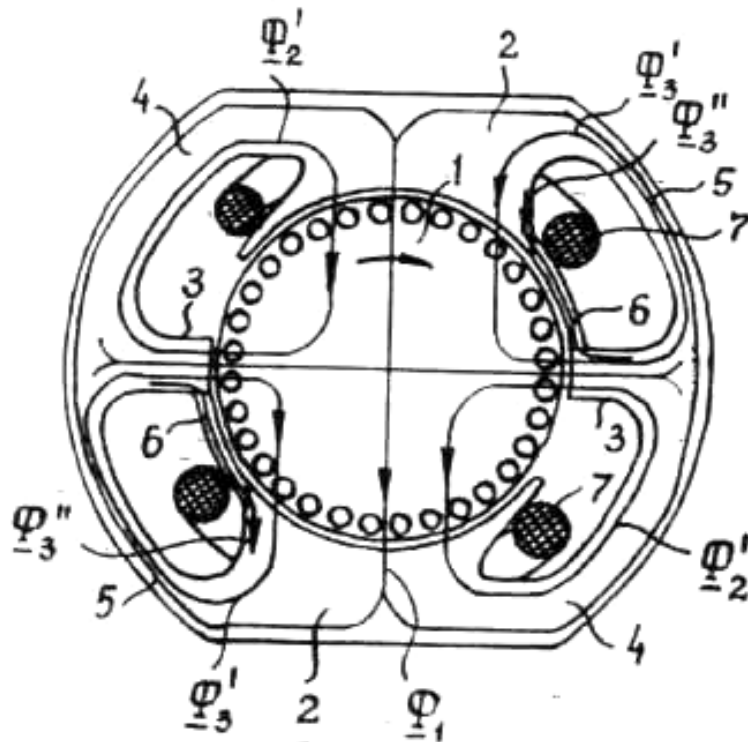
2.1 Elipsinio lauko susidarymas vienfaziam asinchroniniame variklyje su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu

Šio variklio veikimas pagristas tuo, kad magnetiniai srautai užsidaro per nesimetrinį magnetolaidį kuriame magnetiniai srautai pasiskirstę nevienodai, o kadangi magnetinių nuostolių kampas feromagnetike priklauso nuo magnetinio srauto tankio dydžio tai ir srautų užsidarančių per šį magnetolaidį fazės nesutaps. Iš 2.1 pav. matome, kaip elektrotechninio plieno nuostolių kampas priklauso nuo magnetinio srauto tankio. Tam, kad gautume magnetinius srautus nesutampančius savo fazėmis dvi nesimetrinio statoriaus sienelės pagamintos taip, kad jų darbo taškas būtų taške a (2.1 pav.), o kitų dviejų sienelių taške b.



2.1 pav. Plieno magnetinių nuostolių kampo priklausomybė nuo magnetinio srauto tankio

2.2 paveiksle pavaizduotas vienfazis asinchroninis variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu. Naudojamas įprastas trumpai jungtas rotorius 1. Ant plačių polių 2 suvyniotos žadinimo apvijos 7. Siauri poliai 3, neturi apvijų ir yra sujungti su didžiaisiais poliais 2 per plačias sienes 4 ir siauromis sienelėmis 5. Magnetiniai šuntai 6 jungia plačiųjų ir siaurųjų

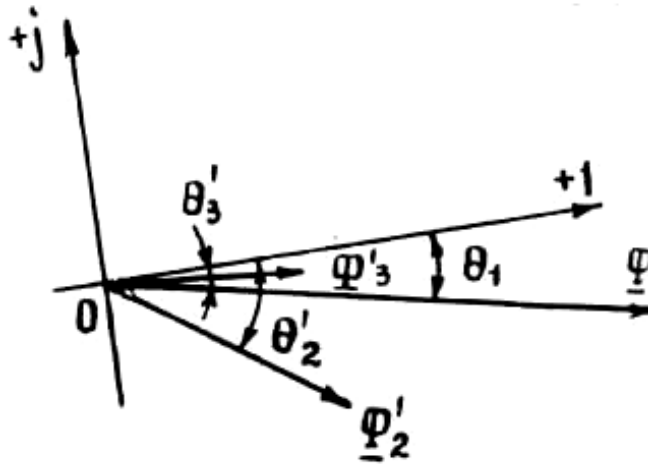


2.2 pav. Vienfazis asinchroninis variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu

polių galus. Magnetinis srautas Φ_1 kerta statoriaus ir rotoriaus apvijas. Magnetinis srautas Φ_2 kerta statoriaus apvijas ir dalį rotoriaus apvijų užsidaro per plačiąją statoriaus sienelę, o srautas Φ_3 užsidaro per siaurąją statoriaus sienelę ir magnetinį šuntą. Šiuo atveju šuntas padidina siaurosios statoriaus sienelės įsotinimą, o taip pat pagerina magnetinio srauto oro tarpe formą, priartindama ją prie sinusoidės.

Norėdami išsiaiškinti asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu veikimo principą mes pasinaudosime aukščiau aptartomis elektrotechninio plieno nuostolių kampo savybėmis (2.1 pav.). Magnetinis srautas Φ_2 užsidaro per magnetolaidį kurio magnetinio srauto tankis neviršija 0,8 T. Nuostolių kampas siekia apie 35° . Magnetinis srautas Φ_3 užsidaro per siaurąją statoriaus sienelę, kurioje magnetinio srauto tankis siekia 2,3 T ir daugiau.. Nuostolių kampas sudaro vos kelis laipsnius. Magnetinis srautas Φ_1 užsidaro per magnetolaidį dalį kurio

sudaro plati sienelė su mažu magnetinio srauto tankiu, o dalį siaura sienelė su dideliu magnetinio srauto tankiu. Dėl to srauto Φ_1 magnetinių nuostolių kampas θ_1 yra tarp dviejų srautų Φ_2' ir Φ_3' magnetinių nuostolių kampų.



2.3 pav. Srautų Φ_1 , Φ_2' ir Φ_3' vektorinė diagrama

2.3 pav. parodyta magnetinių srautų vektorinė diagrama. Nei erdvėje nei laike srautai Φ_1 , Φ_2' ir Φ_3' nesutampa dėl ko oro tarpe atsiranda elipsinis laukas. Dėl rezultuojančio lauko sąveikos su srovėmis tekančiomis rotorius, rotorius sukasi pagal laikrodžio rodyklę. [4]

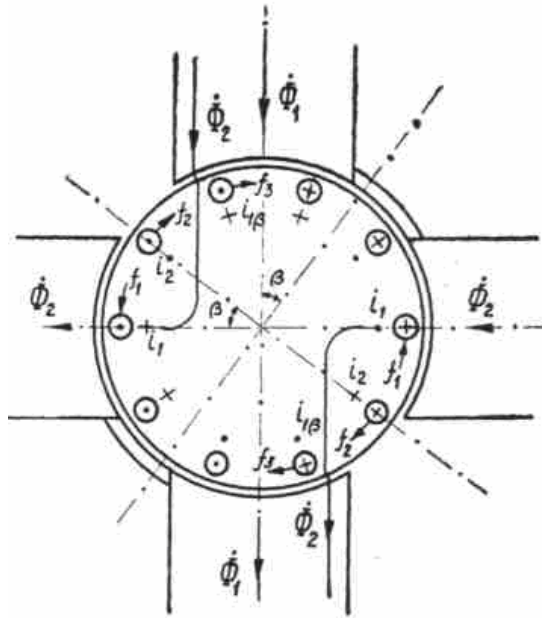
2.2 Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu paleidimo momentas

Vienfazių asinchroninių variklių su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu kuriamas sukamasis magnetinis laukas yra elipsinis. Dėl to šių variklių momentui apskaičiuoti negalime naudoti variklių su apskritiminiu sukamuoju lauku momento išraiškų nes skaičiavimuose atsirastu didelės paklaidos.

Asinchroninio mažos galios elektros variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu trumpojo jungimo režime oro tarpe sukurtas magnetinis laukas yra labai iškraipytas.

Rotoriaus apviją kerta du besiskiriantys fazėmis magnetiniai srautai Φ_1 ir Φ_2 (2.4 pav.). Magnetinis srautas Φ_2 kerta mažiau įsotintą statoriaus sienelę, todėl savo faze atsilieka nuo srauto Φ_1 kampu θ . Kadangi šie srautai skiriasi savo fazėmis, o taip pat nesutampa ir erdvėje, mašinos

oro tarpe atsiranda sukamasis elipsinis laukas. Rotorius esantis tokiame sukamajame magnetiniame lauke ims sukstis.



2.4 pav. Magnetinių srautų ir srovių pasiskirstymas vienfaziam asinchroniniame variklyje su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu ir sustabdytu rotoriumi [2]

Norėdami supaprastinti nagrinėjamą schemą manysime, kad:

1. magnetinis srautas oro tarpe tarp polių yra sinusinis,
2. vertinama tik pirmoji statoriaus apvijos kuriamos magnetovaros harmonika,
3. neįvertinami magnetiniai sklaidos srautai

2.4 pav. parodytos elektrovarų kryptys rotoriuje. Elektrovaros indukuotos magnetinio srauto Φ_1 rotoriaus vijose pažymėtos pliusu arba tašku. Elektrovarų indukuotų magnetinio srauto Φ_2 kryptys pažymėtos šalia rotoriaus vijų.

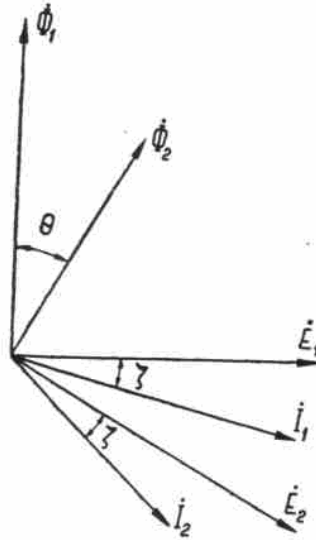
Rasti atitinkamas jėgas veikiančias nejudančio rotoriaus apvijas kuriomis teka srovė naudosisime formulę:

$$d\vec{f} = i(\vec{dl} \cdot \vec{B}) \sin \gamma. \quad (2.1)$$

Jėgos modulis:

$$f = i \cdot B \cdot l. \quad (2.2)$$

- čia i – akimirkinė srovė, A;
 B – magnetinio srauto tankis, T;
 l – vienos rotoriaus vijos ilgis, m.



2.5 pav. Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu ir sustabdytu rotoriumi magnetinių ir elektrinių dydžių vektorinis grafikas [5]

2.5 pav. parodyta variklio vektorinė magnetinių ir elektrinių dydžių diagrama. Čia Φ_1 ir Φ_2 parodyti magnetiniai srautai kurie nesutampa laike kampu θ . Raidėmis \underline{E}_1 ir \underline{E}_2 , o taip pat I_1 ir I_2 atitinkamai pažymėtos elektrovaros ir srovės nejudančio rotoriaus vijose. Raide ζ pažymėtas kampas tarp srovių ir elektrovarų. Visus kintančius dydžius iš 2.5 pav. parodykime kaip laiko funkcijas:

$$\left. \begin{aligned}
 \Phi_1 &= \Phi_{1m} \sin \omega t, \\
 \Phi_2 &= \Phi_{2m} \sin(\omega t - \theta), \\
 e_1 &= -\frac{d\Phi_1}{dt} = -\Phi_{1m} \omega \cos \omega t, \\
 e_2 &= -\frac{d\Phi_2}{dt} = -2\Phi_{2m} \omega \cos(\omega t - \theta), \\
 i_1 &= \frac{e_1/2}{Z_1} = -\frac{\Phi_{1m} \omega}{2Z_1} \cos(\omega t + \xi), \\
 i_2 &= \frac{e_2/2}{Z_2} = -\frac{\Phi_{2m} \omega}{2Z_2} \cos(\omega t - \theta + \xi).
 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

čia Z_1 – elektrinė rotoriaus varža srovei i_1 , Ω .

Z_2 - elektrinė rotoriaus varža srovei i_2 , Ω .

Iš šių sąlygų galime daryti išvadą, kad magnetinio srauto tankio kreivė po poliūmi yra sinusinė:

$$B_1 = B_{1m} \sin \frac{\pi}{\tau} x. \quad (2.4)$$

Magnetinis srautas Φ (Wb) po sužadintu poliūmi bus lygus:

$$\Phi_{1m} = \frac{2\tau d}{\pi} B_{1m}. \quad (2.5)$$

Tam kad rastume jėgą \vec{f}_1 veikiančią rotorijų pasinaudosime (2.2) formule:

$$\Phi_{2m} = l\alpha B_{2m}. \quad (2.6)$$

Manykime, kad magnetinio srauto tankis B_2 yra stačiakampės formos:

$$f_1 = -\frac{\Phi_{1m}\omega\Phi_{2m}}{Z_{1r}\alpha} \cos(\omega t + \zeta) \sin(\omega t - \theta). \quad (2.7)$$

čia Z_{1r} - narvelinio tipo rotoriaus kompleksinė elektrinė varža kai prieš nesužadintą polių yra vijų skaičius n , kurių srovių suma lygi i_1 , Ω .

Vidutinė jėgos reikšmė per periodą:

$$f_{1cp} = \frac{\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}}{2Z_{1r}\alpha} \sin(\theta + \zeta). \quad (2.8)$$

Jėga f_{1cp} kuria momentą kurio kryptis yra prieš laikrodžio rodyklę (2.4 pav.).

$$M_1 = \frac{\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}d}{4Z_{1r}\alpha} \sin(\theta + \zeta). \quad (2.9)$$

Čia d – jėgos f_{1cp} petys, m.

Toliau randame jėgą atsirandančią sąveikaujant srovei i_2 ir magnetiniam srautui Φ_1 . Srovė i_2 tekanti rotoriaus apvijomis kurios ašis su variklio horizontalia ašimi sudaro kampą β (2.4pav.).

Magnetinio srauto tankis B_1 šioje ašyje yra lygus:

$$B_1 \sin \beta.$$

Akimirkinė f_2 jėgos reikšmė:

$$f_2 = -\frac{\pi\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}}{\tau Z_{2k}} \sin \beta \cos(\omega t + \zeta - \theta) \sin \omega t. \quad (2.10)$$

Čia Z_{2k} - voveraitės tipo rotoriaus kompleksinė elektrinė varža kai magnetinis srautas Φ_2 kerta k rotoriaus vijas, Ω .

Vidutinė jėgos f_2 reikšmė per periodą:

$$f_{2cp} = -\frac{\pi\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}}{2Z_{2k}\tau} \sin \beta \sin(\theta - \zeta). \quad (2.11)$$

Jėgos f_{2cp} kuriamas momentas kurio kryptis priešinga momento M_1 kryptčiai:

$$M_2 = -\frac{\pi\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}d}{4Z_{2k}\tau} \sin \beta \sin(\theta - \zeta). \quad (2.12)$$

Be minėtų jėgų f_1 ir f_2 rotorių veikia jėga f_3 atsiradusį sąveikaujant srovei $i_{1\beta}$ ir srautui Φ_2 ; $i_{1\beta}$ – srovė rotoriaus apvijoje indukuota magnetinio srauto Φ_1 .

Tokiu pačiu būdu kaip apskaičiavome momentus M_1 ir M_2 randame ir momentą M_3 :

$$M_3 = \frac{\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}}{4Z_{1\beta}\alpha} \sin(\theta + \zeta). \quad (2.13)$$

Čia $Z_{1\beta}$ - kompleksinė elektrinė varža randama iš (2.14) formulės, Ω .

$$Z_{1\beta} = \frac{e_1/2}{i_{1\beta}}. \quad (2.14)$$

Rezultuojantis momentas , veikiantis sustabdytą rotorių, yra lygus:

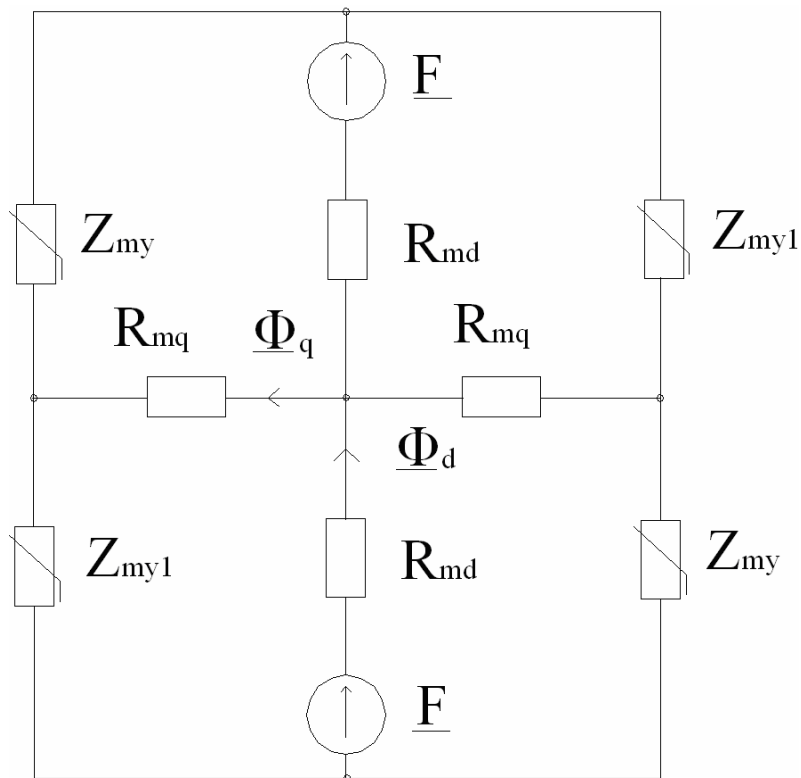
$$\begin{aligned} M &= M_1 - M_2 - M_3 = \\ &= \frac{\omega\Phi_{1m}\Phi_{2m}d}{4} \left[\frac{1}{Z_{1r}\alpha} \sin(\theta + \zeta) + \frac{\pi}{Z_{2k}\tau} \sin\beta \sin(\theta - \zeta) - \frac{1}{Z_{1\beta}\alpha} \sin(\theta + \zeta) \right]. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Pagal (2.15) formulę skirta skaičiuoti mažos galios asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu paleidimo momentą žinant jo matmenis, rotoriaus parametrus ir magnetinio srauto tankį oro tarpe. Taip pat šią formulę galime panaudoti pagrindinių variklio charakteristikų nustatymui. [10]

2.3 Atstojamoji asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu schema

Elektros mašinos ekvivalentinė elektrinė schema padeda nustatyti srovę, pareikalaujamą ir atiduodama galias, naudingumo koeficientą. Šios ekvivalentinės schemos pagalba galime pasakyti ar sukurtas magnetinis laukas yra apskritiminis ar elipsinis. Skaičiavimo tikslumą sąlygoja ekvivalentinės elektrinės schemos tikslumas, o šis priklauso nuo to kaip įvertinti grandinės netiesiškumai. Pasinaudodami topologiniu duališkumo metodu galima sudaryti ekvivalentinę elektrinę schemą bet kokiam elektromechaniniam įrenginiui.

2.6 paveiksle parodyta supaprastinta magnetinė atstojamoji asinchroninio elektros variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu schema. Joje įvertinti magnetiniai šuntai ir poliai, o rotorius be trumpai jungų vijų, bet pagamintas iš elektrotechninio plieno lakštų. Tokios schemos analizė parodo yra ar nėra sukamasis magnetinis laukas oro tarpe. Ekvivalentinės elektrinės schemos pagalba galime apskaičiuoti srovę per išilginę ir skersinę ašis. Pagal skaičiavimų rezultatus galime spręsti apie variklio paleidimo momentą.



2.6 pav. Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu atstojamoji magnetinė schema

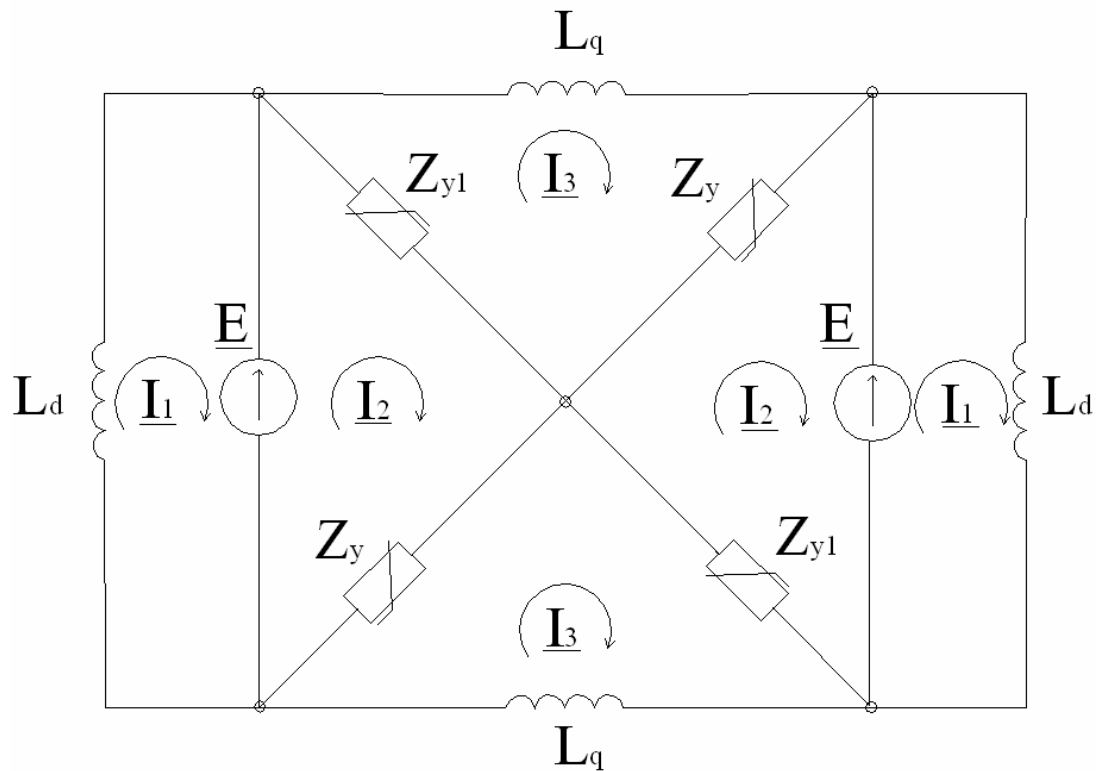
Čia: Z_{my} – kompleksinė magnetinė statoriaus plačiosios sienelės varža, (H^{-1});

Z_{my1} – kompleksinė magnetinė statoriaus siaurosios sienelės varža, (H^{-1});

R_{md} – magnetinė oro tarpo varža d ašyje, (H^{-1});

R_{mq} – magnetinė oro tarpo varža q ašyje, (H^{-1}).

Kiekvieną magnetinę ekvivalentinę schemą galima pakeisti į ekvivalentinę elektrinę (2.7 pav.). Skaičiuodami 2.7 schemą galime rasti išilginę ir skersinę sroves. Paveiksle parodyta atstojamoji elektrinė vienfazio mažos galios variklio su asimetriniu statoriaus magnetolaidžiu schema.



2.7 pav. Vienfazio asinchroninio variklio su nesimetriiniu statoriaus magnetolaidžiu atstojamoji elektrinė schema

$$I_d = I_1 = \frac{E}{Z_d}; \quad (2.16)$$

čia I_d - išilginė srovė, A;

E - evj, V;

Z_d - išilginė elektrinė varža, Ω .

$$\underline{I}_q = \underline{I}_3 = \frac{\underline{E}(\underline{Z}_{y1} - \underline{Z}_y)}{(\underline{Z}_y + \underline{Z}_{y1})(\underline{Z}_y + \underline{Z}_{y1} + \underline{Z}_q) - (\underline{Z}_y - \underline{Z}_{y1})^2}. \quad (2.17)$$

Kaip matome iš (2.17) formulės skersinė srovė priklauso nuo $\underline{Z}_{y1} - \underline{Z}_y$ varžų, o tuo pačiu ir nuo skirtingų magnetinių statoriaus didžiosios ir mažosios sienelių magnetinių varžų. Jei statoriaus sienelės yra vienodos tai ir skersinė srovė $I_q=0$, dėl ko mašinoje paleidimo momentas yra lygus 0.

Magnetinę statoriaus elemento varžą galime išreikšti taip:

$$\underline{Z}_m = \frac{H}{B} \cdot \frac{l}{S} (\cos \theta + j \sin \theta) \quad (2.18)$$

Arba

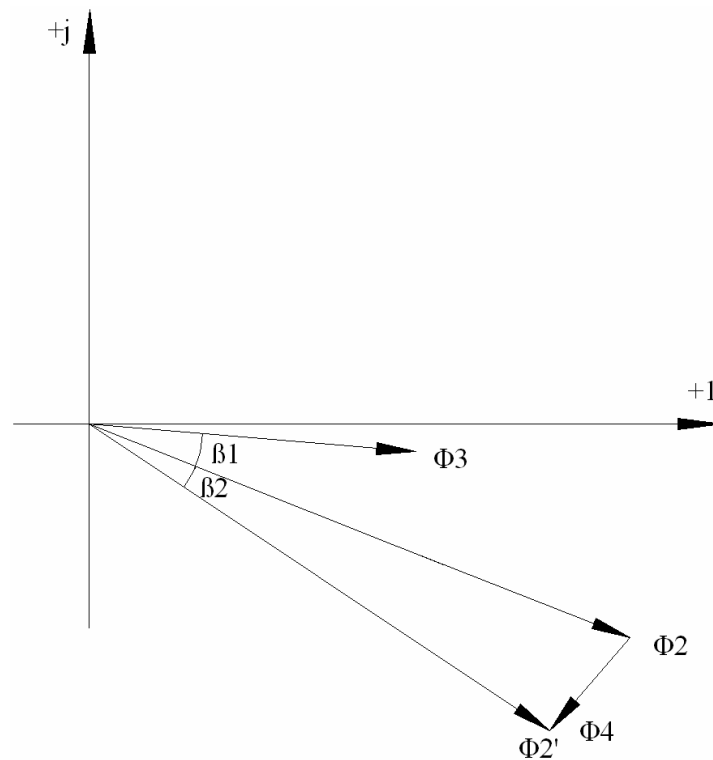
$$\underline{Z}_m = R_m + jX_m. \quad (2.19)$$

Magnetinėje atstojamojoje schemoje magnetinės varžos R_m ir X_m sujungtos nuosekliai, o ekvivalentinėje elektrinėje schemoje R ir X sujungtos lygiagrečiai. Todėl ekvivalentinė kompleksinė varža \underline{Z} yra lygi:

$$\underline{Z} = \frac{jRX}{R + jX}. \quad (2.20)$$

Dėl netiesiškos elektrotechninio plieno charakteristikos – magnetinė kompleksinė varža Z_m taip pat ir kompleksinė elektrinė varža \underline{Z} yra netiesinė. Todėl atstojamoji schema skaičiuojama priartėjimo metodu. [8]

Kaip matome iš 2.8 paveikslo magnetinis srautas Φ_3 užsidarantis per siaurąją nesimetrinio magnetolaidžio sienelę kurios magnetinio srauto tankis yra didesnis nei plačiosios statoriaus sienelės kuria užsidaro srautas Φ_2 . Todėl tarp šių srautų atsiranda fazinis skirtumas β_1 . Jei ant statoriaus plačiosios magnetolaidžio sienelės uždėsime trumpai jungtą viją tai joje srautas Φ_2 sukurs trumpai jungtos vijos magnetinį srautą Φ_4 . Rezultuojantis šių srautų vektorius yra Φ_2' . Kaip matome tarp magnetinių srautų Φ_3 ir Φ_2' fazinis kampas β_2 yra didesnis nei β_1 . Tokiu būdu padidina fazinį kampa tarp Φ_3 ir Φ_2 magnetinių srautų mes galėsime sumažinti sukamojo lauko elipsiškumą. Tai leis pagerinti variklio paleidimo charakteristikas.



