

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Aleksandras Baranauskas

VARIKLIO SU EKCRANUOTAIŠ POLIAIS GREIČIO
REGULIAVIMO METODIKOS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Lekt. dr. Jonas Vanagas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

VARIKLIO SU EKРАНUOTAIS POLIAIS GREIČIO
REGULIAVIMO METODIKOS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (kodas 621H63003)

Vadovas

Lekt. dr. Jonas Vanagas
2017-06-05

Recenzentas

Doc. dr. Artūras Kalvaitis
2017-06-05

Projektą atliko

Aleksandras Baranauskas
2017-06-05

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Aleksandras Baranauskas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros ir energetikos inžinerija (kodas 621H63003)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Variklio su ekranuotais poliais greičio reguliavimo metodikos tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. birželio mėn. 05 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Aleksandro Baranausko** baigiamasis projektas tema „Varilio su ekranuotais poliais greičio reguliavimo metodikos tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Baranauskas, Aleksandras. Variklio su ekranuotais poliais greičio reguliavimo metodikos tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Jonas Vanagas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra. Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai
Reikšminiai žodžiai: *variklis, ekranuoti poliai, greičio reguliavimas, metodikos tyrimas*.
Kaunas, 2017. 46 psl.

Santrauka

Šiame darbe analizuojami šiuolaikinių vienfazių kondensatorinių ir ekranuotais poliais asinchroninių variklių efektyvumo tyrimo metodai, jų privalumai bei trūkumai. Visų pasaulyje elektros variklių suvartojamos energijos kiekis yra apie 17 TWh. Tuo tarpu mažųjų vienfazių variklių, kurių galia neviršija 0,75 kW, suvartojimas yra arti 2TWh, jų efektyvumas svyruoja nuo 15 iki 60%.

Tyrimo metu gauti rezultatai leidžia teigti, kad maitinant tokio tipo variklius elektroniškai komutuojamais įtampos reguliatoriais, galima supaprastinti variklio konstrukciją, atsisakant papildomų apvijų greičio reguliavimui, atsiranda galimybė švelniam sukimosi greičio valdymui, nebereikalingi greičio pakopų perjungėjai. Įmanomas nuotolinis valdymas, konstrukcija tampa pigesnė ir technologiškesnė. Įtampos ir srovės aukštesniųjų harmonikų spektras, naudojant naująjį reguliavimo metodą praktiškai nepasikeičia.

Baranauskas, Alexander. Motor with shielded poles speed control methodology study. Master's Final Project / Head lecturer. dr. Jonas Vanagas; Kaunas University of Technology, Electrical and Electronics, Faculty of Electrical Energy Systems Department.
Field of Science and areas: Electrical and Electronic Engineering, Technological Sciences
Keywords: *engine, shielded poles, speed control, survey methodology*.
Kaunas, 2017. 46 pages.

Summary

This paper analyzes the modern single-phase capacitor and the shaded pole induction motor efficiency methods, their advantages and disadvantages. The world electric energy consumption of electric motors is about 17 TWh. Meanwhile, the small single-phase motors with power levels up to 0.75 kW consumption is close 2TWh, their efficiency ranges from 15 to 60%. The study results suggest that this type of feeding motors with electronically commutated voltage regulator, it is possible to simplify engine design, eliminating the extra winding speed control, it is possible for smooth speed control, the speed-stage switches are no longer required. Possibility remote control, the structure becomes cheaper and technological. Spectrum of higher voltage and current harmonic, with the new regulatory approach practically unchanged.

Turinys

1. Santrumpų ir ženklų aiškinimo žodynas.....	6
2. Įvadas.....	8
3. Darbo tikslas ir uždaviniai.....	8
4. Asinchroninio variklio veikimo principas.....	10
5. Vienfazių variklių konstrukcija ir veikimo principas.....	16
6. Variklių su ekranuotais poliais konstrukcija ir veikimo principas.....	20
7. Kondensatorinių variklių konstrukcija ir veikimo principas.....	27
8. Asinchroninių variklių sukimosi greičio reguliavimas.....	29
9. Eksperimentinė dalis	34
9.1 <i>Ventiliatoriaus pavaros su kondensatoriniu varikliu bandymai</i>	35
9.2 <i>Ventiliatoriaus pavaros su ekranuotais poliais varikliu bandymai</i>	37
10. Variklių varžų aukštesniosioms harmonikoms matavimai.....	38
11. Išvados	45
12. Literatūra	46