2.8 pav. Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetinių srautų fazės prieš ir po trumpai jungtos vijos uždėjimo ant statoriaus magnetolaidžio plačiosios sienelės: Φ_3 – siaurosios magnetolaidžio sienelės magnetinis srautas; Φ_2 – plačiosios magnetolaidžio sienelės magnetinis srautas; Φ_2' – plačiosios magnetolaidžio sienelės magnetinis srautas uždėjus trumpai jungtą viją; β_1 – fazinis kampas tarp srautų Φ_3 ir Φ_2 prieš uždėdant trumpai jungtą viją ant plčiosios magnetolaidžio sienelės; β_2 – fazinis kampas tarp srautų Φ_3 ir Φ_2 po trumpai jungtos vijos uždėjimo ant plčiosios magnetolaidžio sienelės;

3 EKSPERIMENTINĖ DALIS

3.1 Tyrimo metodika

Eksperimentui atlikti buvo naudojamos priemonės:

Tiriamasis variklis – AD-10-2745 A 1 U4, 220 V, 50 Hz, 2550 aps/min.;

Oscilografas – Agilent 546 22 A;

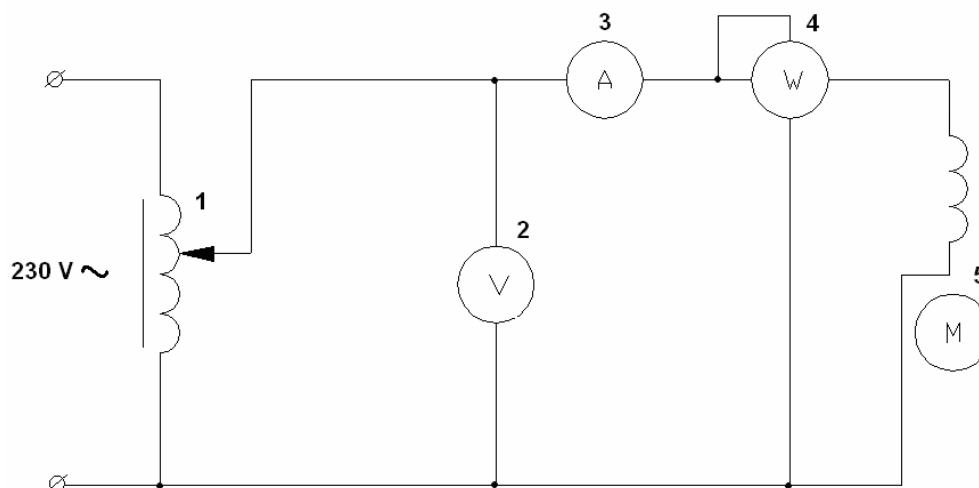
Įrenginys variklio paleidimo momentui matuoti;

Vatmetras;

Voltmetras;

Ampermetras;

Autotransformatorius.

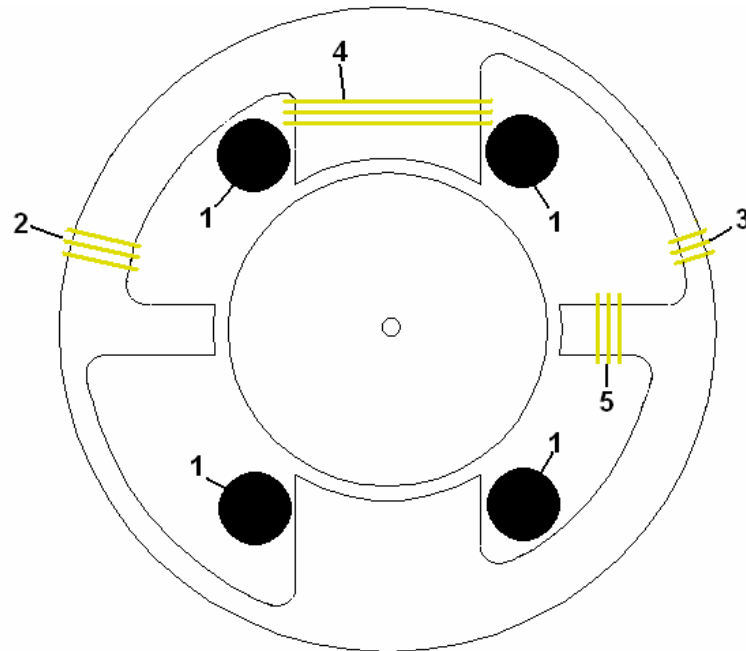


3.1 schema. Eksperimentui atlikti buvo sujungta schema

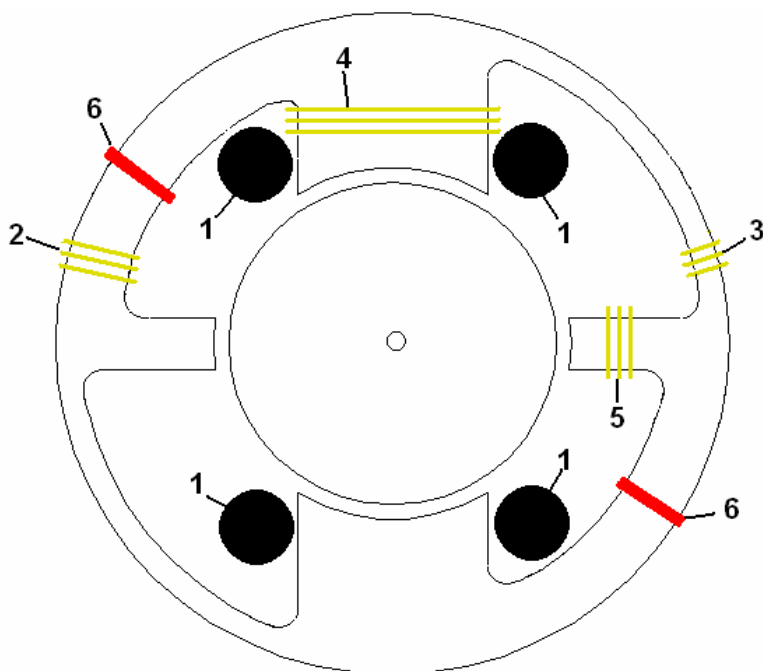
Variklio paleidimo momento tyrimui buvo sujungta 3.1 schema. Tam, kad galėtume atlikti bandymus esant skirtingoms įtampoms variklis buvo prijungtas prie autotransformatoriaus. Matavimams atlikti buvo naudojami matavimo prietaisai: voltmetras, ampermetras, vatmetras, oscilografas ir prietaisas variklio paleidimo momento mati.

Kadangi srautų tiesiogiai išmatuoti negalime, todėl ant variklio statoriaus poliaus, poliuko, siaurosios ir plačiosios sienelių buvo uždėtos matavimo vijos (3.2, 3.3, 3.4 pav.). Jose indukuotos elektrovaros buvo išmatuotos oscilografu.

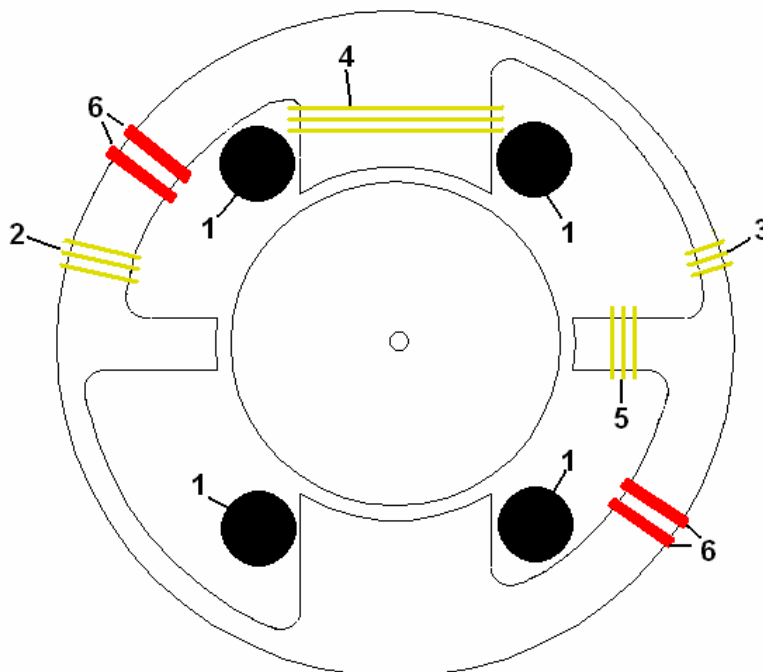
Matavimai buvo atlikti trimis etapais. Pirmame matavimų etape buvo išmatuoti standartinio variklio (3.2 pav.) paleidimo momentai. Buvo išmatuotos poliaus, poliuko, siaurosios ir plačiosios sienelių matavimo vijose indukuotos evj. Taip pat išmatuotos siaurosios ir plačiosios statoriaus magnetolaidžio sienelių matavimo vijose indukuotos evj esant skirtingoms įtampoms. Duomenys surašyti į 3.1 lentelę. Antrame matavimų etape ant variklio plačiųjų statoriaus sienelių buvo uždėta trumpai jungta vija (3.3 pav.). Vėl buvo išmatuotos poliaus, poliuko, siaurosios ir plačiosios statoriaus magnetolaidžio sienelių matavimo vijose indukuotos evj. Išmatuotos siaurosios ir plačiosios statoriaus sienelių matavimo vijose indukuotos evj esant skirtingoms įtampoms. Duomenys surašyti į 3.2 lentelę. Trečiame matavimų etape ant variklio plačiųjų statoriaus magnetolaidžio sienelių buvo uždėtos dvi trumpai jungtos vijos (3.4 pav.). Išmatuotos poliaus, poliuko, siaurosios ir plačiosios magnetolaidžio sienelių matavimo vijose indukuotos evj. Išmatuotos siaurosios ir plačiosios magnetolaidžio sienelių matavimo vijose indukuotos evj esant skirtingoms įtampoms. Duomenys surašyti į 3.3 lentelę.



3.2 pav. Standartinis vienfazis mažos galios asinchroninis elektros variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu. Čia 1 - žadinimo apvijos; 2 – matavimo vijos ant plačiosios statoriaus sienelės; 3 - matavimo vijos ant siaurosios statoriaus sienelės; 4 – matavimo vijos ant poliaus; 5 – matavimo vijos ant poliuko.



3.3 pav. Vienfazis mažos galios asinchroninis elektros variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu ir uždėtomis trumpai jungtomis vijomis ant plačiųjų statoriaus sienelių. Čia 1 - žadinimo apvijos; 2 - matavimo vijos ant plačiosios statoriaus sienelės; 3 - matavimo vijos ant siaurosios statoriaus sienelės; 4 - matavimo vijos ant poliaus; 5 - matavimo vijos ant poliuko; 6 - trumpai jungtos vijos ant plačiosios statoriaus sienelės.



3.4 pav. Vienfazis mažos galios asinchroninis elektros variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu ir uždėtomis dviem trumpai jungtomis vijomis ant plačiųjų statoriaus sienelių. Čia 1 - žadinimo apvijos; 2 - matavimo vijos ant plačiosios statoriaus sienelės; 3 - matavimo vijos ant siaurosios statoriaus sienelės; 4 - matavimo vijos ant poliaus; 5 - matavimo vijos ant poliuko; 6 - trumpai jungtos vijos ant plačiosios statoriaus sienelės.

3.2 Matavimų duomenys

Buvo atlikti poliaus, poliuko ir plačiosios bei siaurosios statoriaus sienelių evj indukuotos matavimo vijose matavimai. Taip pat buvo atlikti plačiosios ir siaurosios sienelių evj indukuotu matavimo vijose matavimai esant skirtingoms įtampoms. Prietaisų parodymai surašyti į lenteles.

3.1 Lentelė

Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms (be trumpai jungtų vijų)

Įtampa, V	Srovė, A	Galia, W	Momentas, N·m
220	0,7	104	0.016674
200	0,6	80	0.014173
180	0,52	59,6	0.010282
160	0,44	44	0.005558
140	0,35	29,2	0.001112

3.2 Lentelė

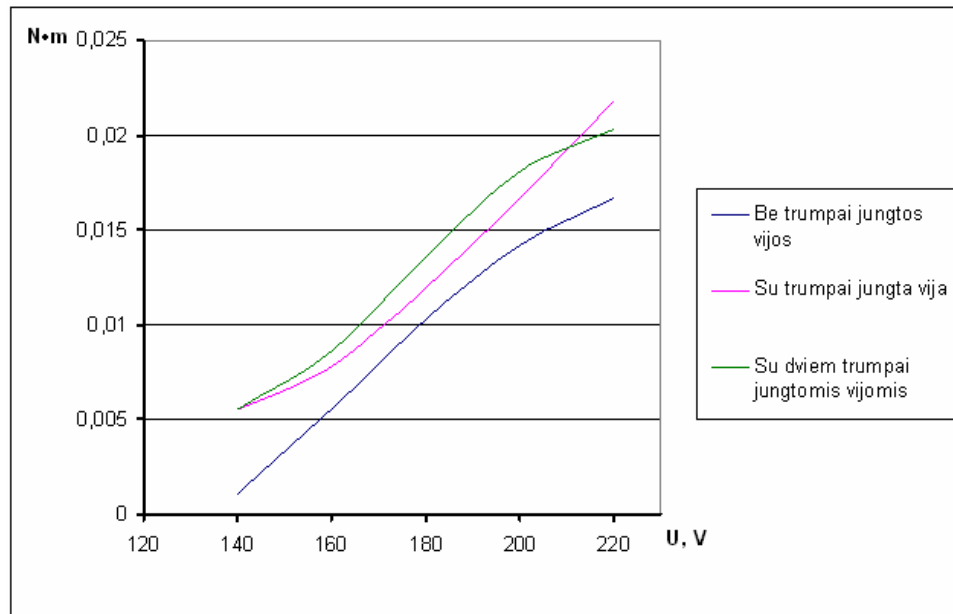
Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms
(kai ant statoriaus plačiųjų sienelių uždėta viena trumpai jungta vija)

Įtampa, V	Srovė, A	Galia, W	Momentas, N·m
220	0,7	106	0.021954
200	0,6	82	0.016674
180	0,52	60	0.01195
160	0,43	44	0.007781
140	0,35	32	0.005558

3.3 Lentelė

Variklio paleidimo momentas esant skirtingoms maitinimo įtampoms
(kai ant statoriaus plačiųjų sienelių uždėtos dvi trumpai jungtos vijos)

Įtampa, V	Srovė, A	Galia, W	Momentas, N·m
220	0,71	108	0.020287
200	0,6	84	0.018064
180	0,51	64	0.013617
160	0,43	48	0.008615
140	0,36	32	0.005558



3.5 pav. Paleidimo momento priklausomybės nuo įtampos

3.3 Nesinusinės evj skleidimas Furje eilute

Gautos elektrovaros nesinusinės. Tam, kad šias evj galėtume analizuoti išskleidžiame jas Furje eilute (3.1 formulė) harmonikomis. Naudosime grafo-analitinį metodą. Skleidžiame iki septintos harmonikos. Randame pradines harmonikų fazes ir amplitudes. Pagal gautus rezultatus nubrėžiame grafikus. Elektrovarų harmonikas perskaičiuojame į magnetinio srauto harmonikas (9-12 formulės). Pagal gautus rezultatus nubrėžiame grafikus. Kadangi magnetinio srauto trečios harmonikos amplitudė sudaro 7,6% pirmos magnetinio srauto harmonikos amplitudės, o magnetinio srauto penktos harmonikos amplitudė sudaro tik 2,2 % pirmos magnetinio srauto harmonikos amplitudės ir turi labai mažą įtaką, todėl skaičiavimuose mes įvertinsime tik pirmas ir trečias harmonikas.

Nesinusinių įtampų harmonikų amplitudėms ir fazėms apskaičiuoti naudojama Furjė eilutė:

$$e(\omega t) = E_0 + E_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + E_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + E_k \sin(k\omega t + \varphi_k) + \dots \quad (3.1)$$

čia w – kampinis dažnis rad/s;

t – laikas, s;

E_k – k-tosios harmonikos amplitudė, V;

φ_k – k-tosios harmonikos fazė;

E_0 – nuolatinė įtampos dedamoji, V.

Funkcijos $f(x)$ periodą, lygų 2π , padaliname į vienodus n intervalus $\Delta x = \frac{2\pi}{n}$. Kadangi visos išmatuotos nesinusinės evj yra simetrinės x ašies atžvilgiu, todėl pastovi dedamoji mūsų atveju yra lygi 0.

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x). \quad (3.2)$$

Čia A_0 – pastovi dedamoji;

p – indeksas įgyjantis reikšmes nuo 1 iki n ;

$f_p(x)$ – funkcijos $f(x)$ reikšmė kai $x = (p - 0,5)\Delta x$ t. y. p -tojo intervalo viduryje.

Sinusinės k-tosios harmonikos amplitudė:

$$B_k = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x) \sin_p kx. \quad (3.3)$$

Kosinusinės k-tosios harmonikos amplitudė:

$$A_k = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x) \cos_p kx. \quad (3.4)$$

Čia: $\sin_p kx$ ir $\cos_p kx$ - atitinkamai funkcijų $\sin kx$ ir $\cos kx$ reikšmės kai $x = (p-0,5)\Delta x$ t. y. p-tojo intervalo viduryje.

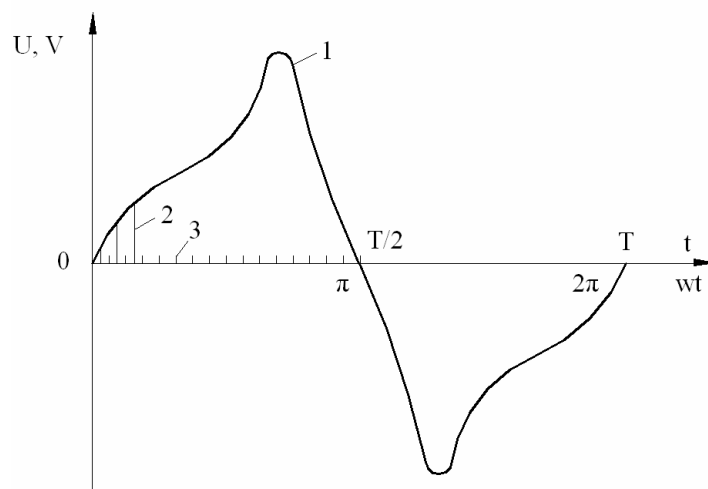
Mūsų atveju buvo paimti 500 matavimo taškų.

$$E_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}. \quad (3.5)$$

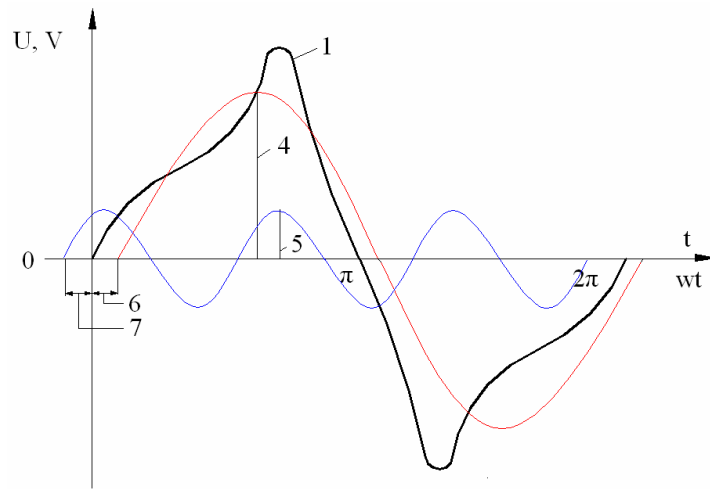
Čia E_k - k-tosios harmonikos amplitudė.

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{B_k}{A_k}\right). \quad (3.6)$$

Čia φ_k - pradinė fazė.



3.6 pav. Grafinis metodas skleidžiant nesinusinį dydį Furje eilute: 1- nesinusinis dydis; 3 – p indeksas; 2 – funkcijos $f_p(x)$ reikšmė taške $x = (p-0,5)\Delta x$



3.7 pav. Signalas išskaidytas harmonikomis: 1 – harmonikų atstojamoji; 4 – pirmos harmonikos amplitudė; 5 – trečios harmonikos amplitudė; 6 – pirmos harmonikos pradinė fazė; 7 – trečios harmonikos pradinė fazė

Kiekvienai e_{vj} harmonikai parašome funkciją:

$$e_1(\omega t) = E_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1);$$

$$e_3(3\omega t) = E_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3);$$

.....

$$e_k(k\omega t) = E_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k).$$

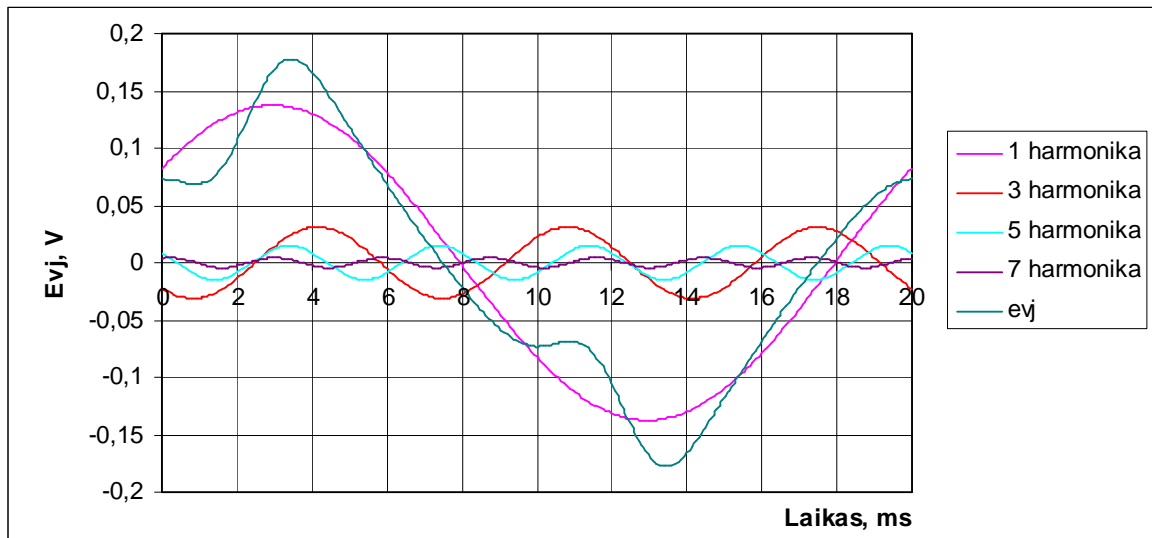
(3.7)[1]

3.3.1 Statoriaus magnetolaidžio matavimo vijose indukuotų e_{vj} ir magnetinių srautų skleidimas harmonikomis

1. Plačios statoriaus sienelės matavimo vijose indukuotos e_{vj} harmonikos:

$$e(\omega t) = 0.137 \sin(\omega t + 36.98^\circ) + 0.031 \sin(3\omega t - 134.26^\circ) + 0.015 \sin(5\omega t + 144.16^\circ) + 0.004 \sin(7\omega t + 68.17^\circ) + \dots \quad (3.8)$$

Nubrėžiame grafiką (3.8 pav.).



3.8 pav. Plačiosios sienelės matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V)

2. Plačios statoriaus sienelės matavimo vijose indukuotas evj harmonikas perskaičiuojame į magnetinio srauto harmonikas:

$$e_k = 4,44kfN\Phi_{km}; \quad (4.15)$$

$$\Phi_{km} = \frac{e_k}{4,44 \cdot kf \cdot N}. \quad (4.16)$$

čia e_k – k-tosios harmonikos įtampos efektinė vertė, V;

f - pagrindinės harmonikos dažnis, Hz;

N – vijų skaičius;

k – harmonikos eilė;

Φ_{km} – k-tosios harmonikos magnetinio srauto amplitudė, Wb.

Kiekvienai magnetinio srauto harmonikai parašome funkciją:

$$\Phi_1(\omega t) = \Phi_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1 + 90^\circ);$$

$$\Phi_3(3\omega t) = \Phi_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3 + 90^\circ);$$

.....

$$\Phi_k(k\omega t) = \Phi_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 90^\circ).$$

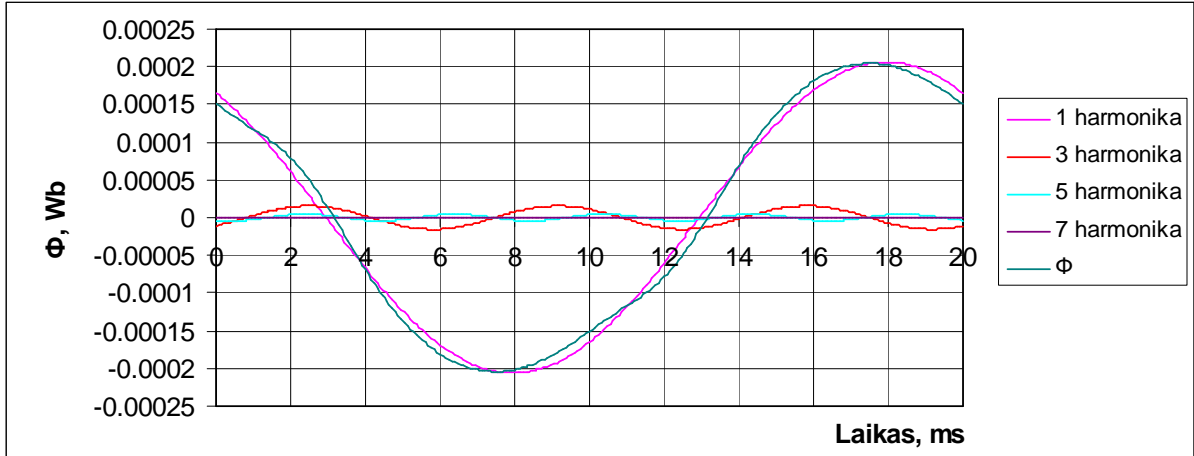
(3.9)

Evj harmonikas perskaičiuojame į magnetinių srautų harmonikas:

$$\Phi(\omega t) = 0.0002062 \sin(\omega t + 36.98^\circ + 90^\circ) + 0.0000156 \sin(3\omega t - 134.26^\circ + 90^\circ) + \dots \quad (3.10)$$

$$+ 0.0000045 \sin(5\omega t + 144.16^\circ + 90^\circ) + 0.0000009 \sin(7\omega t + 68.17^\circ + 90^\circ) + \dots$$

Nubrėžiame grafiką (3.9 pav.):



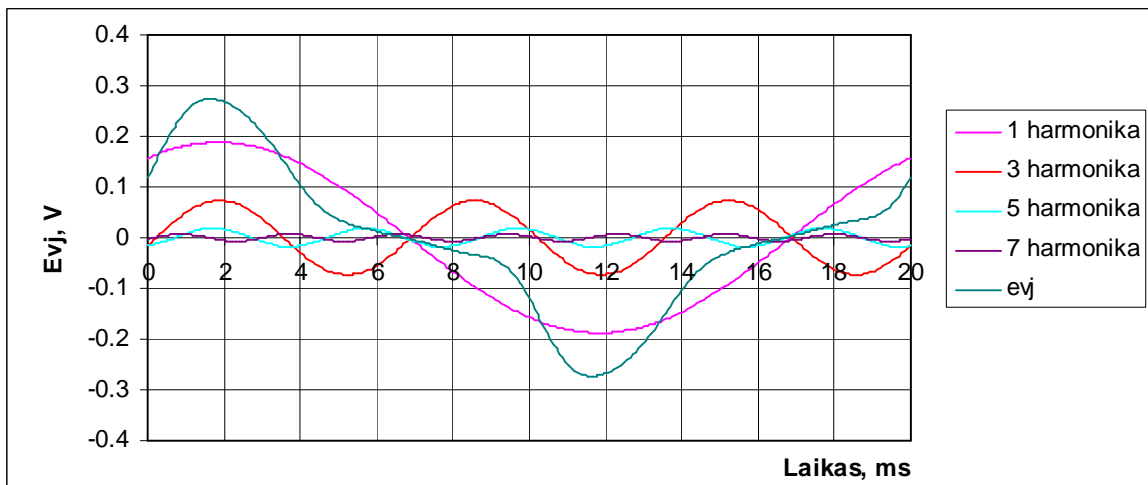
3.9 pav. Magnetinis srautas plačioje sienelėje išskaidytas harmonikomis (įtampa 220 V)

3. Siauros statoriaus sienelės matavimo vijose indukuotos evj harmonikos:

$$e(\omega t) = 0.188 \sin(\omega t + 56.68^\circ) + 0.073 \sin(3\omega t - 12.26^\circ) + 0.018 \sin(5\omega t - 64.05^\circ) + \dots \quad (3.11)$$

$$+ 0.007 \sin(7\omega t - 19.38^\circ) + \dots$$

Nubrėžiame grafiką (3.10 pav.):

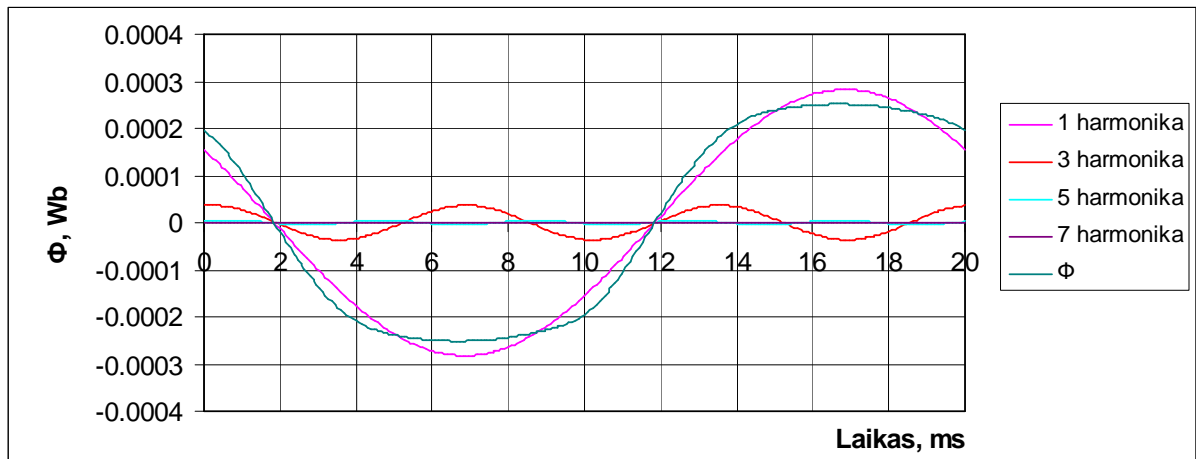


3.10 pav. Siauros sienelės matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V)

4. Siauros statoriaus sienelės matavimo vijose indukuotas evj harmonikas perskaičiuojame į magnetinio srauto harmonikas:

$$\begin{aligned} \Phi(\omega t) = & 0.0002822 \sin(\omega t + 146.68^\circ) + 0.0000367 \sin(3\omega t + 77.74^\circ) + \\ & + 0.0000056 \sin(5\omega t + 25.95^\circ) + +0.0000015 \sin(7\omega t + 70.62^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (3.12)$$

Nubrėžiame grafiką (3.11 pav.):

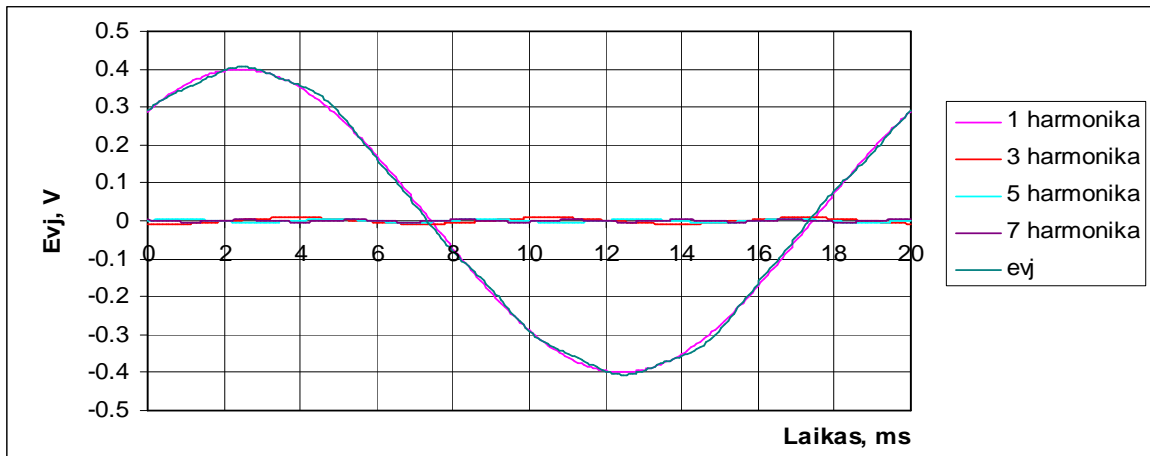


3.11 pav. Siauros sienelės magnetinio srauto harmonikos (įtampa 220 V)

5. Poliaus matavimo vijose indukuotos evj harmonikos:

$$\begin{aligned} e(\omega t) = & 0.399 \sin(\omega t + 46.39^\circ) + 0.008 \sin(3\omega t + 240.68^\circ) + 0.004 \sin(5\omega t + 17.32^\circ) + \\ & + 0.003 \sin(7\omega t + 127.16^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (3.13)$$

Pagal gautas funkcijas nubrėžiame grafiką (3.12 pav.):

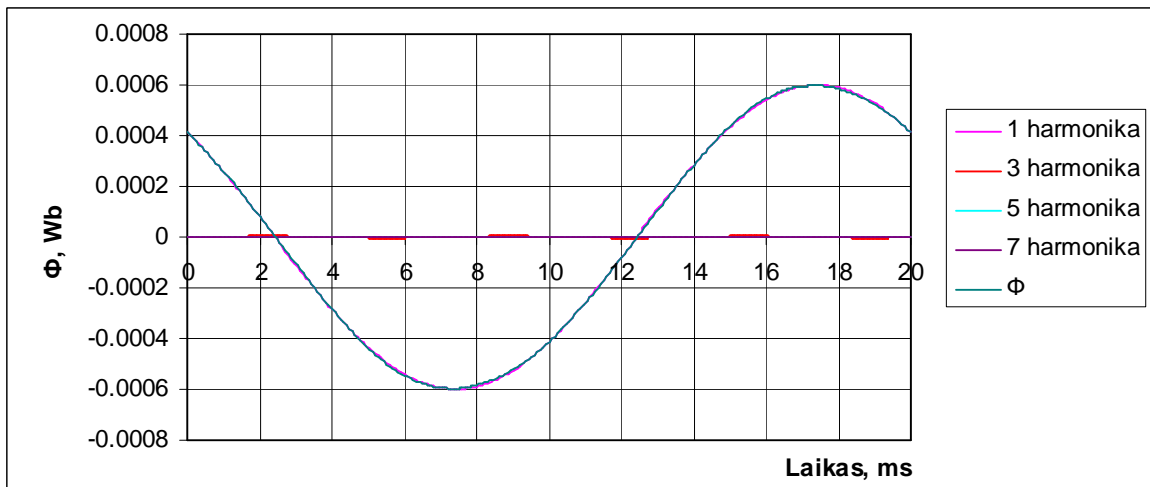


3.12 pav. Poliaus matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V)

6. Poliaus matavimo vijose indukuotas evj harmonikas perskaičiuojame į magnetinio srauto harmonikas:

$$\begin{aligned} \Phi(\omega t) = & 0.0005989 \sin(\omega t + 136.39^\circ) + 0.0000042 \sin(3\omega t + 330.68^\circ) + \\ & + 0.0000013 \sin(5\omega t + 107.32^\circ) + +0.0000006 \sin(7\omega t + 217.16^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (3.14)$$

Nubrėžiame grafiką (3.13 pav.):

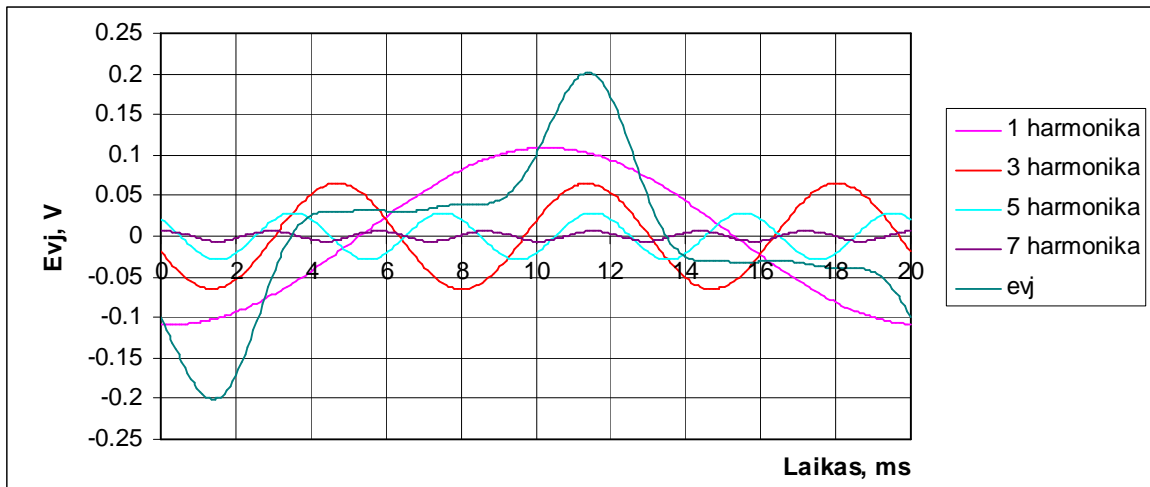


3.13 pav. Poliaus magnetinio srauto harmonikos

7. Poliuko matavimo vijose indukuotos evj harmonikos:

$$\begin{aligned} e(\omega t) = & 0.109 \sin(\omega t + 264.66^\circ) + 0.065 \sin(3\omega t + 196.28^\circ) + 0.029 \sin(5\omega t + 133.44^\circ) + \\ & + 0.006 \sin(7\omega t + 78.6^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (3.15)$$

Nubrėžiame grafiką (3.14 pav.):

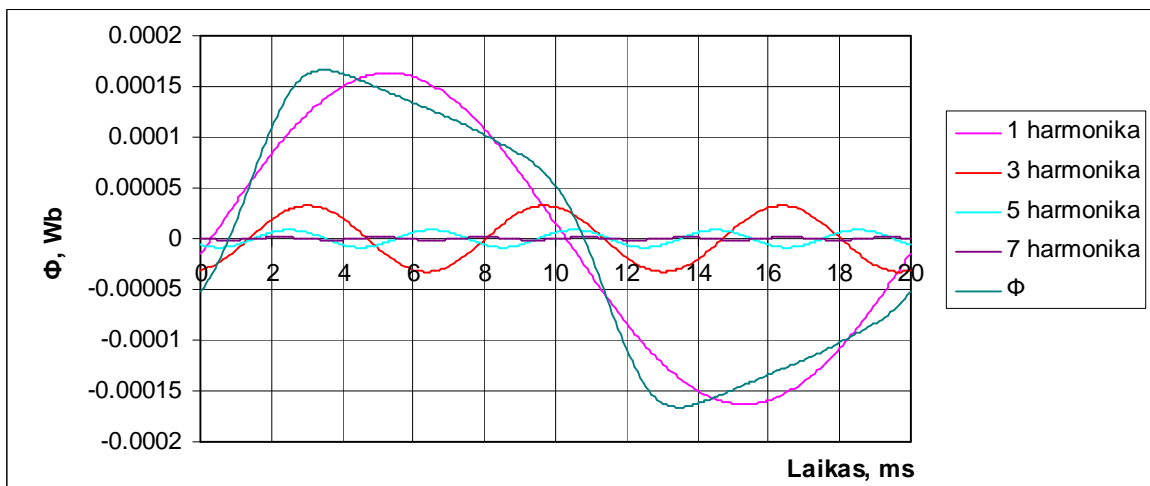


3.14 Poliuko matavimo vijose indukuotos evj harmonikos (įtampa 220 V)

8. Poliuko matavimo vijose indukuotas evj harmonikas perskaičiuojame į magnetinio srauto harmonikas:

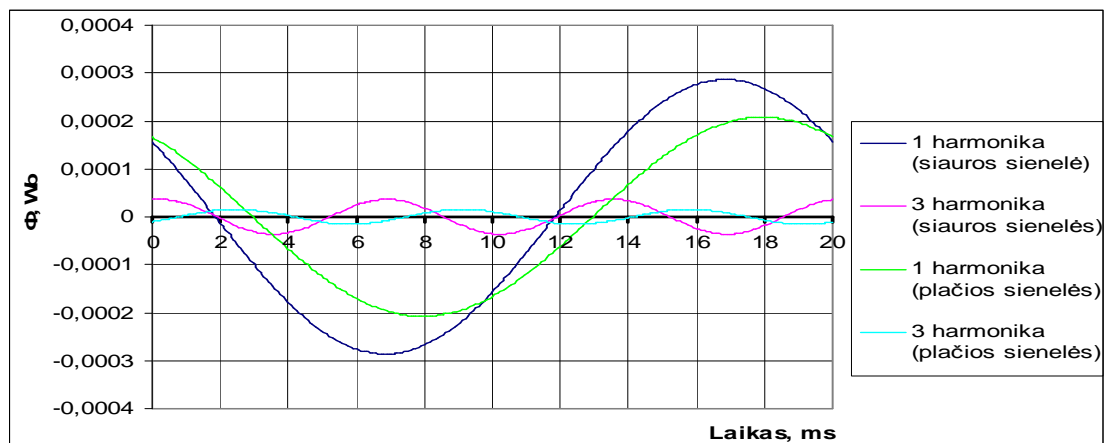
$$\begin{aligned} \Phi(\omega t) = & 0.0001633 \sin(\omega t + 354.66^\circ) + 0.0000326 \sin(3\omega t + 286.28^\circ) + \\ & + 0.0000087 \sin(5\omega t + 223.44^\circ) + +0.0000014 \sin(7\omega t + 168.6^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (3.16)$$

Nubrėžiame grafiką (3.15 pav.):



3.15 pav. Poliuko magnetinio srauto harmonikos

3.3.2 Magnetiniai srautai užsidarantys per statoriaus magnetolaidžio siaurą ir plačią sienelės esant skirtingoms įtampoms.

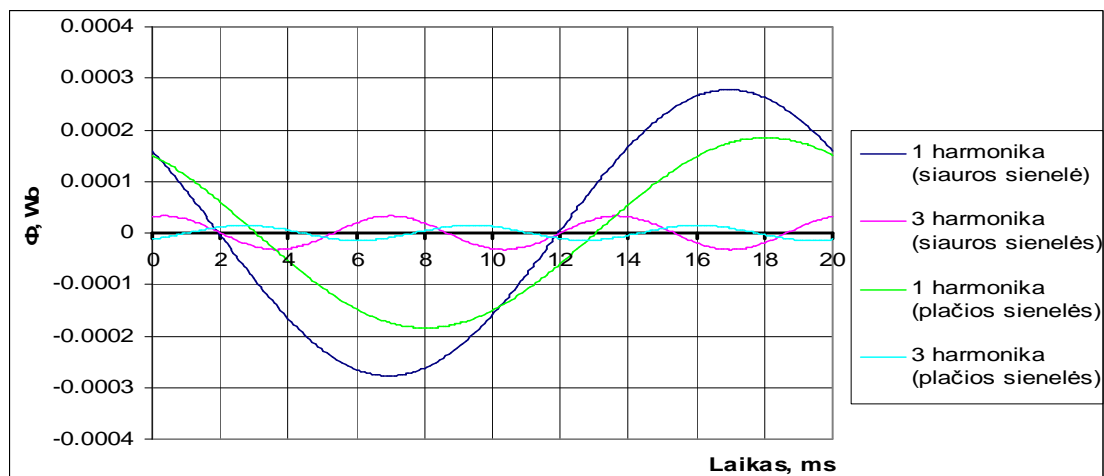


3.16 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos (įtampa 220 V)

3.4 lentelė

Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės

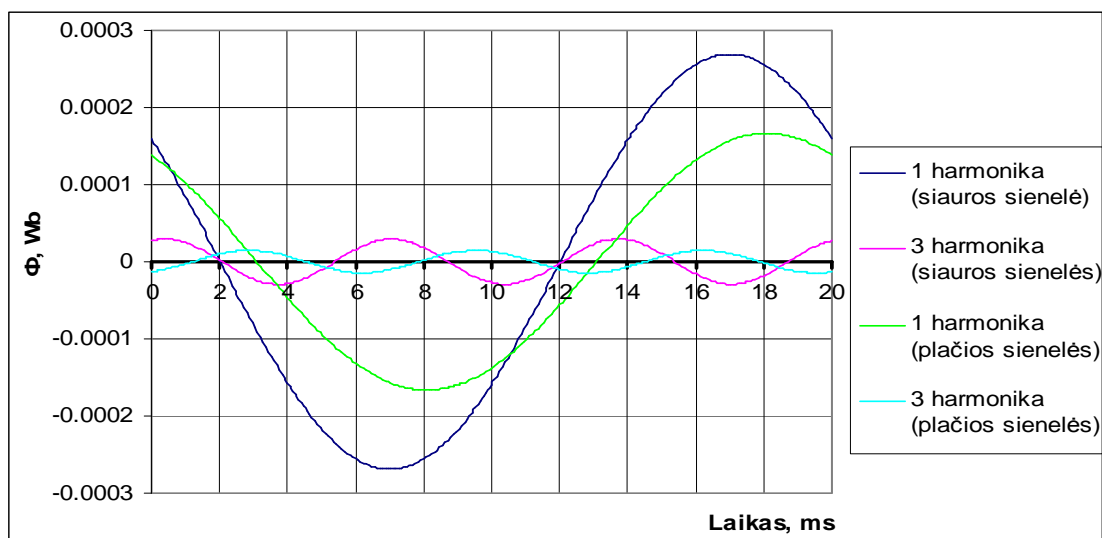
Plačioji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00021	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	126.89	-43.82
Siauroji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00029	$3.6 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	146.69	77.64
Fazių skirtumas	-19.80	-121.46



3.17 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos (įtampa 200 V)

Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės

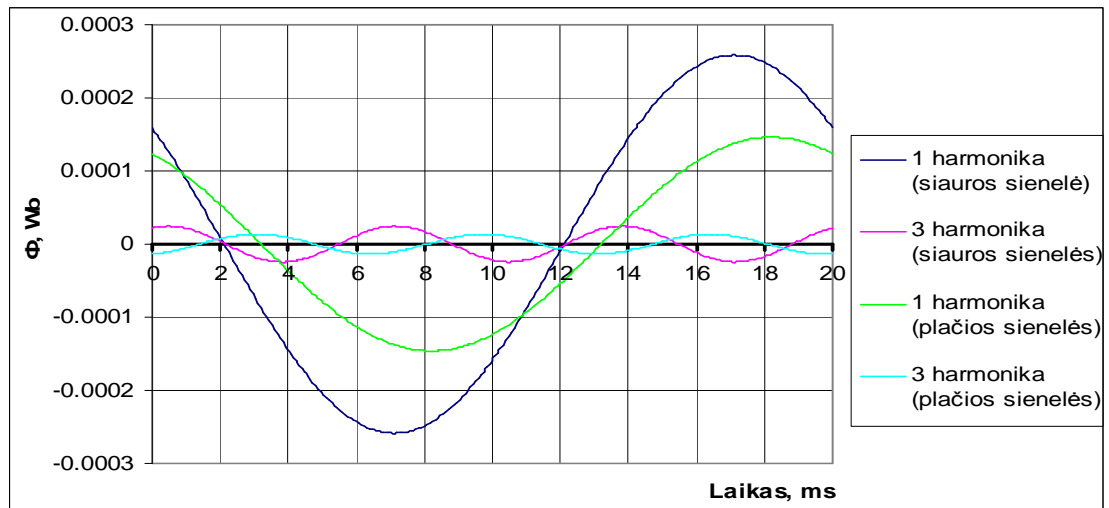
Plačioji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00018	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	125.20	-57.02
Siauroji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00028	$3.3 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	144.90	71.94
Fazių skirtumas	-19.70	-128.96



3. 18 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos (įtampa 180 V)

Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės

Plačioji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00017	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	124.30	-65.01
Siauroji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00027	$2.9 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	143.73	68.60
Fazių skirtumas	-19.43	-133.61

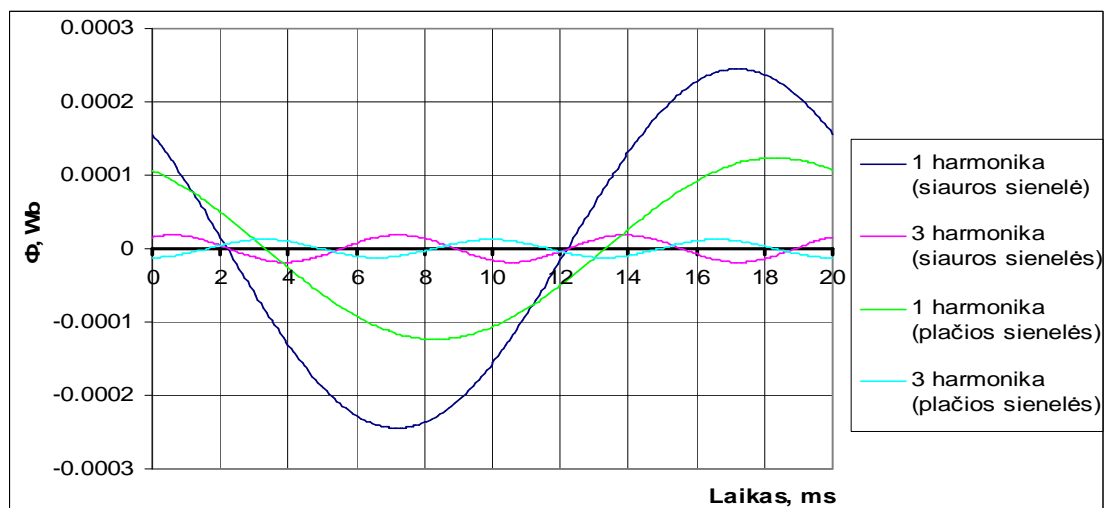


3.19 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos (įtampa 160 V)

3.7 lentelė

Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės

Plačioji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00015	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	122.49	-76.38
Siauroji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00026	$2.4 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	142.07	63.76
Fazių skirtumas	-19.58	-140.15



3.20 pav. Plačios ir siauros sienelės magnetinio srauto pirmoji ir trečioji harmonikos (įtampa 140 V)

Plačios sienelės magnetinio srauto pirmos ir trečios harmonikų pradinės fazės ir amplitudės

Plačioji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00012	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	120.28	-87.26
Siauroji sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb	0.00024	$1.9 \cdot 10^{-5}$
Pradinės fazės	140.33	59.02
Fazių skirtumas	-20.05	-146.27

Čia pateiktos standartinio elektros variklio magnetinių srautų užsidarančių nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu harmonikos. Matavimų duomenys atliekant variklio bandymus su uždėta ant statoriaus magnetolaidžio plačiosios sienelės trumpai jungta vija pateikti priede. Matavimo vijose indukuotos evj 1 priede, o evj perskaičiuotos į srautus 2 priede. Kadangi mus domina tik pirmų ir trečių harmonikų fazės ir amplitudės todėl šios pagrindinės magnetinių srautų harmonikų charakteristikos pateiktos (3.9) ir (3.13) lentelėse.