1. Santrumpų ir ženklų aiškinimo žodynas

Naudotos santrumpos:

a - pagrindinė apvija;

b - kondensatorinė apvija;

p – statoriaus apvijos polių porų skaičius;

s – slydimas;

n_1 - magnetinio lauko sukimosi greitis;

n_s - statoriaus magnetinio lauko sukimosi greitis;

n_r - rotoriaus sukimosi greitis;

r_{21} – rotoriaus varža be papildomų varžų; mažiausia galima rotoriaus varža;

r_{22} – rotoriaus varža su papildomai įjungta varža;

r_{23} - rotoriaus varža su papildomai įjungtomis keliomis varžomis;

Φ_m –magnetinio srauto amplitudė;

Φ –magnetinis srautas;

$M_{tiesiog}$ – momentas, kurį sukuria tiesiogine (priimta teigiama) kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

M_{atv} - momentas, kurį sukuria atvirkštine kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

$s_{tiesiog}$ – slydimas tiesiogine kryptimi besisukančio magnetinio srauto atžvilgiu;

s_{atv} - slydimas atvirkštine kryptimi besisukančio magnetinio srauto atžvilgiu;

Φ_{ties} – tiesiogine kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

Φ_{atv} – atvirkštine kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

Φ_{rez} – rezultuojantis magnetinis srautas;

Φ_1 – pirminės apvijos magnetinis srautas;

I_K - Ekraninės vijos srovė;

I_1 – tiklo apvijos srovė;

φ – fazinis kampas;

β – erdvinis kampas;

α – vėlavimo kampas;

γ – elektrovaros fazė;

E_K – elektrovara;

φ_a – tinklo fazinis kampas;

φ_d – kondensatoriaus fazinis kampas;

\dot{I}_a – pagrindinės fazės (a) srovės fazorius;

\dot{I}_d – kondensatorinės fazės (d) srovės fazorius;

\dot{I}_1 - atvirkštinės sekos srovės fazorius;

\dot{I}_2 - atvirkštinės sekos srovės fazorius;

j – menamas vienetas;

U – tinklo įtampa;

U_v – vidutinė regulatoriaus išėjimo įtampos vertė;

U_m – tinklo įtampos amplitudė;

U_{ef} – efektinė regulatoriaus išėjimo įtampos vertė;

U_1-U_n – vardinės įtampos;

Z_{1a} ir Z_{2a} – kompleksinės tiesioginės ir atvirkštinės sekų varžos pagrindinei fazei;

Z_{1d} ir Z_{2d} – kompleksinės tiesioginės ir atvirkštinės sekų varžos kondensatorinei fazei;

R – aktyvioji varža;

W – galia;

w_a – pagrindinės fazės vijų skaičius;

w_d – kondensatorinės fazės vijų skaičius;

k – pagrindinės ir kondensatorinės fazės vijų skaičiaus santykis;

X_c – faktinė kondensatoriaus varža.