3.4 Apibendrinti matavimų duomenys

3.9 lentelė

Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 220 V)

Plačioji statoriaus sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00021	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00019	$1.7 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00019	$1.6 \cdot 10^{-5}$
Siauroji statoriaus sienelė		
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00029	$3.6 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00028	$3.6 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00028	$3.5 \cdot 10^{-5}$
Fazių skirtumas (be trumpai jungtos vijos)	-19.80	-121.46
Fazių skirtumas (su trumpai jungta vija)	-25.83	-127.94
Fazių skirtumas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	-29.88	-145.01

3.10 lentelė

Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 200 V)

Plačioji statoriaus sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00018	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00018	$1.6 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00017	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Siauroji statoriaus sienelė		
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00028	$3.3 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00027	$3.3 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00027	$3.1 \cdot 10^{-5}$
Fazių skirtumas (be trumpai jungtos vijos)	-19.70	-128.96
Fazių skirtumas (su trumpai jungta vija)	-25.75	-136.40
Fazių skirtumas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	-29.89	-149.28

Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 180 V)

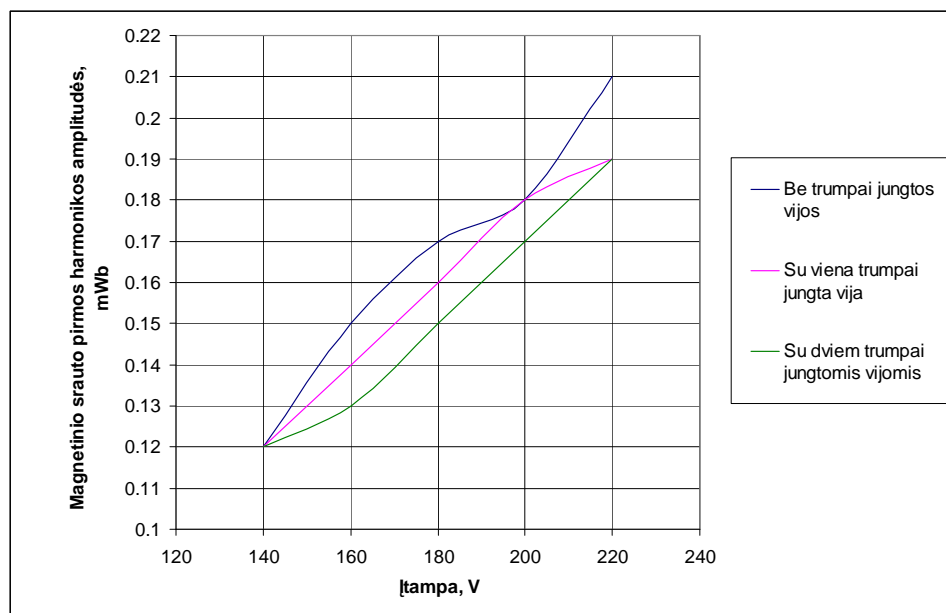
Plačioji statoriaus sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00017	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00016	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00015	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Siauroji statoriaus sienelė		
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00027	$2.9 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00027	$2.9 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00026	$2.8 \cdot 10^{-5}$
Fazių skirtumas (be trumpai jungtos vijos)	-19.43	-133.61
Fazių skirtumas (su trumpai jungta vija)	-25.68	-139.22
Fazių skirtumas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	-29.92	-153.86

Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 160 V)

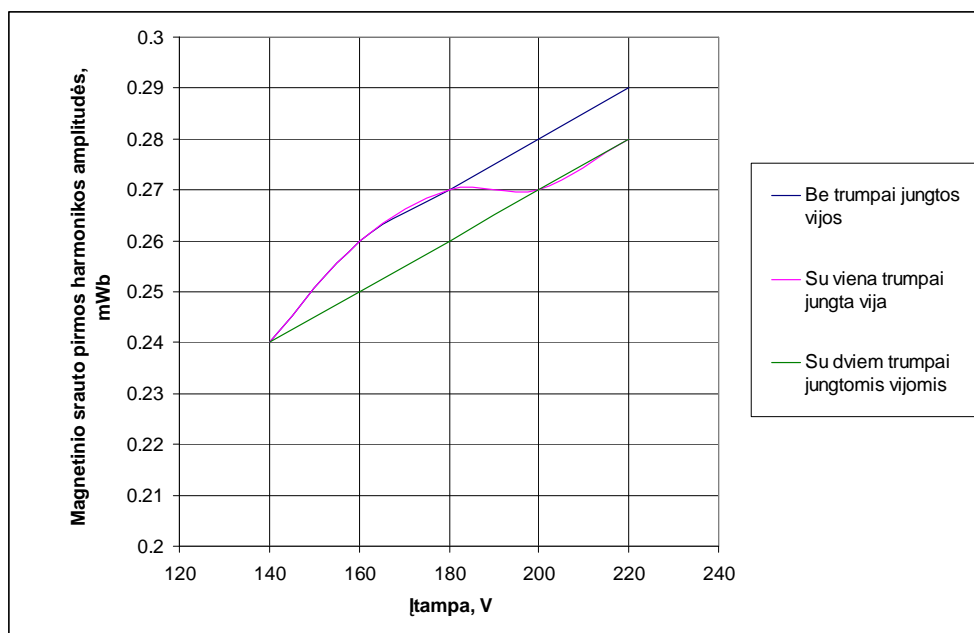
Plačioji statoriaus sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00015	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00014	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00013	$1.3 \cdot 10^{-5}$
Siauroji statoriaus sienelė		
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00026	$2.4 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00026	$2.4 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00025	$2.4 \cdot 10^{-5}$
Fazių skirtumas (be trumpai jungtos vijos)	-19.58	-140.15
Fazių skirtumas (su trumpai jungta vija)	-26.03	-145.36
Fazių skirtumas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	-29.83	-158.62

Siauros ir plačios statoriaus magnetolaidžio sienelių magnetinių srautų amplitudės ir fazių skirtumai (įtampa 140 V)

Plačioji statoriaus sienelė		
Harmonikos	1	3
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00012	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00012	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00012	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Siauroji statoriaus sienelė		
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (be trumpai jungtos vijos)	0.00024	$1.9 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su trumpai jungta vija)	0.00024	$1.9 \cdot 10^{-5}$
Magnetinio srauto amplitudės, Wb (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	0.00024	$1.9 \cdot 10^{-5}$
Fazių skirtumas (be trumpai jungtos vijos)	-20.05	-146.27
Fazių skirtumas (su trumpai jungta vija)	-26.01	-150.87
Fazių skirtumas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)	-30.18	-163.73



3.21 pav. Plačios statoriaus sienelės magnetinio srauto pirmos harmonikos amplitudės priklausomybė nuo įtamos



3.22 pav. Siauros statoriaus sienelės magnetinio srauto pirmos harmonikos amplitudės priklausomybė nuo įtampos

Atlikę standartinio asinchroninio variklio ir variklio ant kurio nesimetrinio magnetolaidžio plačiųjų sienelių buvo uždėtos trumpai jungtos vijos paleidimo momento matavimus matome, kad didžiausias paleidimo momentas buvo pasiektas esant standartinei maitinimo įtampai (220 V) ir uždėjus po vieną trumpai jungtą viją ant statoriaus magnetolaidžio plačiųjų sienelių (3.5 pav.). Šiuo atveju paleidimo momentas išaugo nuo 0,017 N·m iki 0,022 N·m t. y. padidėjo 31% kai suvartojama galia padidėjo nuo 104 W iki 106 W t. y. apie 2%.

Atlikus matavimus su dviem trumpai jungtomis vijomis uždėtomis ant magnetolaidžio plačiųjų sienelių gavome nevienareikšmius duomenis. Kai variklio maitinimo įtampa yra tarp 160 V ir 200 V gautas paleidimo momento padidėjimą lyginant su bandymu kai ant statoriaus plačiųjų sienelių buvo uždėta tik po vieną viją. Tačiau esant vardinei variklio įtampai paleidimo momentas buvo didesnis nei standartinio variklio tačiau mažesnis nei tuo atveju kai variklis buvo bandomas ant statoriaus plačiųjų sienelių uždėjus tik po vieną viją. Iš to matome, kad norint gauti maksimalų variklio paleidimo momentą reikia parinkti optimalios varžos trumpai jungtą viją.

Išmatavę indukuotos evj harmonikas matavimo vijose ir jas perskaičiavę į magnetinių srautų harmonikas gautus rezultatus surašėme į (3.9 – 3.13) lenteles. Analizuojant srautus mus labiausiai domina kaip keičiasi harmonikų pradinės fazės ir amplitudės. Lentelėse lygiagrečiai pateiktos siaurosios ir plačiosios magnetolaidžio sienelių pirmų ir trečių harmonikų charakteristikos. Buvo nubrėžtos harmonikų amplitudžių priklausomybės esant skirtingoms maitinimo įtampoms (3.21 pav.) ir (3.22 pav.). Apibendrinami gautus duomenis matome, kad trumpai jungtų vijų uždėjimas ant magnetolaidžio plačiųjų sienelių padidino fazinius kampus tiek tarp pirmų tiek tarp trečių

harmonikų. Uždėjus ant statoriaus plačiųjų sienelių po dvi trumpai jungtas vijas šis kampas padidėjo dar labiau. Harmonikų amplitudėms tai turėjo labai mažą įtaką. Turėdami aukščiau pateiktų momento matavimo rezultatų (3.5 pav.) galime teigti, kad šis fazių skirtumo padidėjimas padidino variklio paleidimo momentą.

IŠVADOS

Darbo metu buvo tyrinėtas mažos galios asinchroninis variklis su nesimetriniu statoriaus magnetolaidžiu. Tyrimo tikslas buvo išsiaiškinti šio variklių tipo paleidimo momento padidinimo galimybes.

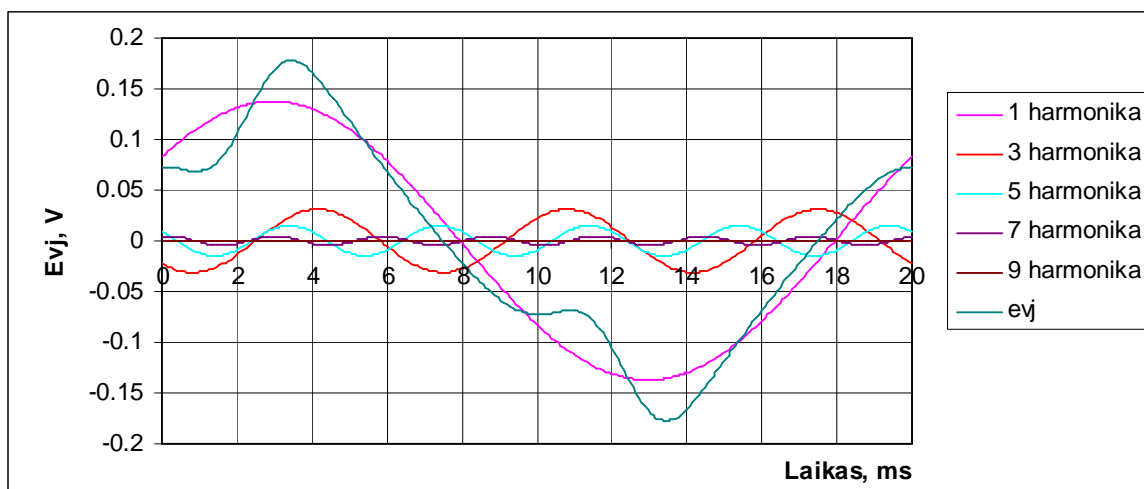
Įvertinant gautus rezultatus galime teigti kad:

1. Ant nesimetrinio statoriaus plačiosios sienelės uždėtos trumpai jungtos vijos daro įtaką magnetolaidžiu užsidarančiam magnetiniam srautui.
2. Ant nesimetrinio statoriaus plačiosios sienelės uždėtos trumpai jungtos vijos daro įtaką magnetinių srautų pirmosioms ir trečiosioms harmonikoms. Fazių skirtumas tarp siaurosios ir plačiosios sienelių magnetinių srautų didėja.
3. Statoriaus magnetolaidžio siaurosios sienelės magnetinio srauto trečios harmonikos amplitudė sudaro apie 7% pirmos magnetinio srauto harmonikos amplitudės, o magnetinio srauto penktos harmonikos amplitudė sudaro tik apie 2 % pirmos harmonikos ir turi labai mažą įtaką, todėl buvo analizuojama tik pirmų harmonikų įtaka paleidimo momentui.
4. Dėl didesnio pirmųjų harmonikų fazių skirtumo variklio paleidimo momentas padidėjo.
5. Ant nesimetrinio statoriaus plačiosios sienelės uždėtos trumpai jungtos vijos harmonikų amplitudėms turi labai mažą įtaką.
6. Ant nesimetrinio statoriaus plačiosios sienelės uždėtos trumpai jungtos vijos padidino variklio paleidimo momentą tačiau padidino ir variklio vartojamą galią. Didžiausias paleidimo momentas buvo gautas uždėjus vieną trumpai jungtą viją ant statoriaus magnetolaidžio plačių sienelių. Šiuo atveju paleidimo momentas išaugo nuo 0.017 N·m iki 0,022 N·m t. y. padidėjo 31% kai suvartojama galia padidėjo nuo 104 W iki 106 W t. y. apie 2%.
7. Norint gauti maksimalų paleidimo momenta reikia parinkti optimalios varžos trumpai jungtą viją.
8. Reikalingi tolimesni tyrimai esant normalioms variklio darbo sąlygoms.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Smilgevičius A. Automatikos mikromašinos. Vilnius, 2005. 344p. ISBN 9986-05-846-5
2. Kauno politechnikos instituto XVI mokslinės techninės konferencijos pranešimų medžiaga. Vilnius, 1968, p. 72-76
3. Patent USA Ser. No. 707,149. Single-phase miniature salint pole asynchronous motor. Pavel Ivanovich Kostrauskas; Rimantas – Jonas Domininkovich Mukulis; Teodoras Teodorovich Shimkevichjus. 1968
4. Бессонов А. Теоретические основы электротехники. Москва 1978 с. 528
5. Костраускас П. Однофазные явнополюсные асинхронные двигатели. Каунас, 1995. 124с. ISBN 9986-13-285-1
6. Костраускас П. Начальный пусковой момент однофазного асинхронного микродвигателя АДА/П.Костраускас, Э. Григайтис, Р. Мукулис//Elektrotechnika ir automatika VI. 1970, p. 103-120
7. Костраускас П. Пусковой момент и магнитная схема замещения асинхронного микродвигателя с асимметричным магнитопроводом статора/ П.Костраускас, Р. Мукулис, Т. Шимкевичюс//Elektrotechnika ir automatika III. 1967, p. 87-96
8. Шимкевичюс Т. Составление эквивалентных электрических схем замещения электромагнитных устройств//Pramonės įmonių elektros įrenginiai. 1980, p. 144-153
9. Юферов Ф. М. Электрические машины автоматических устройств. Москва 1976, с. 416
10. Яницкис А. Расчет начального пускового момента двигателя АДА//Elektrotechnika ir automatika VII. 1971, p. 86-92

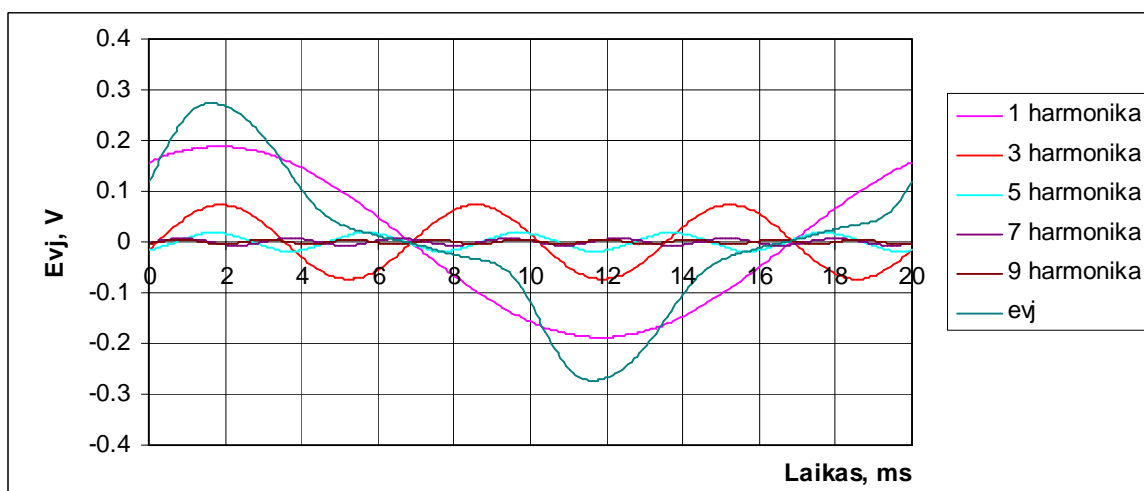
PRIEDAI



Plačiosios sienelės evj

Plačiosios sienelės evj amplitudės ir pradinės fazės

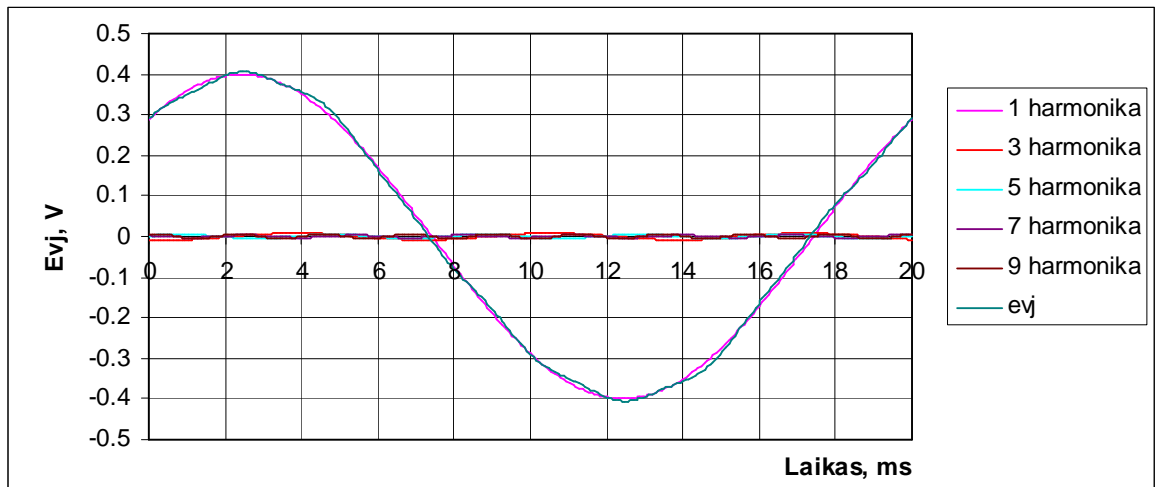
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudės, V	0.137	0.031	0.015	0.004
Pradinės fazės	36.98	-134.26	144.16	68.17



Siaurosios sienelės evj

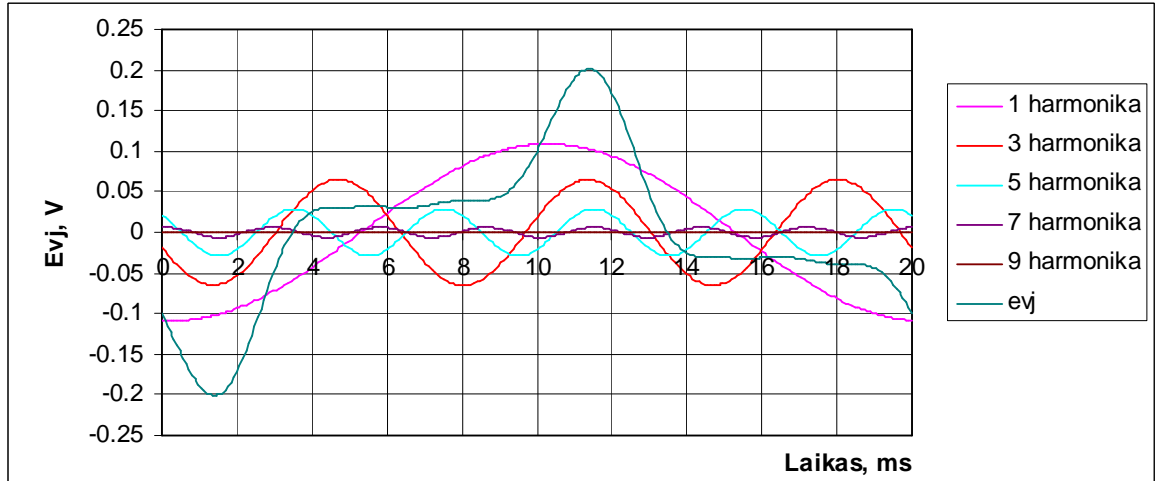
Siaurosios sienelės evj amplitudės ir pradinės fazės

Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudės, V	0.188	0.073	0.018	0.007
Pradinės fazės	56.68	-12.26	-64.05	-19.38



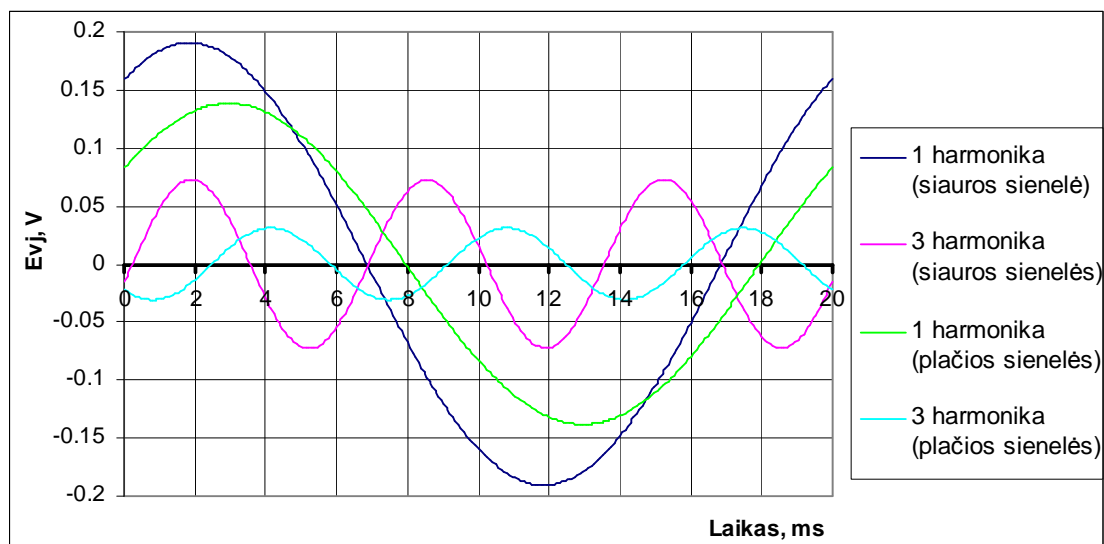
Poliaus evj amplitudēs ir pradinēs fazēs

Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudēs, V	0.399	0.008	0.004	0.003
Pradinēs fazēs	46.39	240.68	17.32	127.16



Poliuko evj amplitudēs ir pradinēs fazēs

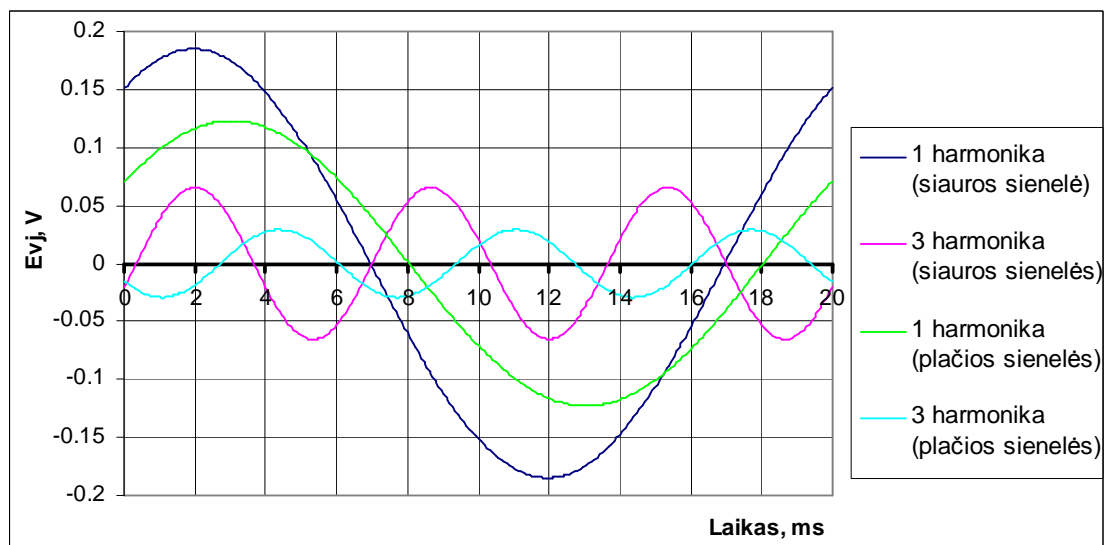
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudēs, V	0.109	0.065	0.029	0.006
Pradinēs fazēs	264.66	196.28	133.44	78.60



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 220 V

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj

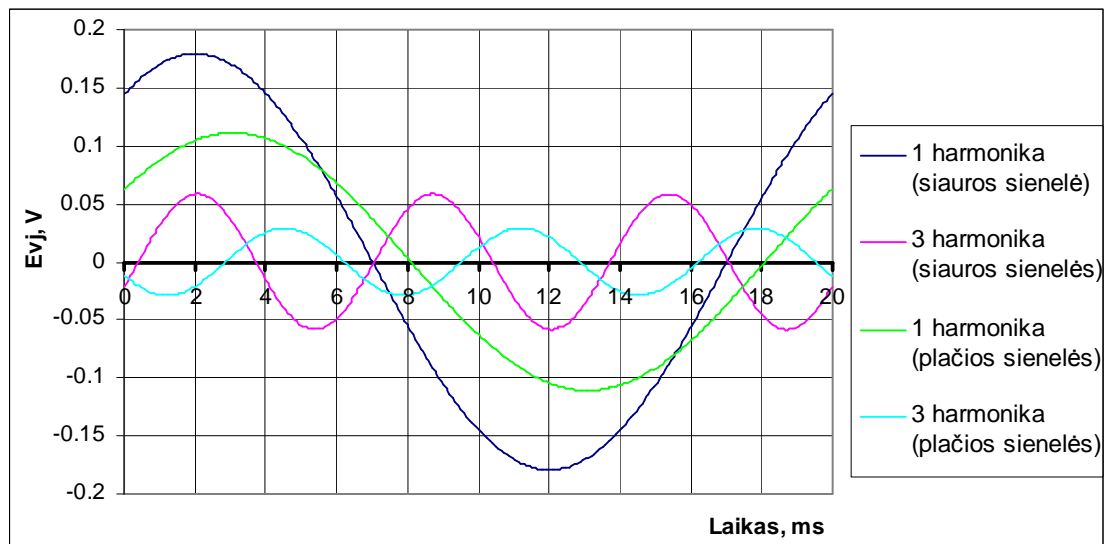
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.13826	0.03096	0.01497	0.00416
Pradinės fazės	36.89	-133.82	147.52	71.73
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.19058	0.0727	0.01884	0.00698
Pradinės fazės	56.69	-12.36	-63.84	-15.09
Fazių skirtumas	-19.80	-121.46	211.36	86.83



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 200 V

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj

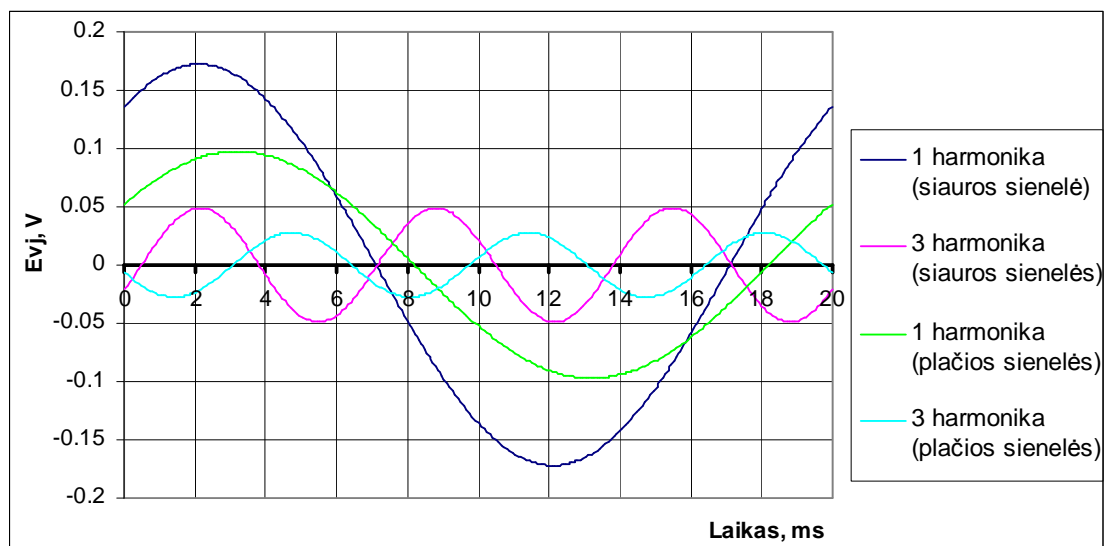
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.12297	0.02926	0.01174	0.00143
Pradinės fazės	35.20	-147.02	127.96	56.85
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.18484	0.06536	0.01273	0.00774
Pradinės fazės	54.90	-18.06	-65.62	-13.95
Fazių skirtumas	-19.70	-128.96	193.59	70.80



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 180 V

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj

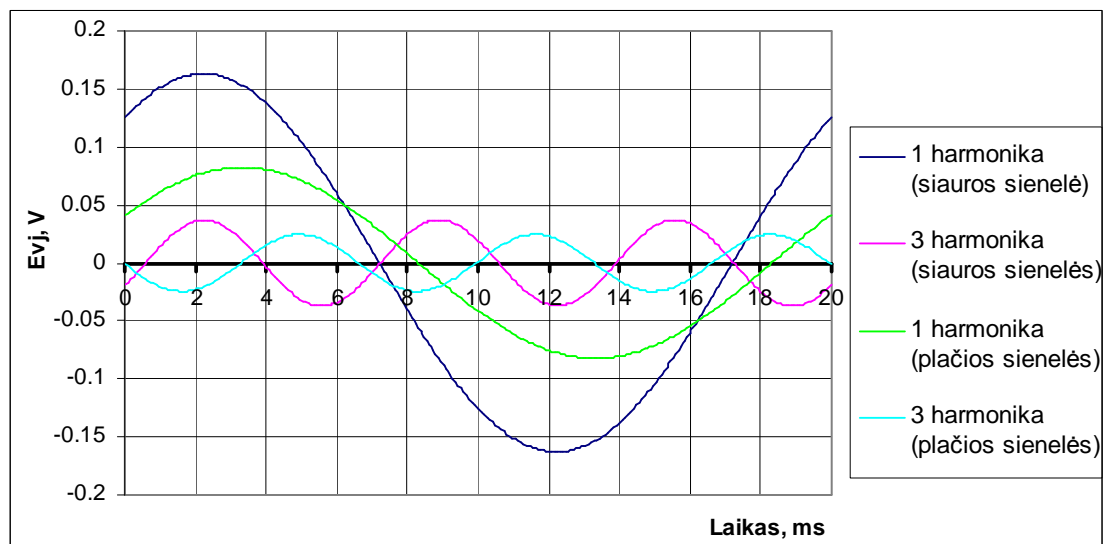
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.1109	0.02892	0.01067	0.00124
Pradinės fazės	34.30	-155.01	116.84	-29.91
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.17923	0.05833	0.00818	0.00689
Pradinės fazės	53.73	-21.40	-58.38	-12.48
Fazių skirtumas	-19.43	-133.61	175.22	-17.42



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 160 V

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj

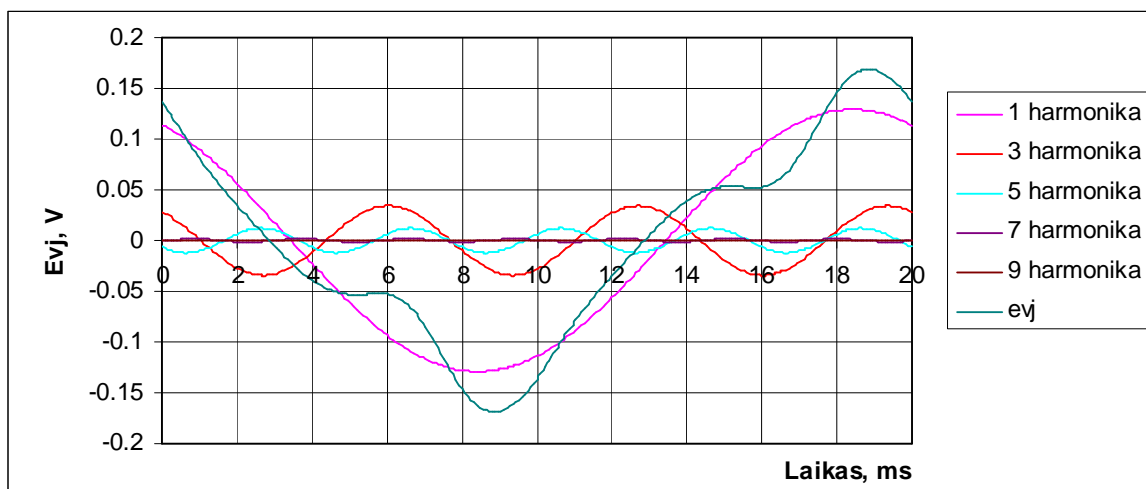
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.09742	0.0276	0.00795	0.00258
Pradinės fazės	32.49	-166.38	98.56	-82.56
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.1722	0.04892	0.00494	0.00497
Pradinės fazės	52.07	-26.24	-24.55	-10.00
Fazių skirtumas	-19.58	-140.15	123.11	-72.56



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 140 V

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj

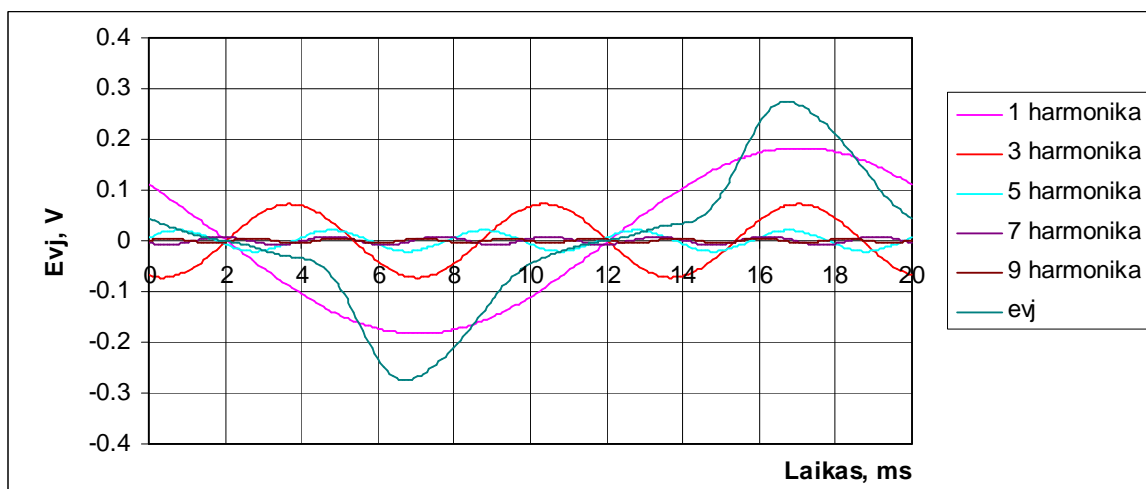
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.08235	0.02459	0.00511	0.00363
Pradinės fazės	30.28	-177.26	71.99	251.55
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.16298	0.03705	0.00537	0.00296
Pradinės fazės	50.33	-30.98	21.61	20.97
Fazių skirtumas	-20.05	-146.27	50.38	230.58



Plačiosios sienelės evj (su trumpai jungta vija)

Plačiosios sienelės evj amplitudės ir pradinės fazės (su trumpai jungta vija)

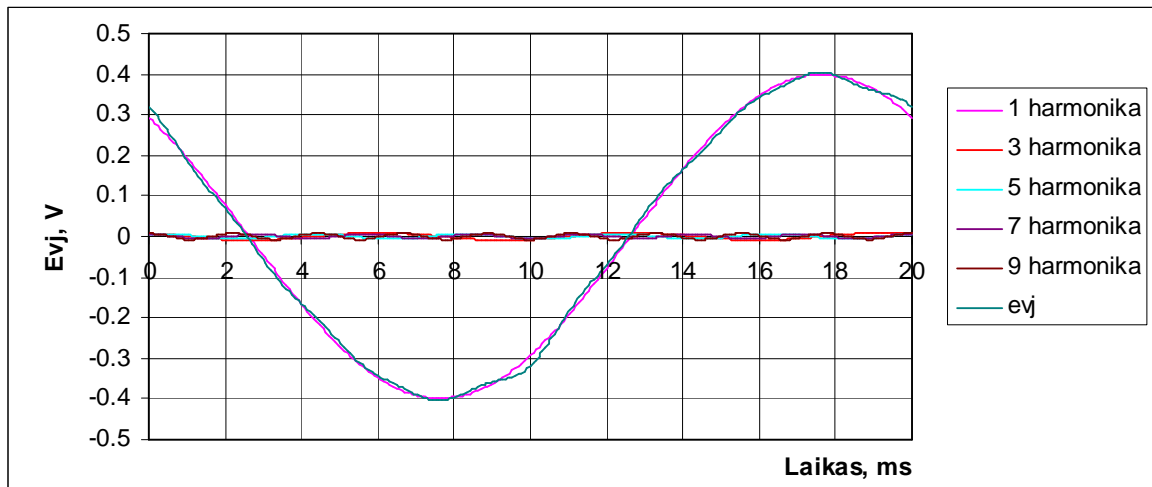
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudės, V	0.129	0.034	0.012	0.001
Pradinės fazės	118.17	124.43	210.81	-19.41



Siaurosios sienelės evj (su trumpai jungta vija)

Plačiosios sienelės evj amplitudės ir pradinės fazės (su trumpai jungta vija)

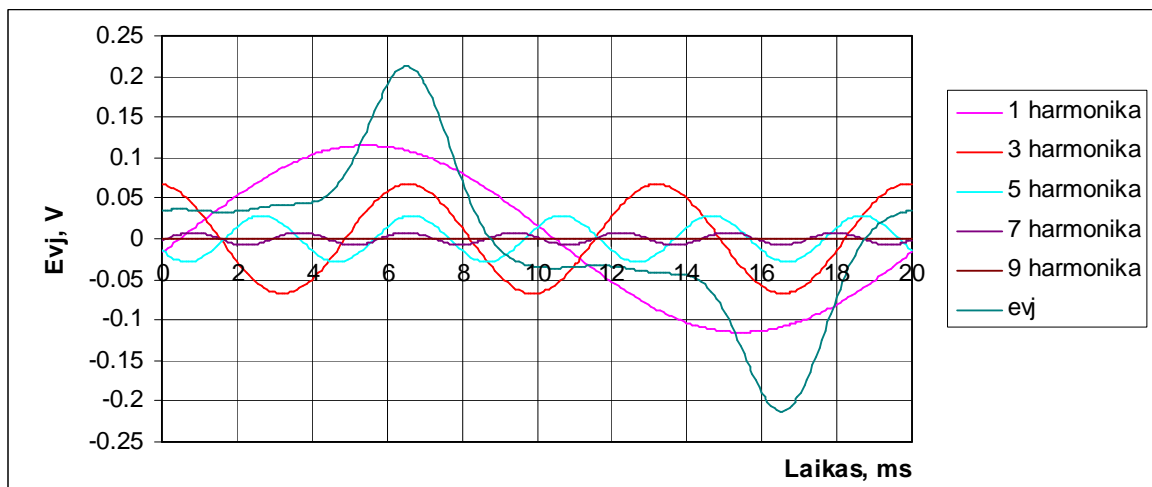
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudės, V	0.183	0.072	0.021	0.008
Pradinės fazės	143.07	250.11	18.88	207.53



Poliaus evj (su trumpai jungta vija)

Poliaus evj amplitudēs ir pradinēs fazēs (su trumpai jungta vija)

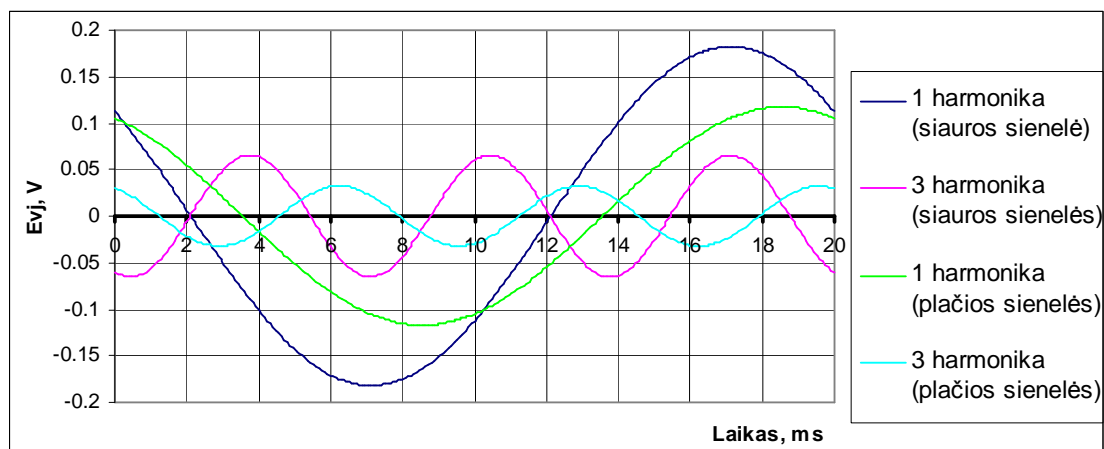
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudēs, V	0.399	0.009	0.006	0.005
Pradinēs fazēs	132.66	126.82	61.12	93.75



Poliuko evj (su trumpai jungta vija)

Poliuko evj amplitudēs ir pradinēs fazēs (su trumpai jungta vija)

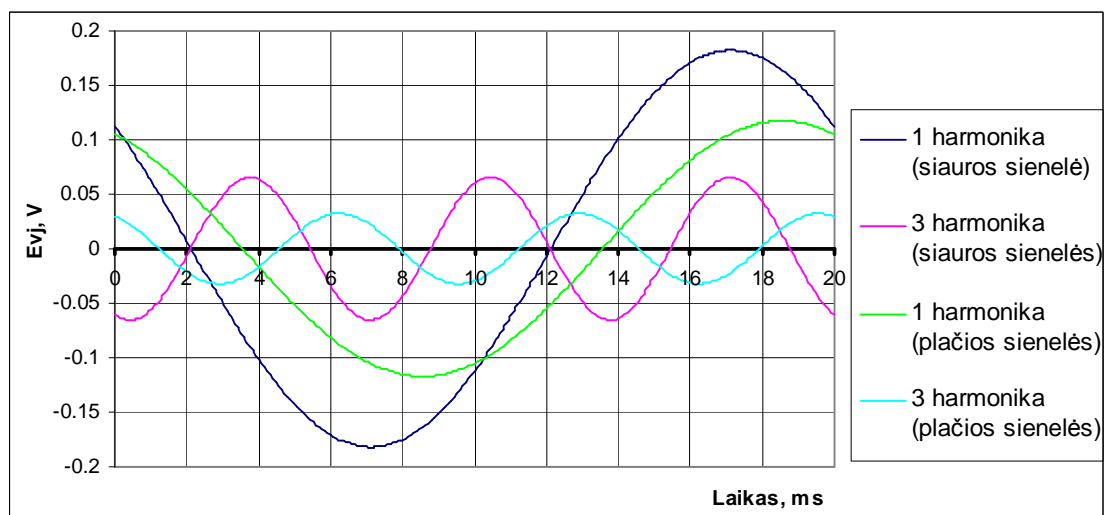
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudēs, V	0.115	0.067	0.028	0.008
Pradinēs fazēs	-8.39	96.21	210.20	-13.83



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 220 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su trumpai jungta vija)

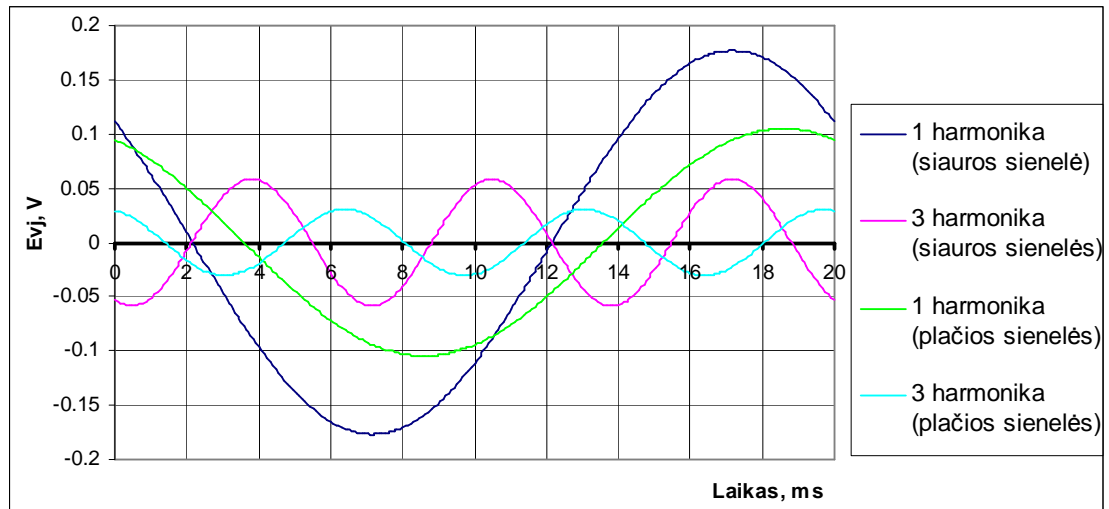
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.12875	0.03436	0.01262	0.00156
Pradinės fazės	117.19	121.91	204.47	-28.74
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.18634	0.07187	0.02158	0.00841
Pradinės fazės	143.02	249.85	18.05	208.28
Fazių skirtumas	-25.83	-127.94	186.42	-237.02



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 200 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su trumpai jungta vija)

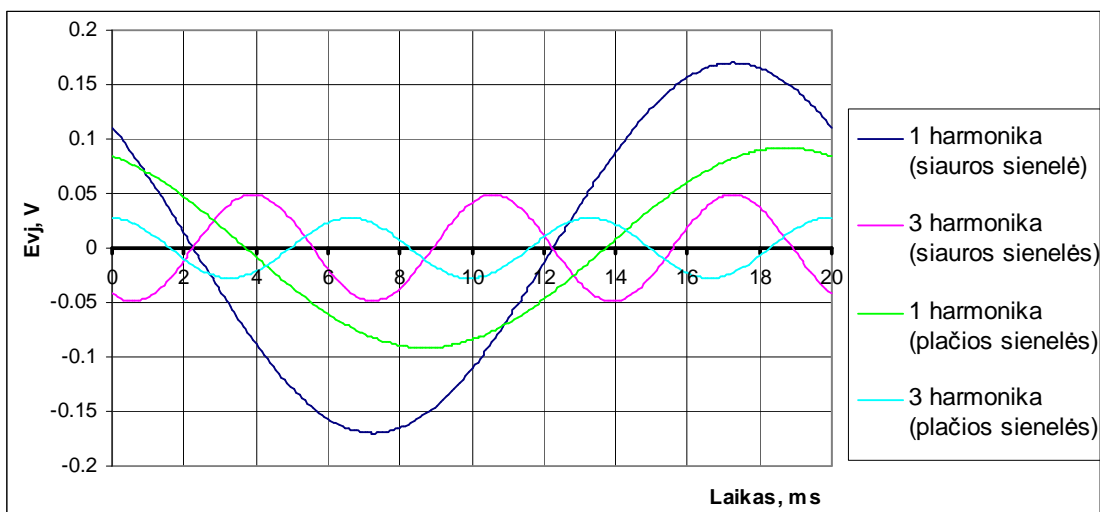
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.11716	0.03227	0.01092	0.00056
Pradinės fazės	116.06	113.15	189.41	111.56
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.18201	0.06545	0.01651	0.00757
Pradinės fazės	141.81	249.55	19.08	211.71
Fazių skirtumas	-25.75	-136.40	170.33	-100.15



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 180 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su trumpai jungta vija)

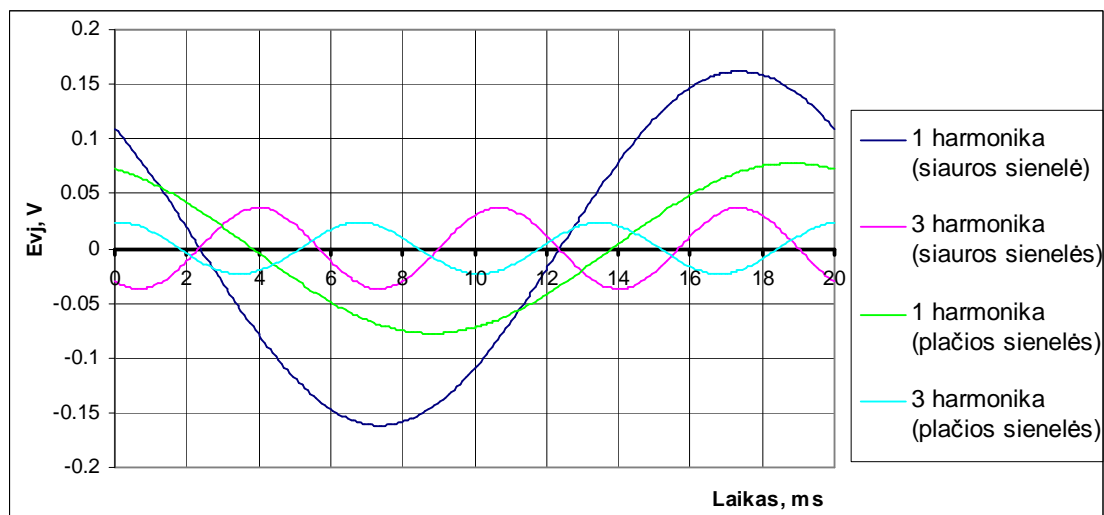
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.10461	0.0304	0.00892	0.00244
Pradinės fazės	115.37	104.85	172.35	134.01
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.17667	0.05838	0.01153	0.00616
Pradinės fazės	141.06	244.07	26.04	224.30
Fazių skirtumas	-25.68	-139.22	146.31	-90.29