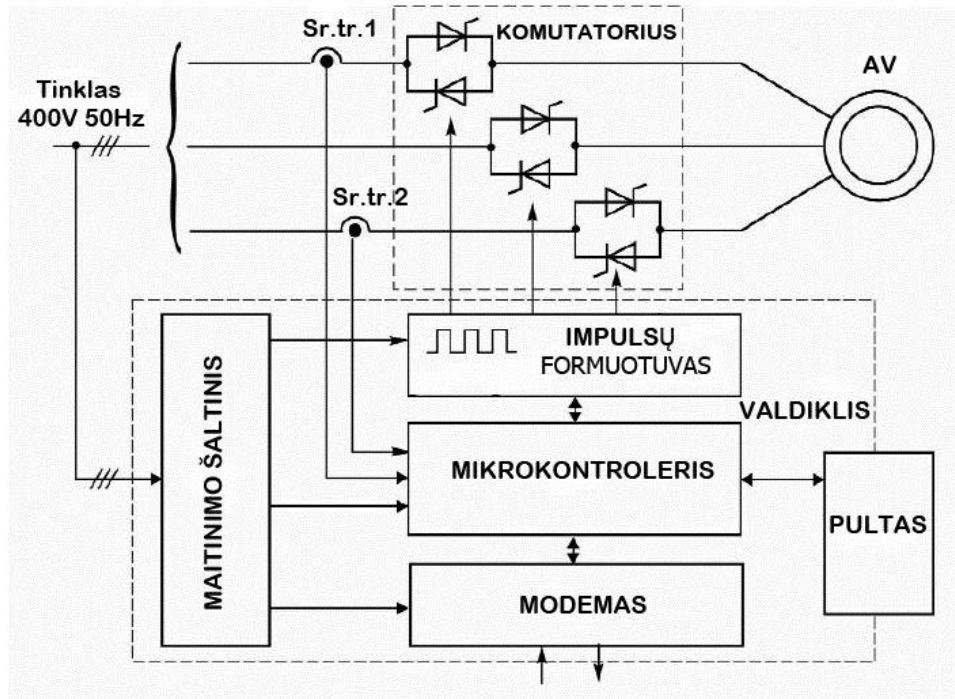
2. Įvadas

Šiuolaikinė biuro ir buitinė technika pastaruoju metu keičiasi dviem pagrindinėmis kryptimis, o būtent ji darosi vis ekonomiškesnė elektros energijos sunaudojimo požiūriu ir jos valdymas vis dažniau yra automatinis, panaudojant daiktų internetą. Tuo požiūriu akivaizdus atsilikimas pastebimas buitinės ir biuro technikos pavarose su ventiliatorine apkrovos charakteristika. Tokios pavaros tai – ventiliatoriai ir išcentriniai siurbliai. Pvz., didelis biuro ventiliatorius, pastatomas ant grindų. Žmogui, sėdinčiam prie darbo stalo, jei jis nori ventiliatorių įjungti, išjungti ar pereguliuoti jo sukimosi greitį, reikia atsistoti, priėti prie ventiliatoriaus ir paspausti atitinkamą mygtuką. O ir sukimosi greičio reguliavimo diapazonas nedidelis. Todėl dažnai, jei reikia ženkliai sumažinti oro srautą, reguliavimas suvedamas į tai, kad ventiliatorius pasukamas taip, kad jis pūstų į šoną. T.y. oro srautas sumažinamas, nemažinant iš tinklo imamos galios, kas irgi prieštarauja šiuolaikinėms tendencijoms. Trumpiau tariant, šioje vietoje yra akivaizdus atsilikimas. Todėl ir buvo iškeltas uždavinys praktiškai išbandyti tokį variklio sukimosi greičio reguliavimo būdą, kuris praplėstų sukimosi greičio reguliavimo diapazoną, kurį naudojant būtų įmanoma naudoti daiktų internetą ar distancinį valdymą bei įgalintų taupyti elektros energiją esant mažai apkrovai ir įvertinti tokio valdymo būdo perspektyvumą. Kadangi varikliai su ekranuotais poliais naudojami ne visose aukščiau minėtose pavarose, buvo nutarta neapsiriboti vien tik jų reguliavimo galimybių tyrimu. Didieji ventiliatoriai pastaruoju metu yra sukami kondensatorinių variklių su paskirstyta apvija. Šių variklių energetinio efektyvumo faktorius yra ženkliai didesnis (60 - 70%) negu variklių su ekranuotais poliais (20 - 30%). Todėl šiame darbe neapsiribojama vien tik variklių su ekranuotais poliais tyrimu; buvo tiriamos ir kondensatorinių variklių greičio reguliavimo galimybės. Siekiant užsiduoto darbo tikslo, numatyti atlikti šie uždaviniai:

3. Darbo tikslas ir uždaviniai

1. Išmatuoti ventiliatoriaus sukuriamo oro srauto greitis ir nustatyta jo priklausomybė nuo ventiliatoriaus sparnuotės sukimosi greičio.
2. Išmatuoti variklio sukimosi greitį, variklio srovę ir imamą iš tinklo galią visiems trims ventiliatoriaus darbo režimams, numatytiems mygtukiniu perjungikliu.
3. Išmatuoti variklio su ekranuotais poliais sukimosi greitį, srovę ir imamą iš tinklo galią visam sukimosi greičio reguliavimo diapazonui, keičiant maitinimo įtampą autotransformatoriumi.
4. Išmatuoti variklio su ekranuotais poliais sukimosi greitį, srovę ir imamą iš tinklo galią visam sukimosi greičio reguliavimo diapazonui, keičiant maitinimo įtampą įtampos reguliatoriumi.
5. Išmatuoti kondensatorinio variklio sukimosi greitį, srovę ir imamą iš tinklo galią visam sukimosi greičio reguliavimo diapazonui, keičiant maitinimo įtampą autotransformatoriumi.
6. Išmatuoti kondensatorinio variklio sukimosi greitį, srovę ir imamą iš tinklo galią visam sukimosi greičio reguliavimo diapazonui, keičiant maitinimo įtampą įtampos reguliatoriumi.
7. Įvertinti harmonikų spektro kitimą, keičiant maitinimo įtampą įtampos reguliatoriumi.
8. Išmatuoti variklių varžas aukštesniosiomis maitinimo įtampos harmonikoms.
9. Apibendrinti gautuosius rezultatus ir padaryti išvadas.