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 160 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su trumpai jungta vija)

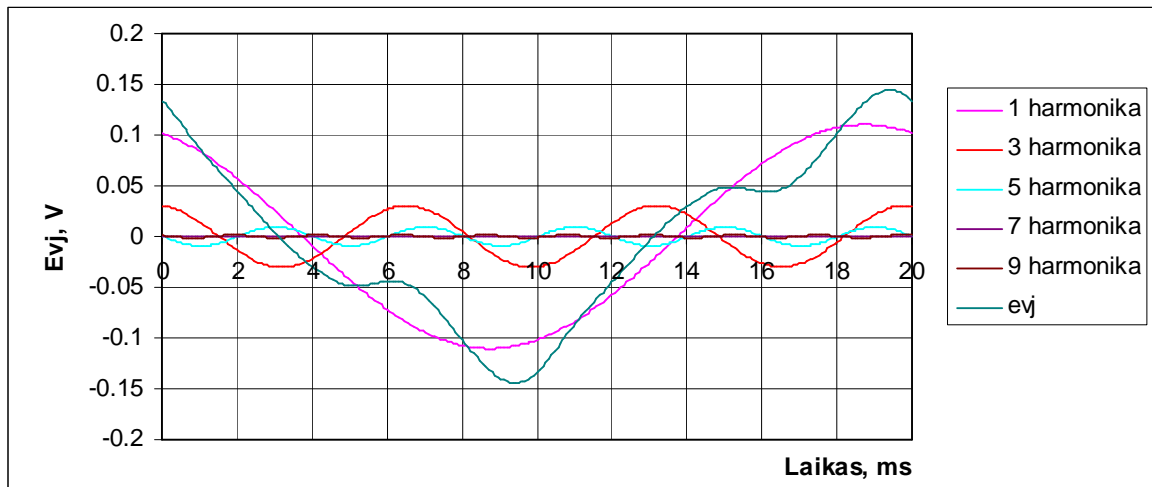
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.09171	0.02768	0.00647	0.00376
Pradinės fazės	113.18	93.11	148.78	122.86
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.16983	0.04893	0.0074	0.00419
Pradinės fazės	139.21	238.47	44.52	231.69
Fazių skirtumas	-26.03	-145.36	104.26	-108.83



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 140 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su trumpai jungta vija)

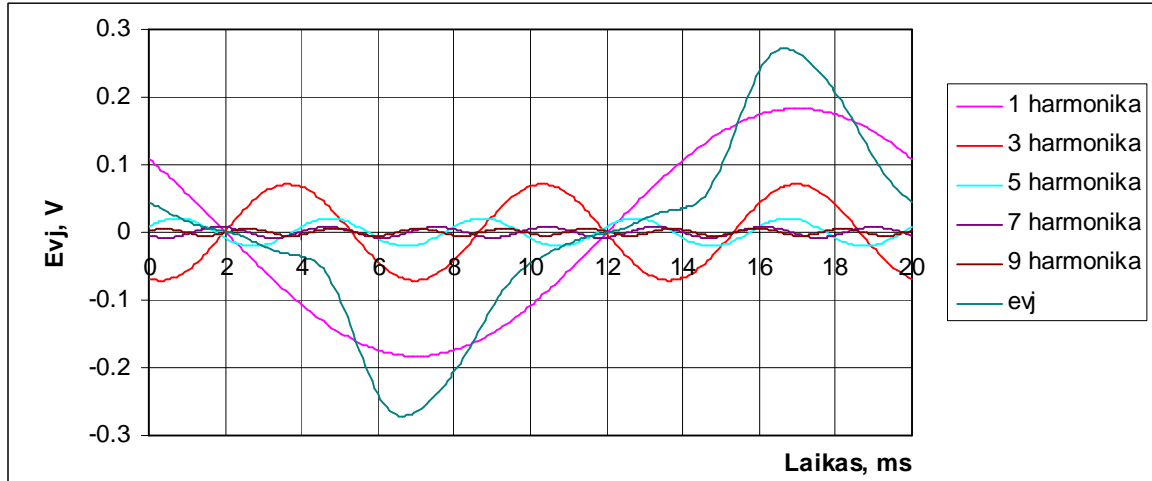
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.07766	0.0234	0.00419	0.00413
Pradinės fazės	111.21	82.70	119.97	113.09
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.16164	0.03705	0.00676	0.00198
Pradinės fazės	137.22	233.57	77.82	262.77
Fazių skirtumas	-26.01	-150.87	42.15	-149.68



Plačiosios sienelės evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Plačiosios sienelės evj amplitudės ir pradinės fazės (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

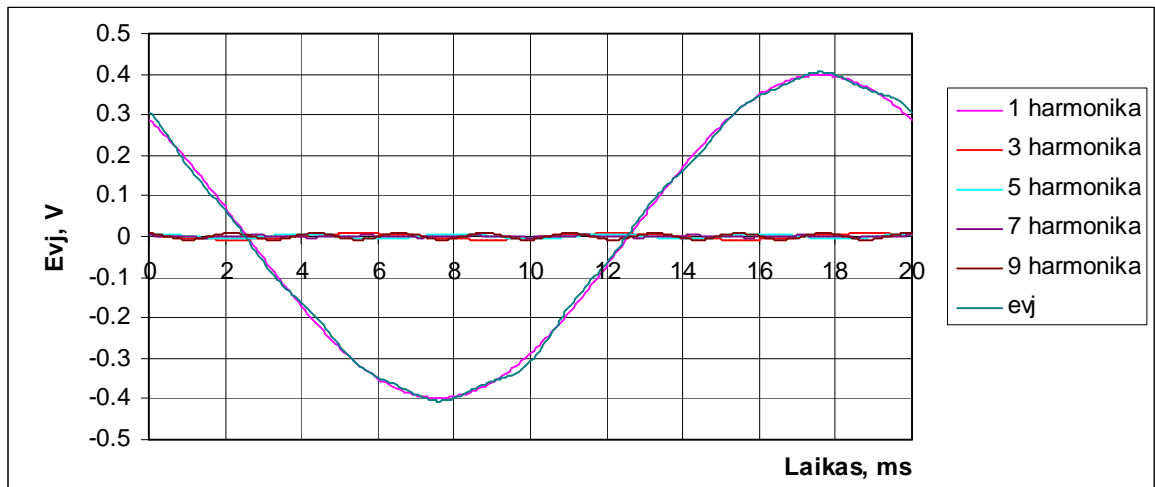
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudės, V	0.110	0.030	0.009	0.001
Pradinės fazės	112.58	97.82	177.85	100.19



Siaurosios sienelės evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios sienelės evj amplitudės ir pradinės fazės (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

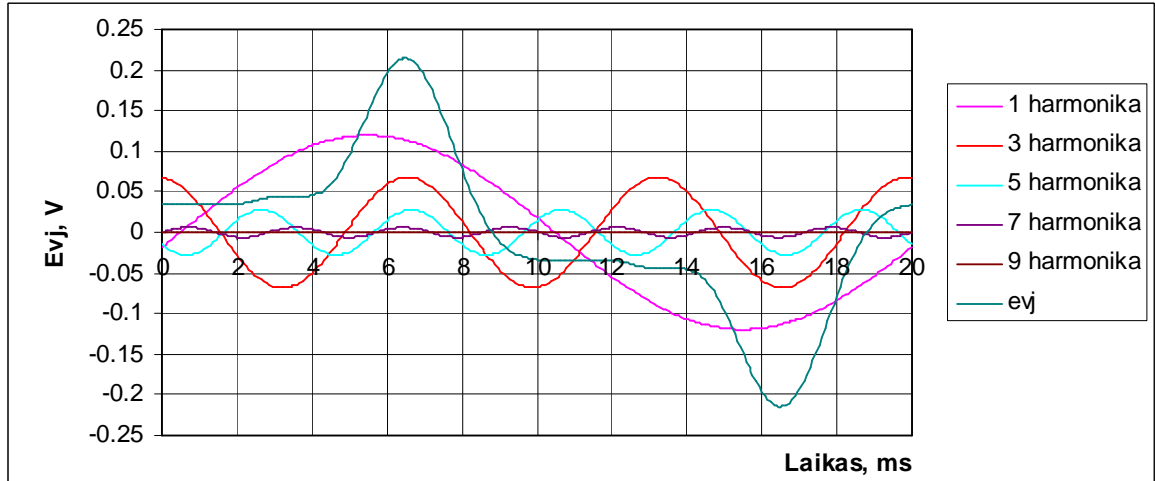
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudės, V	0.183	0.071	0.021	0.008
Pradinės fazės	143.73	253.30	23.51	217.03



Poliaus evj (su diviem trumpai jungtomis vijomis)

Poliaus evj amplitudēs ir pradinēs fazēs (su diviem trumpai jungtomis vijomis)

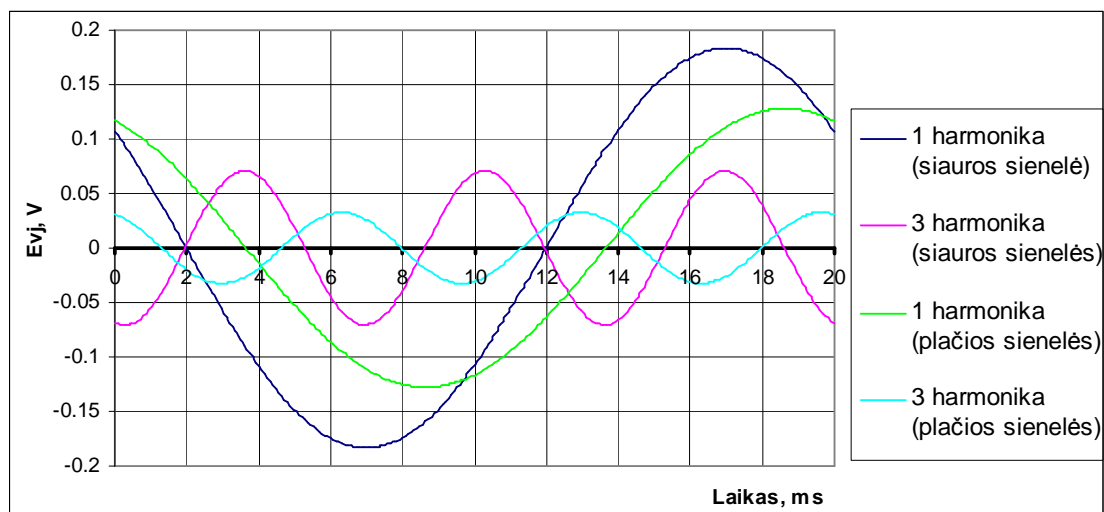
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudēs, V	0.397	0.008	0.006	0.002
Pradinēs fazēs	133.59	151.26	82.36	91.13



Poliuko evj (su diviem trumpai jungtomis vijomis)

Poliuko evj amplitudēs ir pradinēs fazēs (su diviem trumpai jungtomis vijomis)

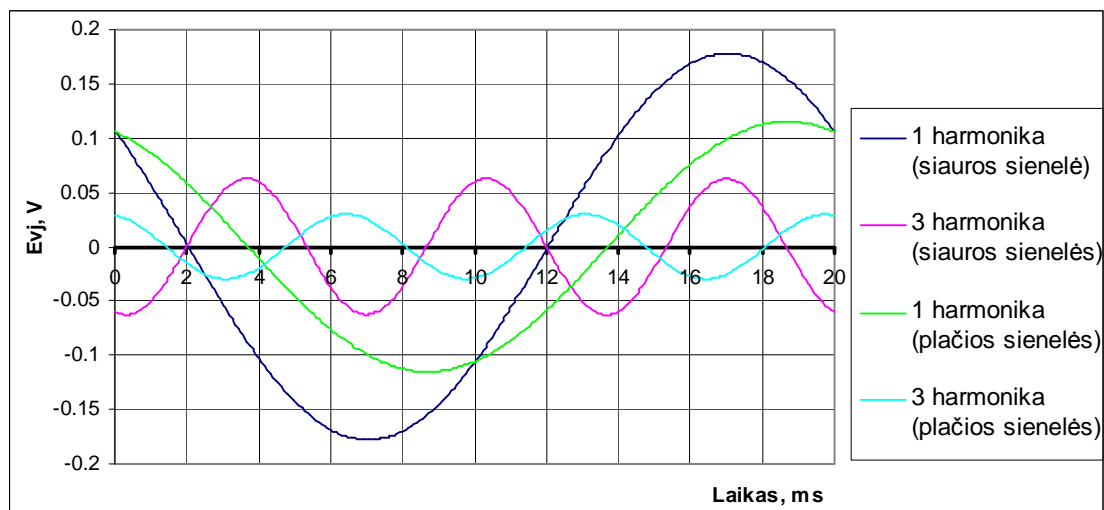
Harmonikos	1	3	5	7
Evj amplitudēs, V	0.120	0.068	0.028	0.006
Pradinēs fazēs	-8.74	96.46	211.77	-0.57



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 220 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

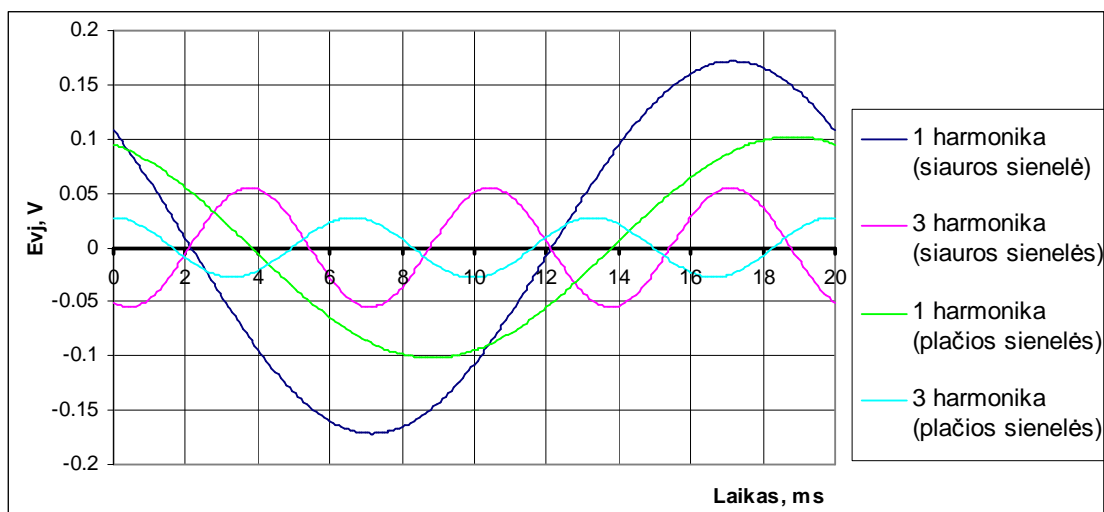
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.12795	0.03258	0.01108	0.00096
Pradinės fazės	114.34	109.70	200.65	18.45
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.18343	0.07069	0.02063	0.00817
Pradinės fazės	144.22	254.71	26.66	217.99
Fazių skirtumas	-29.88	-145.01	173.98	-199.54



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 200 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

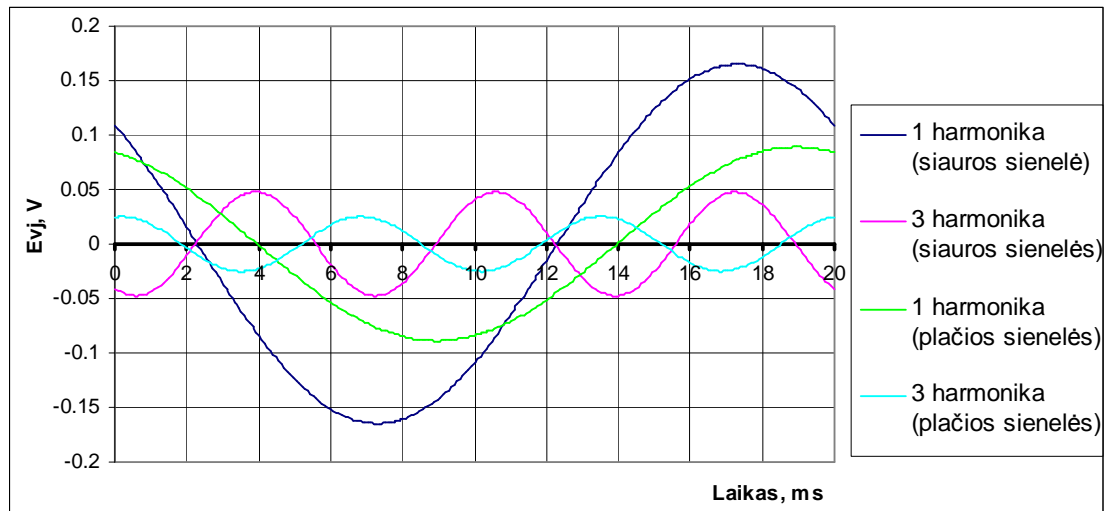
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.11522	0.02973	0.00859	0.00116
Pradinės fazės	113.29	102.80	192.15	79.59
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.17792	0.06264	0.01532	0.00834
Pradinės fazės	143.18	252.09	34.60	220.06
Fazių skirtumas	-29.89	-149.28	157.55	-140.48



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 180 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

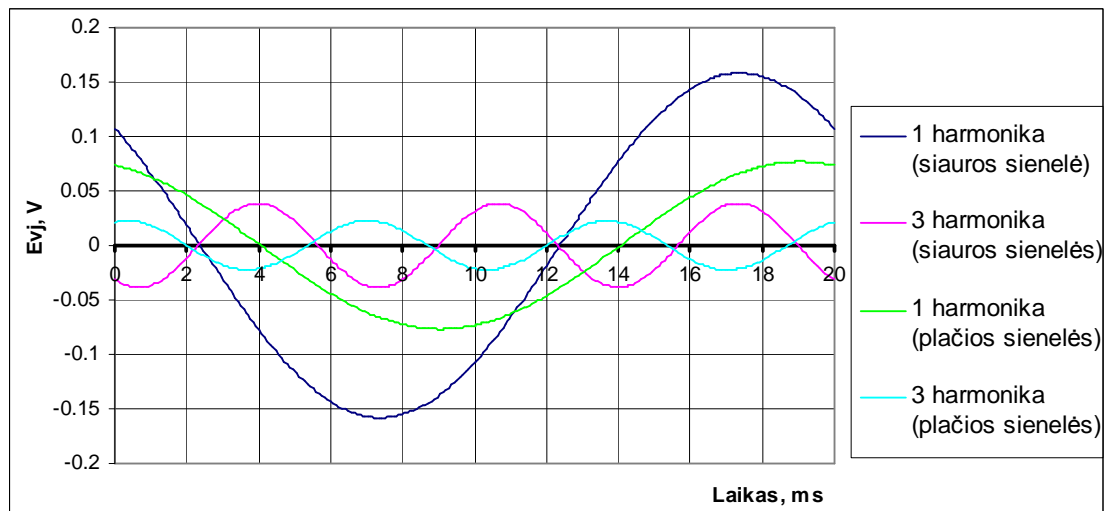
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.10201	0.02765	0.00658	0.00201
Pradinės fazės	111.27	92.41	175.95	112.63
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.17147	0.05509	0.01055	0.00591
Pradinės fazės	141.20	246.27	37.69	222.30
Fazių skirtumas	-29.92	-153.86	138.26	-109.67



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 160 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

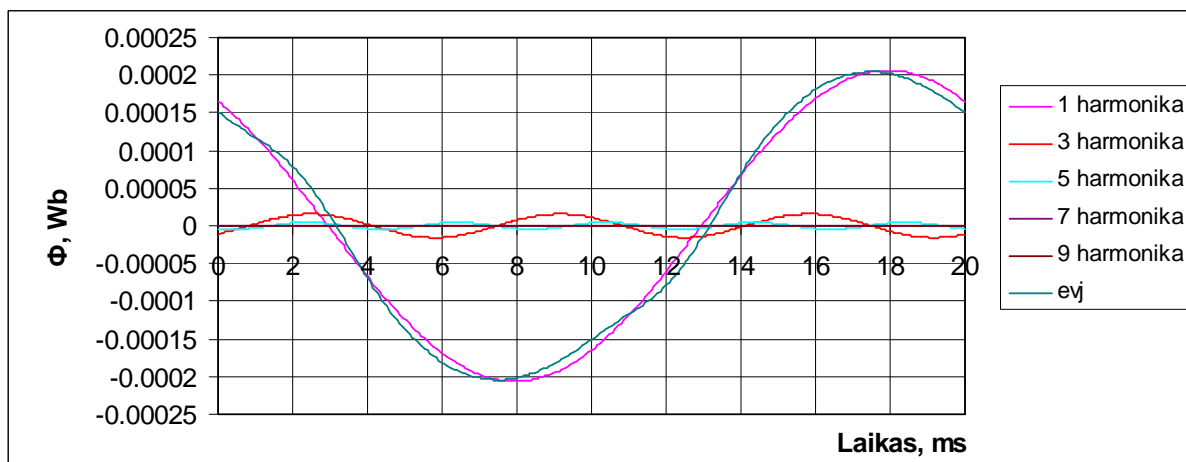
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.08885	0.02511	0.00488	0.00281
Pradinės fazės	108.77	79.82	155.67	112.76
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.16488	0.04757	0.00683	0.0035
Pradinės fazės	138.60	238.44	47.74	234.85
Fazių skirtumas	-29.83	-158.62	107.92	-122.09



Plačiosios ir siaurosios sienelių pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 140 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių evj (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

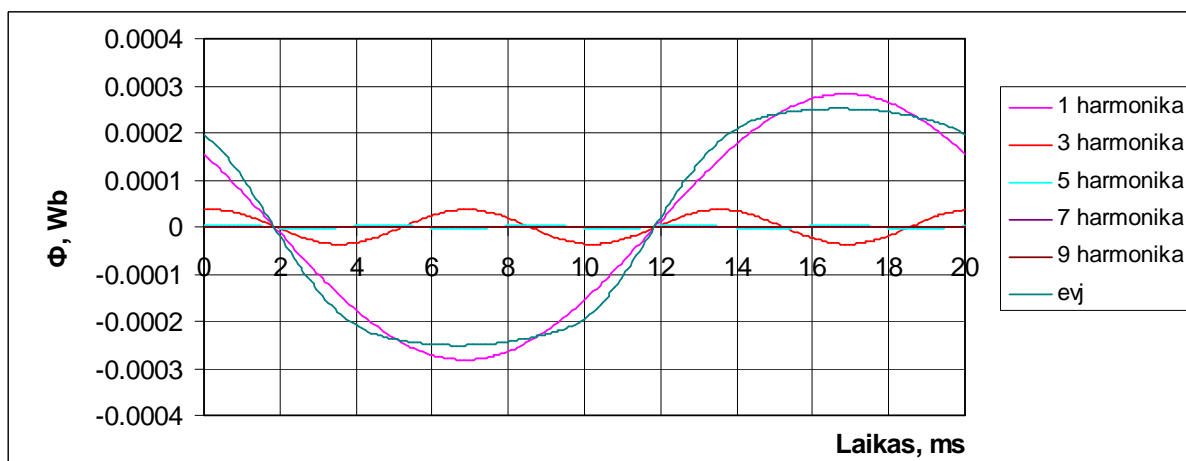
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.07677	0.02246	0.00291	0.00329
Pradinės fazės	107.02	70.89	128.41	105.71
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, V	0.15804	0.03866	0.0054	0.00278
Pradinės fazės	137.21	234.62	82.21	-85.96
Fazių skirtumas	-30.18	-163.73	46.20	191.67



Plačiosios sienelės magnetinis srautas

Plačiosios sienelės magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės

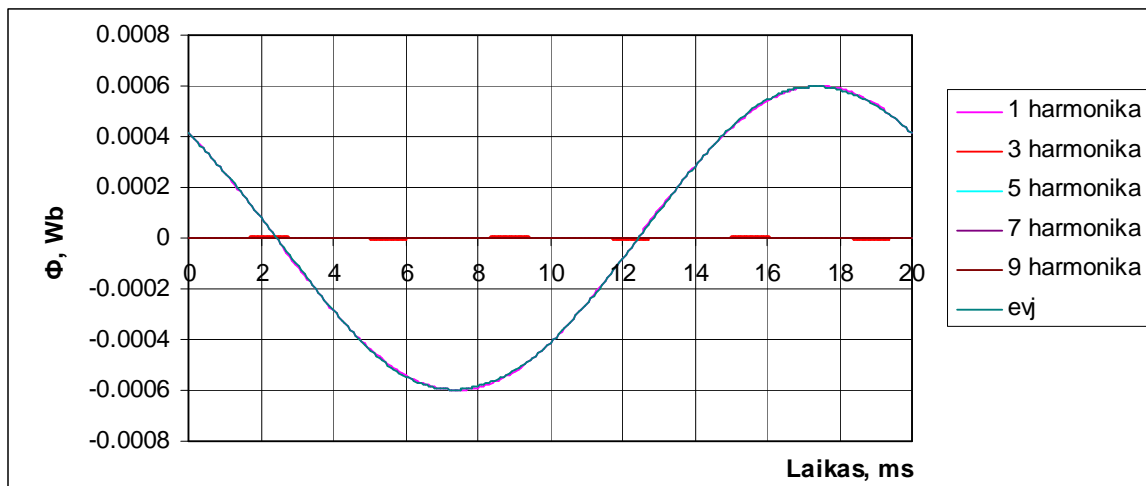
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0002062	0.0000156	0.0000045	0.0000009
Pradinės fazės	126.98	-44.26	234.16	158.17



Siaurosios sienelės magnetinis srautas

Siaurosios sienelės magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės

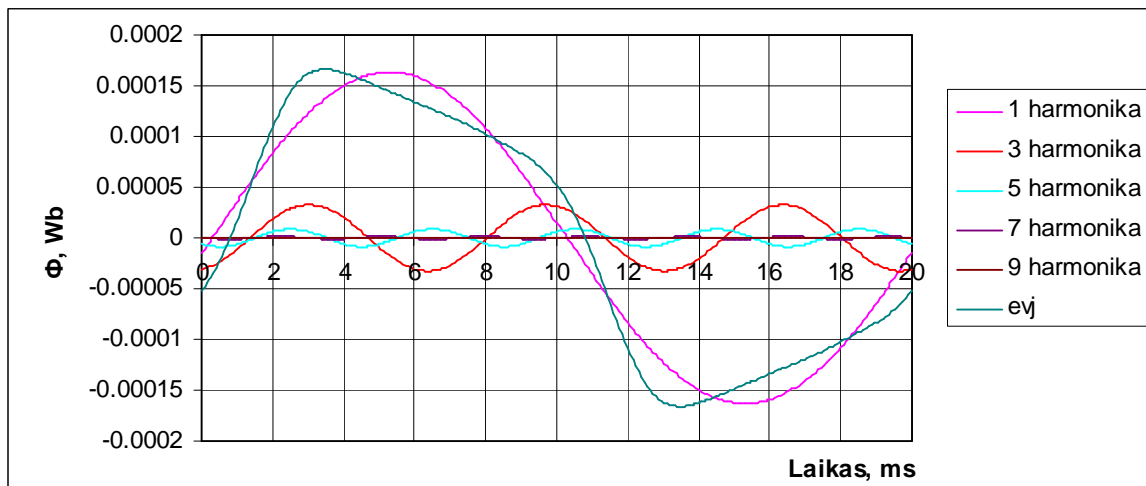
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0002822	0.0000367	0.0000056	0.0000015
Pradinės fazės	146.68	77.74	25.95	70.62



Poliiaus magnetinis srautas

Poliiaus magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės

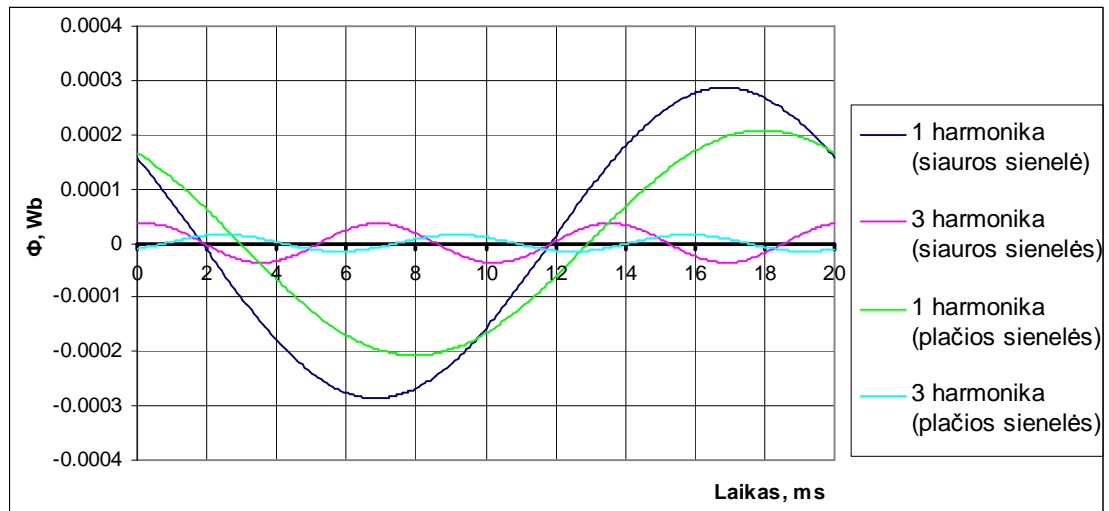
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0005989	0.0000042	0.0000013	0.0000006
Pradinės fazės	136.39	330.68	107.32	217.16



Poliuko magnetinis srautas

Poliuko magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės

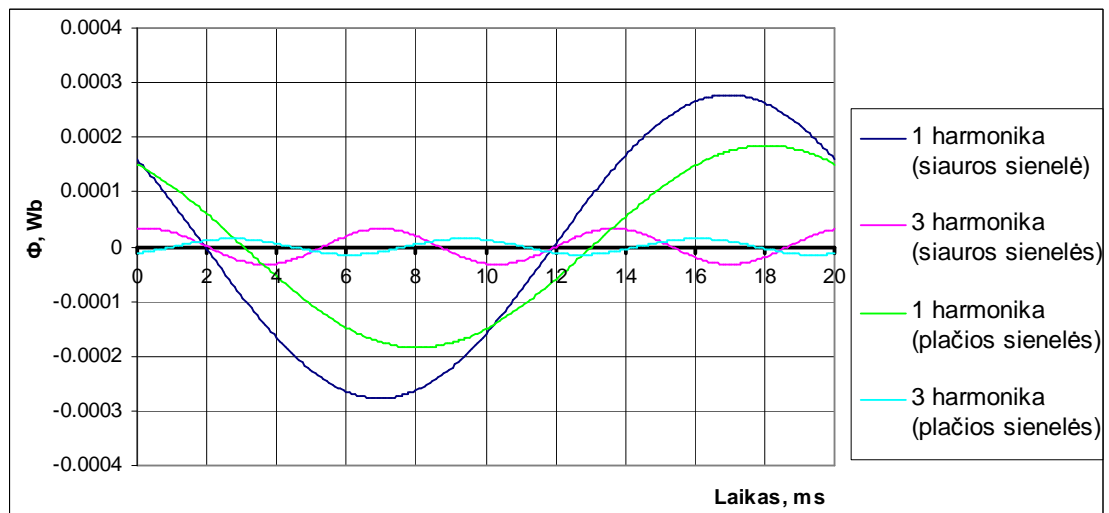
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0001633	0.0000326	0.0000087	0.0000014
Pradinės fazės	354.66	286.28	223.44	168.60



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 220 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai

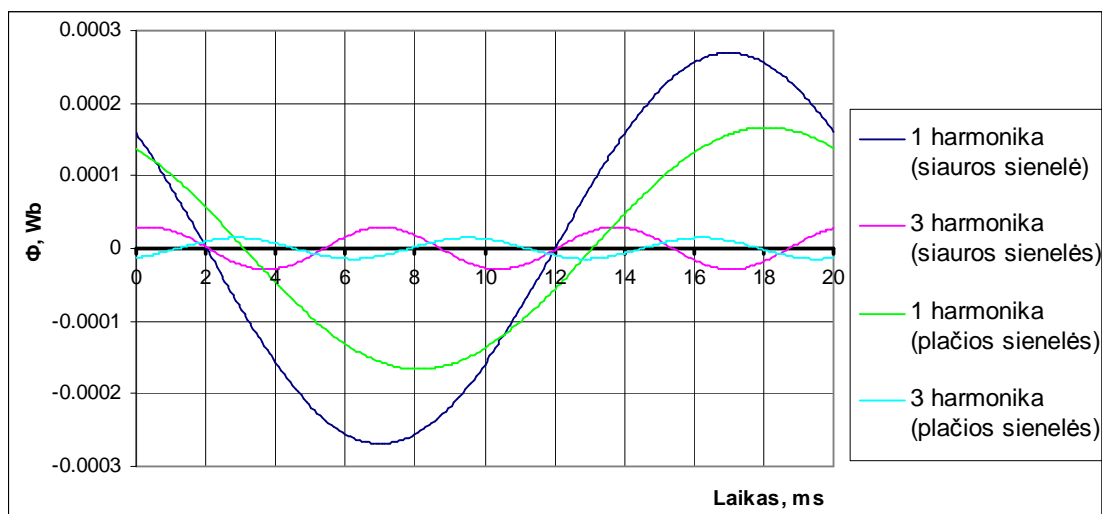
Plačioji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00021	1.5-05	4.5-06	8.9-07	1.5-07
Pradinės fazės	126.89	-43.82	237.52	161.73	71.60
Siauroji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00029	3.6-05	5.7-06	1.5-06	6.9-07
Pradinės fazės	146.69	77.64	26.16	74.91	39.60
Fazių skirtumas	-19.80	-121.46	211.36	86.83	32.01



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 200 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai

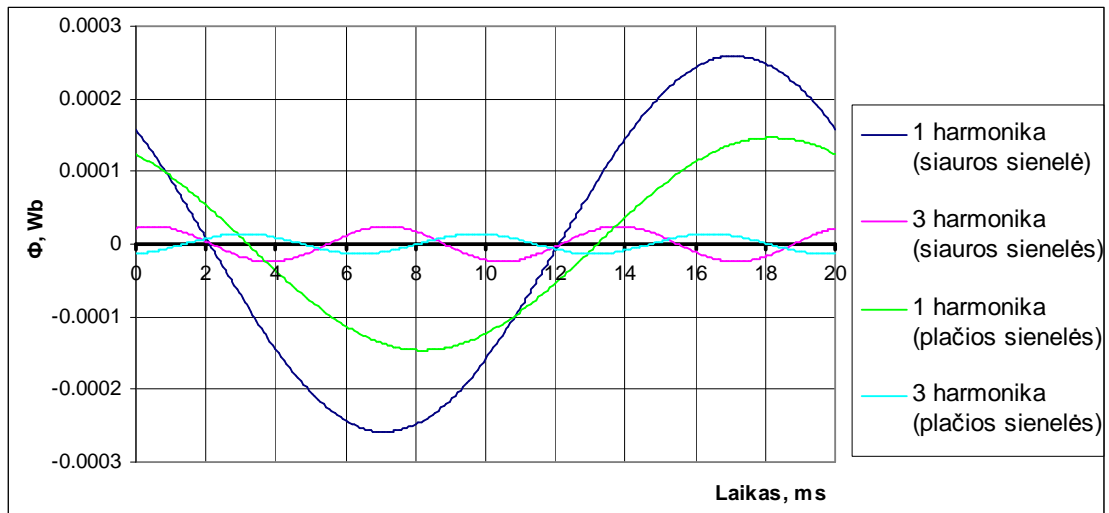
Plačioji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00018	1.5-05	3.5-06	3.1-07	1.4-07
Pradinės fazės	125.20	-57.02	217.96	146.85	321.75
Siauroji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00028	3.3-05	3.8-06	1.7-06	2.2-07
Pradinės fazės	144.90	71.94	24.38	76.05	67.04
Fazių skirtumas	-19.70	-128.96	193.59	70.80	254.71



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 180 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai

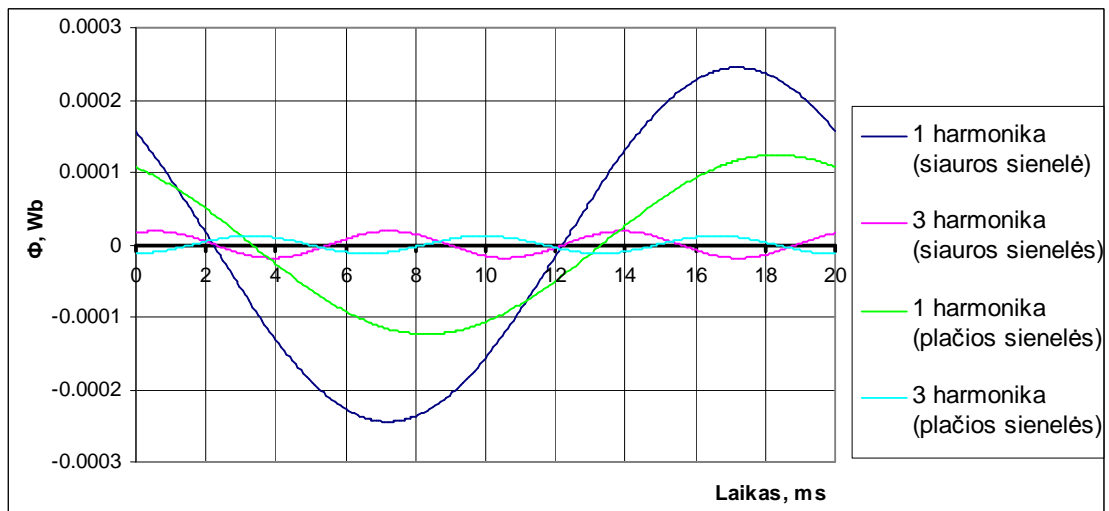
Plačioji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00017	1.4-05	3.2-06	2.7-07	4.3-07
Pradinės fazės	124.30	-65.01	206.84	60.09	308.14
Siauroji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00027	2.9-05	2.5-06	1.5-06	5.4-07
Pradinės fazės	143.73	68.60	31.62	77.52	138.49
Fazių skirtumas	-19.43	-133.61	175.22	-17.42	169.65



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 160 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai

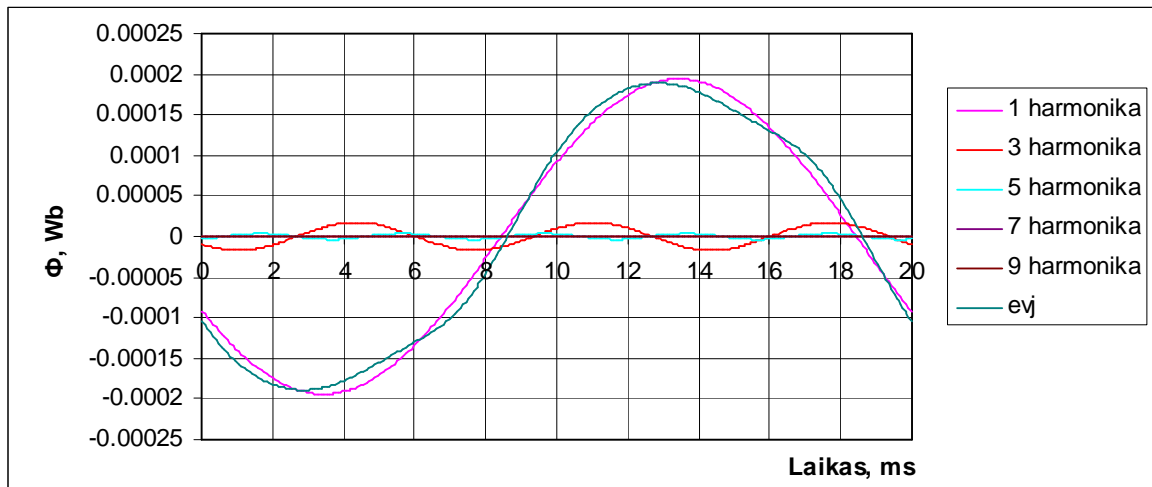
Plačioji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00015	1.4-05	2.4-06	5.5-07	5-07
Pradinės fazės	122.49	-76.38	188.56	7.44	276.57
Siauroji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00026	2.4-05	1.5-06	1.1-06	9.1-07
Pradinės fazės	142.07	63.76	65.45	80.00	136.80
Fazių skirtumas	-19.58	-140.15	123.11	-72.56	139.76



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 140 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai

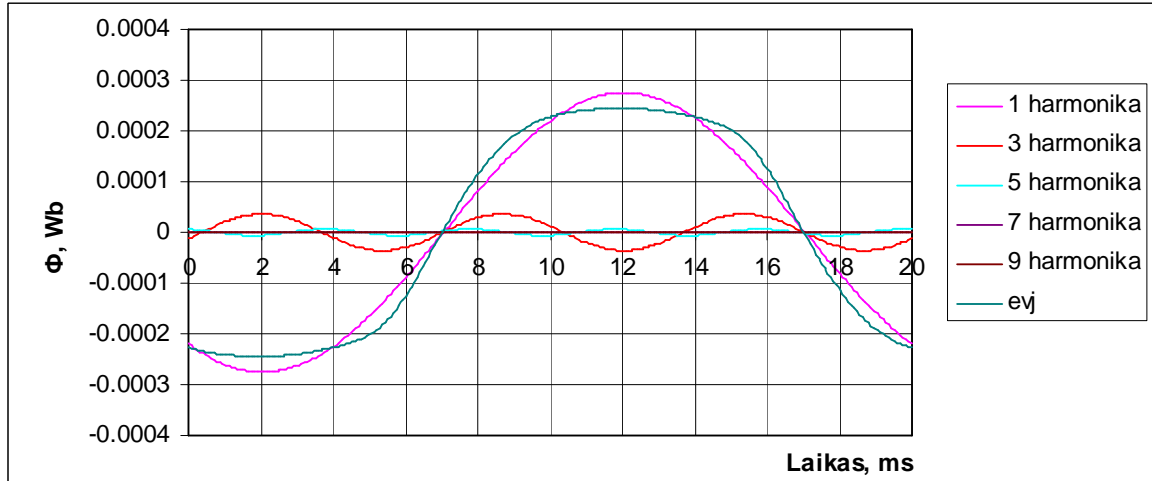
Plačioji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00012	1.2-05	1.5-06	7.8-07	4.4-07
Pradinės fazės	120.28	-87.26	161.99	341.55	241.79
Siauroji sienelė					
Harmonikos	1	3	5	7	9
Amplitudės, Wb	0.00024	1.9-05	1.6-06	6.3-07	8.5-07
Pradinės fazės	140.33	59.02	111.61	110.97	125.11
Fazių skirtumas	-20.05	-146.27	50.38	230.58	116.68



Plačiosios sienelės magnetinis srautas (su trumpai jungta vija)

Plačiosios sienelės magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su trumpai jungta vija)

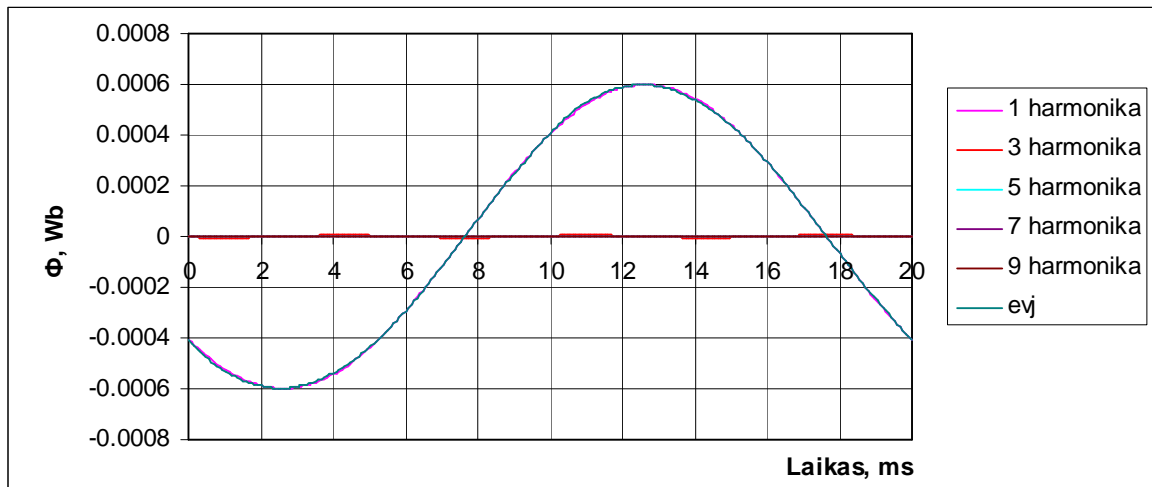
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0001939	0.0000172	0.0000036	0.0000003
Pradinės fazės	208.17	214.43	300.81	70.59



Siaurosios sienelės magnetinis srautas (su trumpai jungta vija)

Siaurosios sienelės magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su trumpai jungta vija)

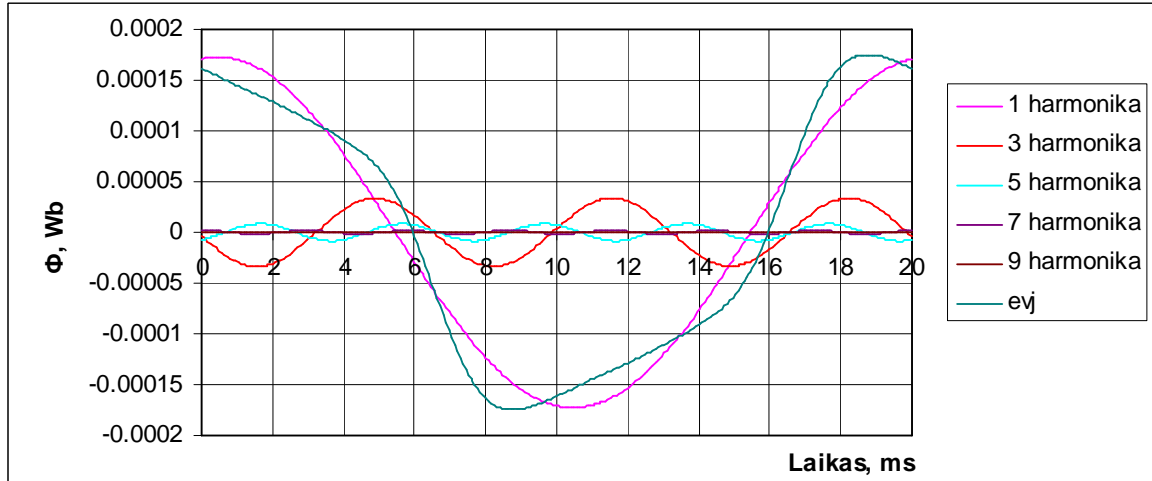
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0002751	0.0000362	0.0000062	0.0000018
Pradinės fazės	233.07	340.11	108.88	297.53



Poliaus magnetinis srautas (su trumpai jungta vija)

Poliaus magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su trumpai jungta vija)

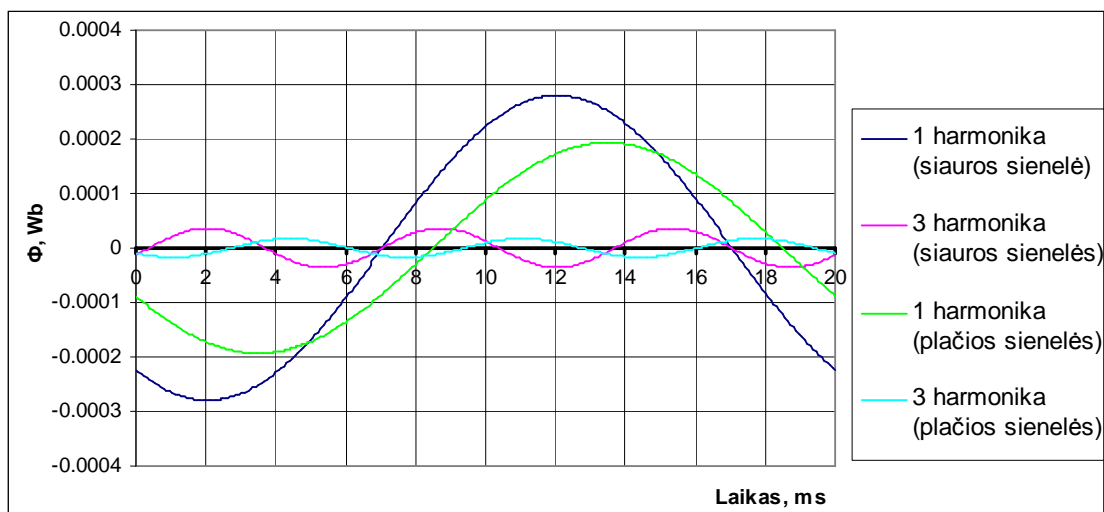
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0005984	0.0000047	0.0000019	0.0000011
Pradinės fazės	222.66	216.82	151.12	183.75



Poliuko magnetinis srautas (su trumpai jungta vija)

Poliuko magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su trumpai jungta vija)

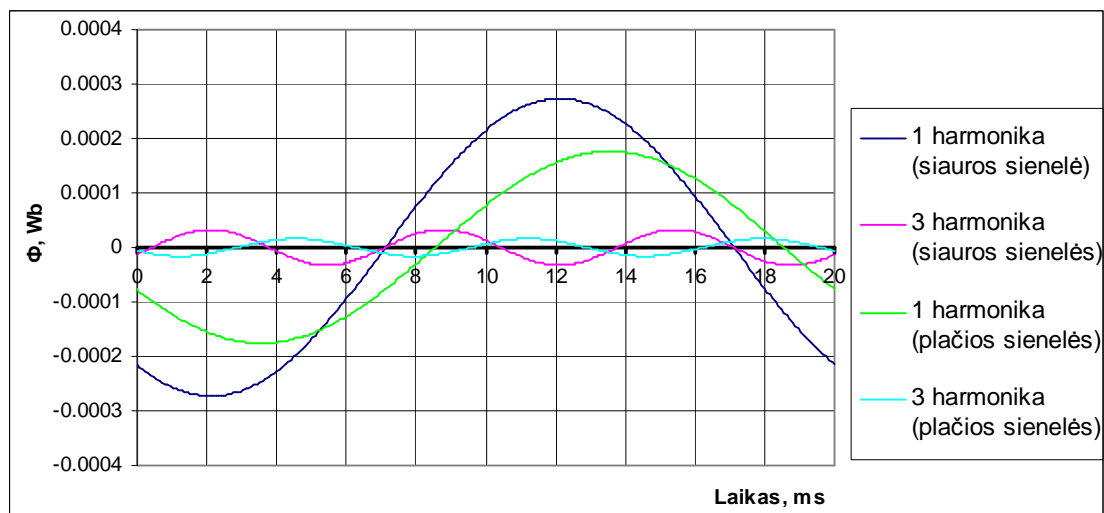
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0001727	0.0000337	0.0000085	0.0000017
Pradinės fazės	81.61	186.21	300.20	76.17



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 220 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su trumpai jungta vija)

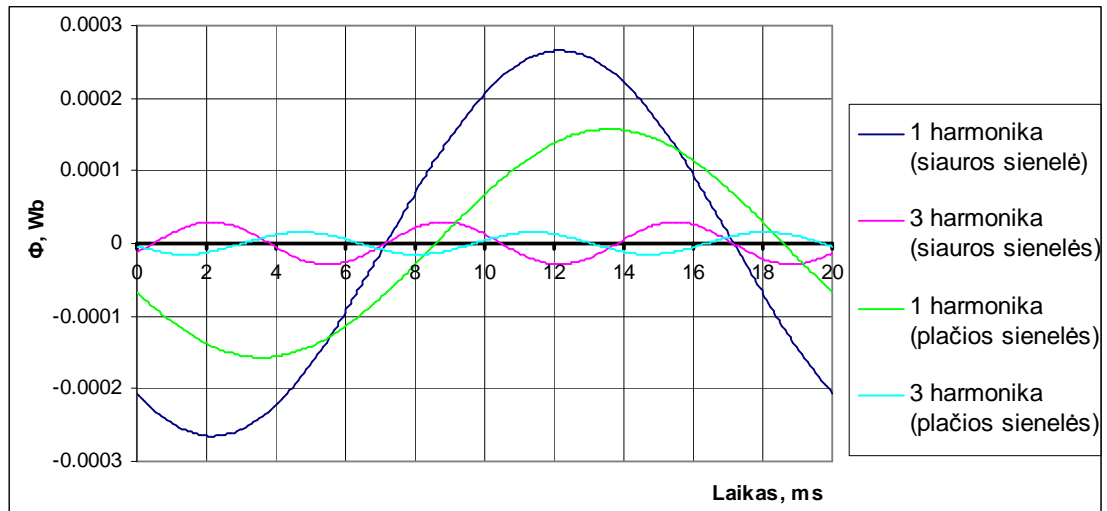
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00019	1.7-05	3.8-06	3.4-07
Pradinės fazės	207.19	211.91	294.47	61.26
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00028	3.6-05	6.5-06	1.8-06
Pradinės fazės	233.02	339.85	108.05	298.28
Fazių skirtumas	-25.83	-127.94	186.42	-237.02



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 200 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su trumpai jungta vija)

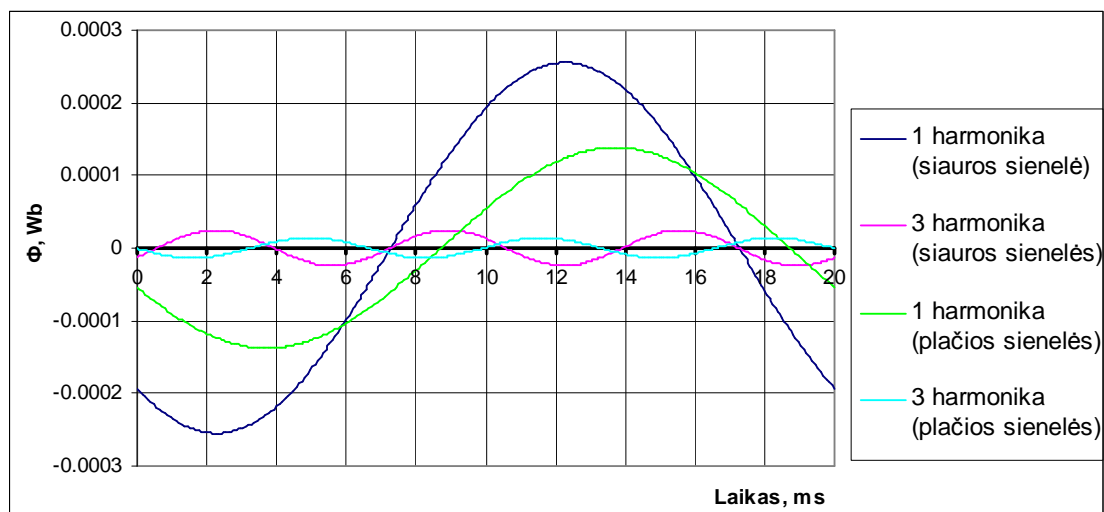
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00018	1.6-05	3.3-06	1.2-07
Pradinės fazės	206.06	203.15	279.41	201.56
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00027	3.3-05	5-06	1.6-06
Pradinės fazės	231.81	339.55	109.08	301.71
Fazių skirtumas	-25.75	-136.40	170.33	-100.15



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 180 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su trumpai jungta vija)

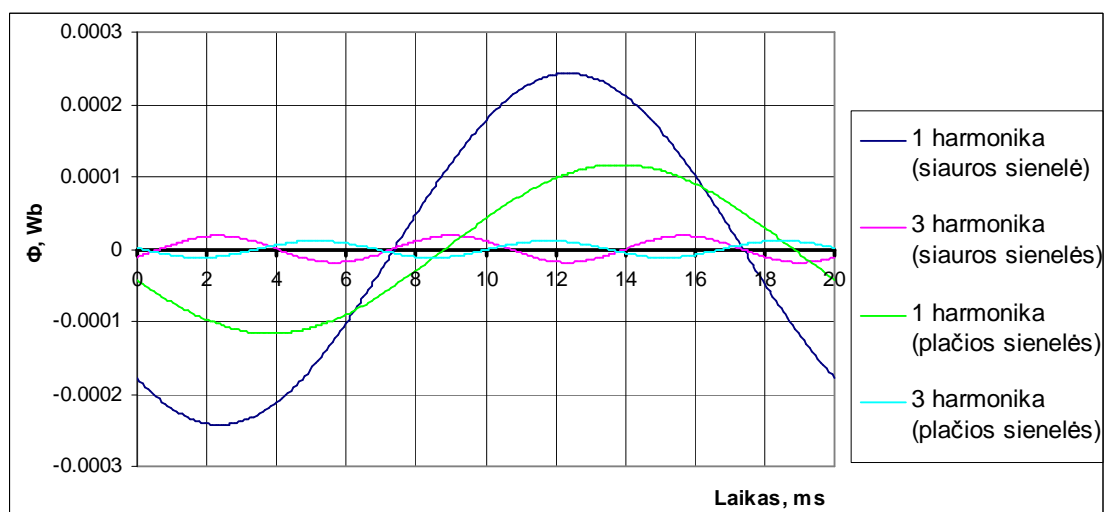
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00016	1.5-05	2.7-06	5.2-07
Pradinės fazės	205.37	194.85	262.35	224.01
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00027	2.9-05	3.5-06	1.3-06
Pradinės fazės	231.06	334.07	116.04	314.30
Fazių skirtumas	-25.68	-139.22	146.31	-90.29



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 160 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su trumpai jungta vija)

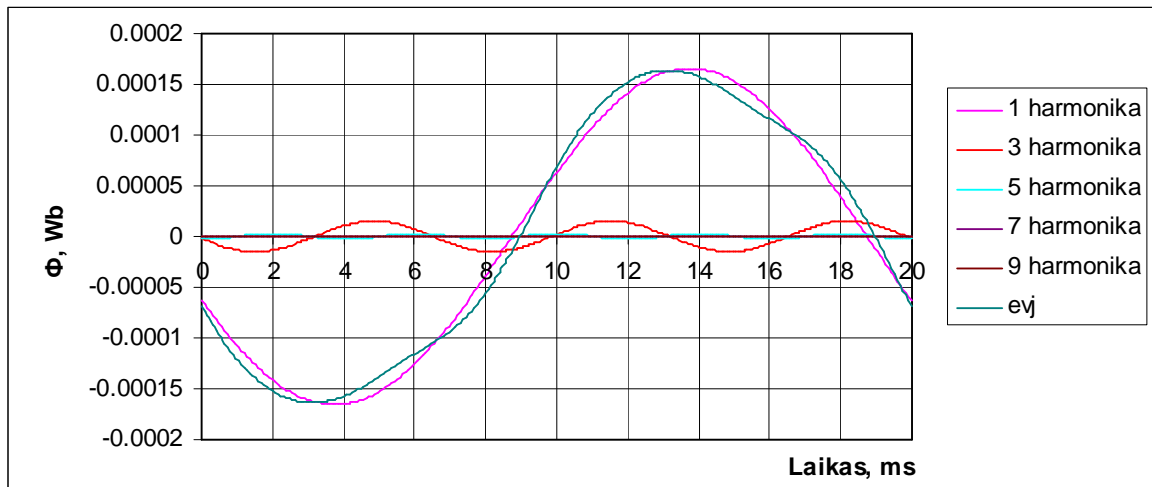
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00014	1.4-05	1.9-06	8.1-07
Pradinės fazės	203.18	183.11	238.78	212.86
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00026	2.4-05	2.2-06	9-07
Pradinės fazės	229.21	328.47	134.52	321.69
Fazių skirtumas	-26.03	-145.36	104.26	-108.83



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 140 V (su trumpai jungta vija)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su trumpai jungta vija)

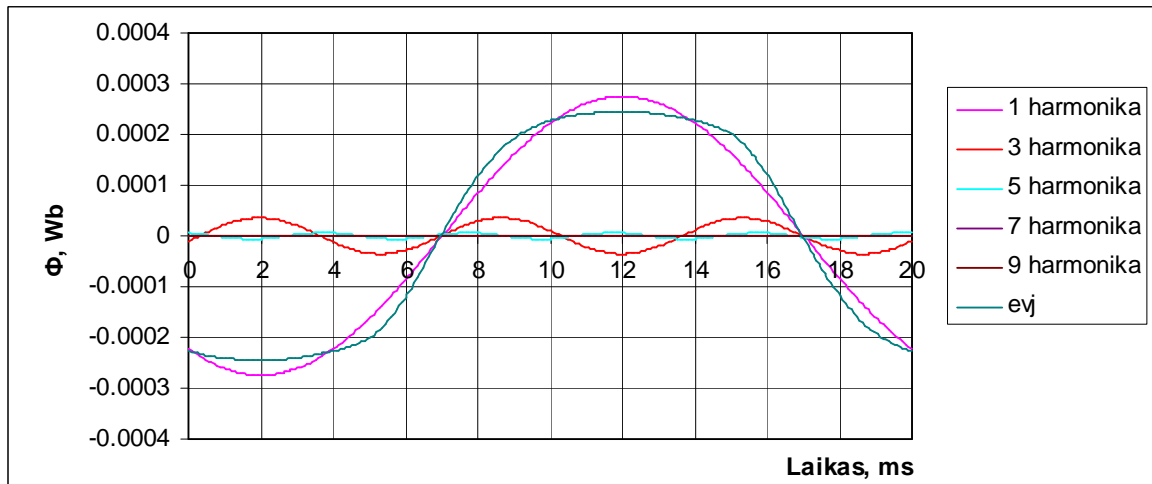
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00012	1.2-05	1.3-06	8.9-07
Pradinės fazės	201.21	172.70	209.97	203.09
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00024	1.9-05	2-06	4.3-07
Pradinės fazės	227.22	323.57	167.82	352.77
Fazių skirtumas	-26.01	-150.87	42.15	-149.68



Plačiosios sienelės magnetinis srautas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Plačiosios sienelės magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

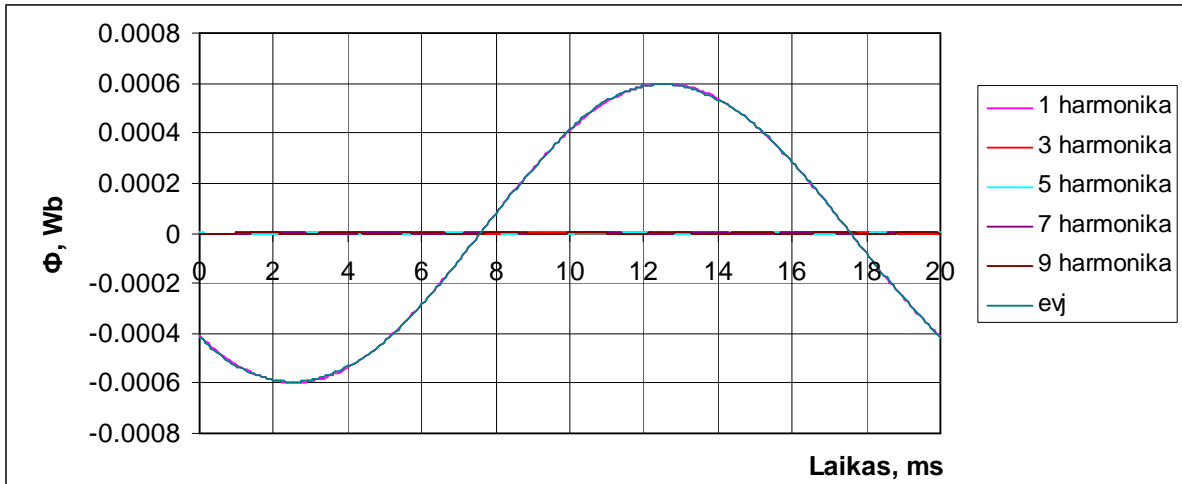
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0001656	0.0000151	0.0000028	0.0000001
Pradinės fazės	202.58	187.82	267.85	190.19



Siaurosios sienelės magnetinis srautas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios sienelės magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

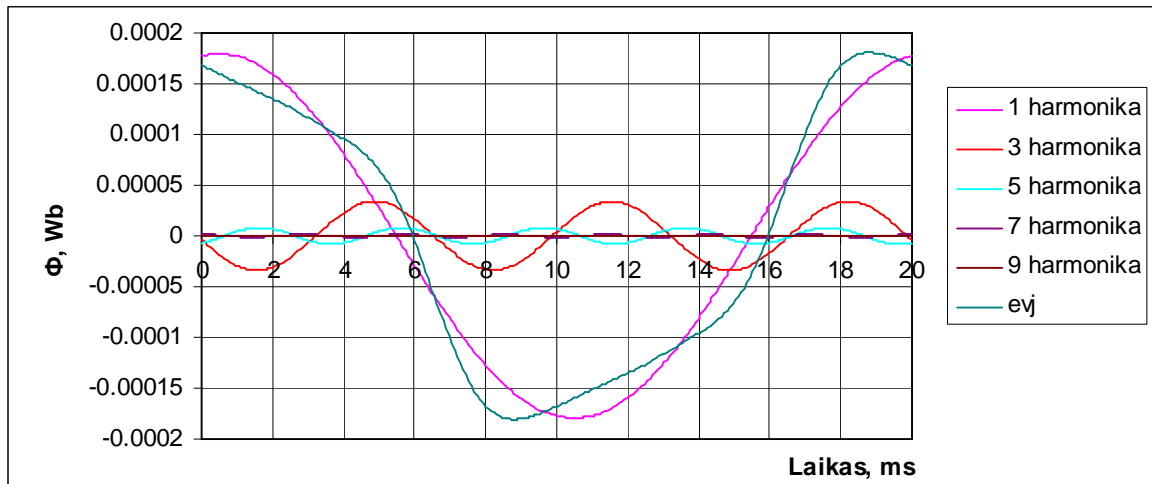
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0002749	0.0000357	0.0000062	0.0000017
Pradinės fazės	233.73	343.30	113.51	307.03



Poliaus magnetinis srautas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Poliaus magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

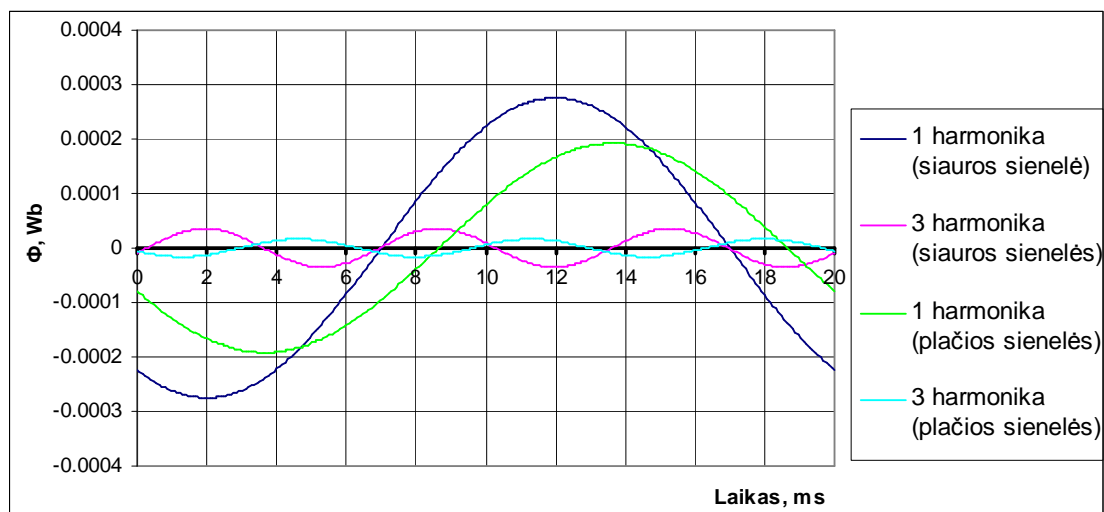
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0005968	0.0000039	0.0000017	0.0000005
Pradinės fazės	223.59	241.26	172.36	181.13



Poliuko magnetinis srautas (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Poliaus magnetinio srauto amplitudės ir pradinės fazės (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

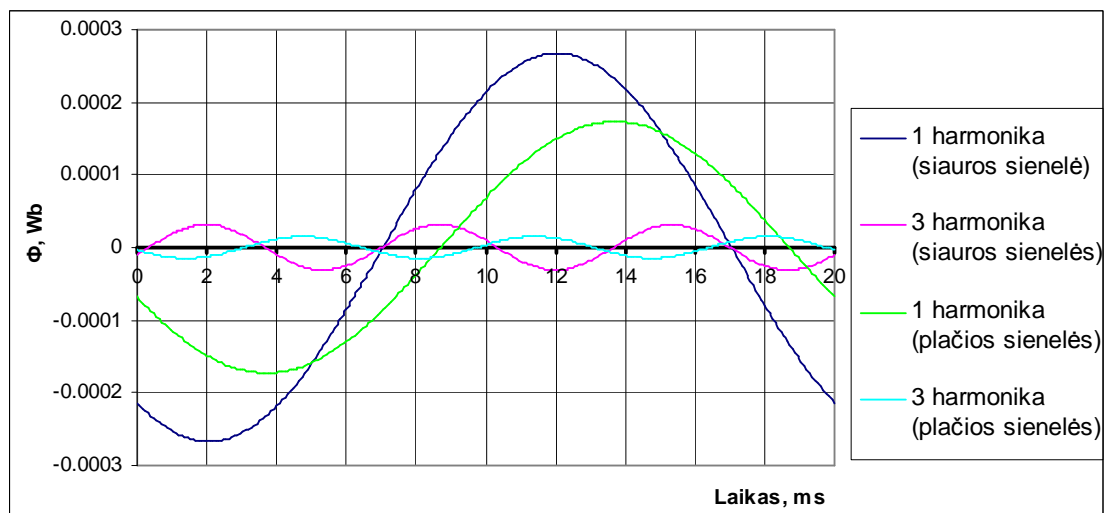
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.0001796	0.0000341	0.0000083	0.0000013
Pradinės fazės	81.26	186.46	301.77	89.43



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 220 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

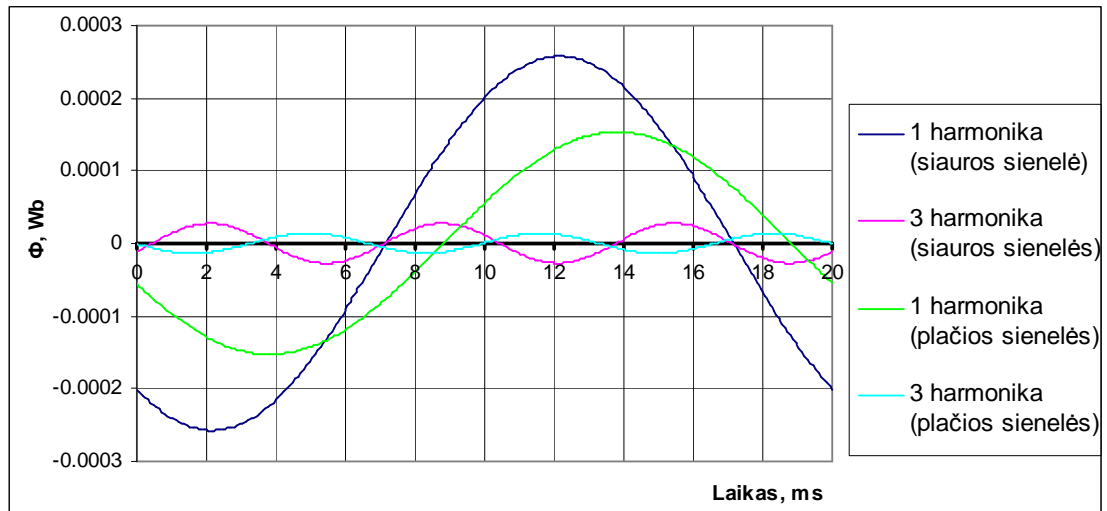
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00019	1.6-05	3.3-06	2.1-07
Pradinės fazės	204.34	199.70	290.65	108.45
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00028	3.5-05	6.2-06	1.8-06
Pradinės fazės	234.22	344.71	116.66	307.99
Fazių skirtumas	-29.88	-145.01	173.98	-199.54



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 200 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

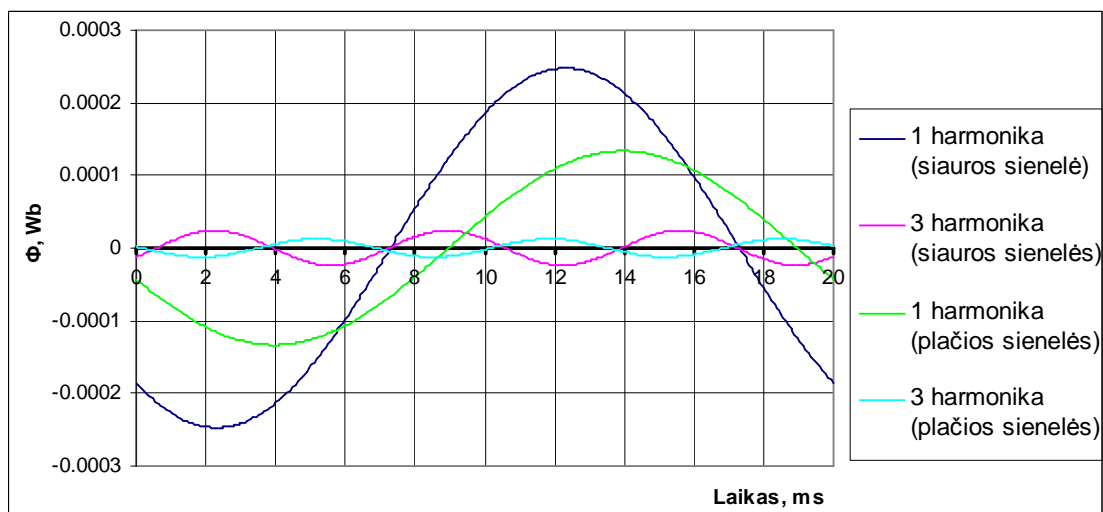
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00017	1.5-05	2.6-06	2.5-07
Pradinės fazės	203.29	192.80	282.15	169.59
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00027	3.1-05	4.6-06	1.8-06
Pradinės fazės	233.18	342.09	124.60	310.06
Fazių skirtumas	-29.89	-149.28	157.55	-140.48



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 180 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

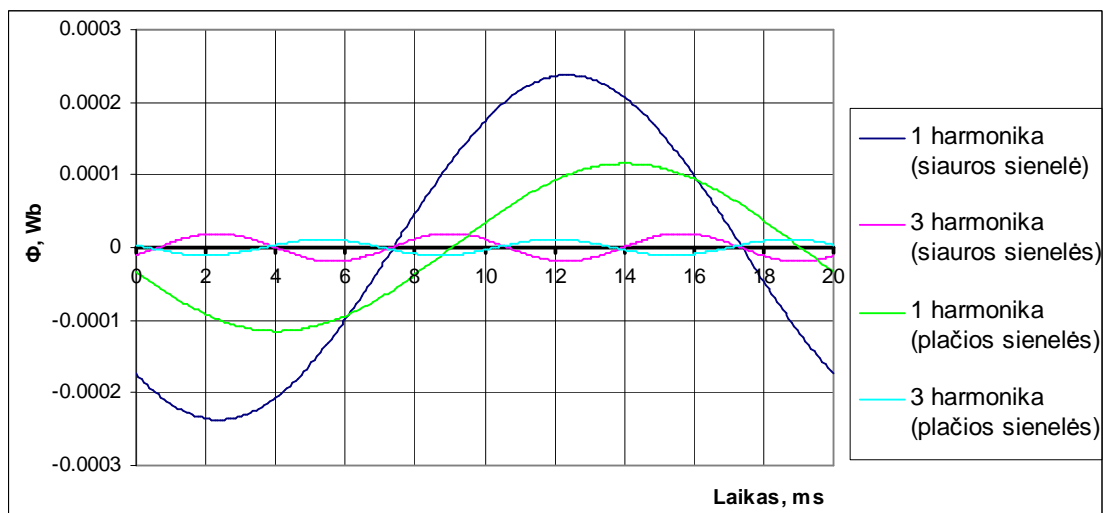
Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00015	1.4-05	2-06	4.3-07
Pradinės fazės	201.27	182.41	265.95	202.63
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00026	2.8-05	3.2-06	1.3-06
Pradinės fazės	231.20	336.27	127.69	312.30
Fazių skirtumas	-29.92	-153.86	138.26	-109.67



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 160 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00013	1.3-05	1.5-06	6-07
Pradinės fazės	198.77	169.82	245.67	202.76
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00025	2.4-05	2-06	7.5-07
Pradinės fazės	228.60	328.44	137.74	324.85
Fazių skirtumas	-29.83	-158.62	107.92	-122.09



Plačiosios ir siaurosios sienelių magnetinio srauto pirmosios ir trečiosios harmonikos. Įtampa 140 V (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Siaurosios ir plačiosios sienelių magnetiniai srautai (su dviem trumpai jungtomis vijomis)

Plačioji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00012	1.1-05	8.7-07	7.1-07
Pradinės fazės	197.02	160.89	218.41	195.71
Siauroji sienelė				
Harmonikos	1	3	5	7
Amplitudės, Wb	0.00024	1.9-05	1.6-06	6E-07
Pradinės fazės	227.21	324.62	172.21	4.04
Fazių skirtumas	-30.18	-163.73	46.20	191.67