Trifazio asinchroninio variklio maitinimo įtampos reguliavimas, naudojant fazinį įtampos reguliatorių, jau gana seniai naudojamas švelnaus paleidimo įtaisuose.



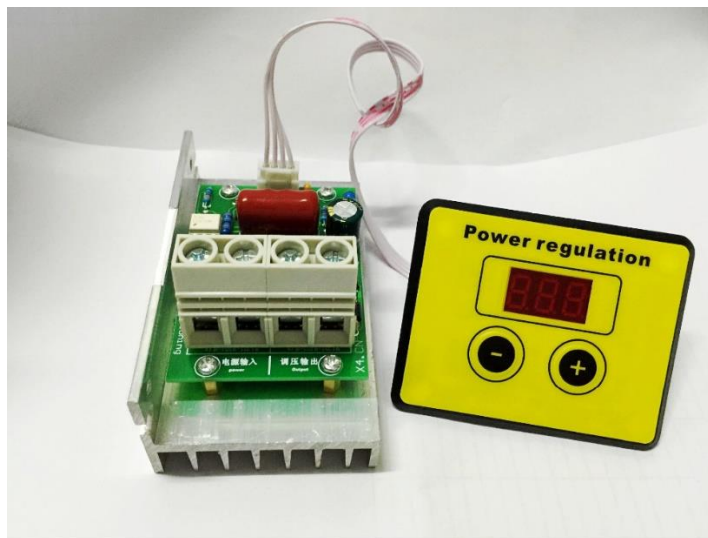
1 pav. Šiuolaikinio pramoninio trifazio asinchroninio variklio švelnaus paleidimo įtaiso struktūra



2 pav. Pramoninio trifazio asinchroninio variklio švelnaus paleidimo įtaiso bendras vaizdas

Šitoks švelnaus paleidimo įtaisas pakankamai sudėtingas ir brangus, be to skirtas trifaziam tinklui. Tačiau gaminami ir pakankamai pigūs vienfaziai įtampos reguliatoriai, skirti universaliųjų kolektorinių elektros variklių greičio reguliavimui, t.y. iduktyviai aktyviajai apkrovai, kurių galia nuo keletos iki dešimties kilovatų, tame tarpe ir mikrokontrolerių valdomi. Mažesnės galios, iki

kelių šimtų vatų, skirtų asinchroninių nedidelės galios variklių įtampos reguliavimui, šiuo metu rinkoje nėra, tačiau atsiradus paklausai, be abejo, atsirastų.

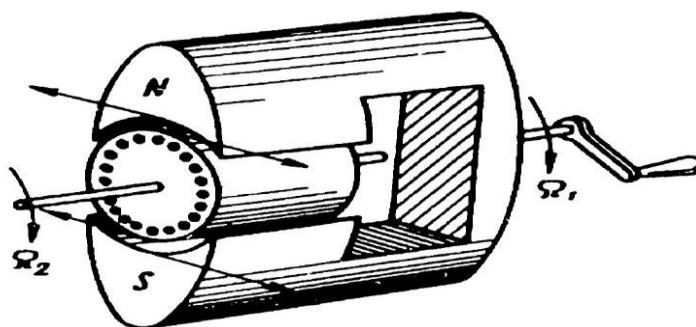


3 pav. Vienfazis mikrokontrolerio valdomas fazinis įtampos reguliatorius su pultu

Į šio darbo uždavinius neįeina klausimai, susiję su fazinio įtampos reguliatoriaus schemos ir konstrukcijos ir jo valdymo optimizavimu, todėl atliekant eksperimentinius tyrimus buvo naudojamas įtampos reguliatorius su rankiniu valdymu.

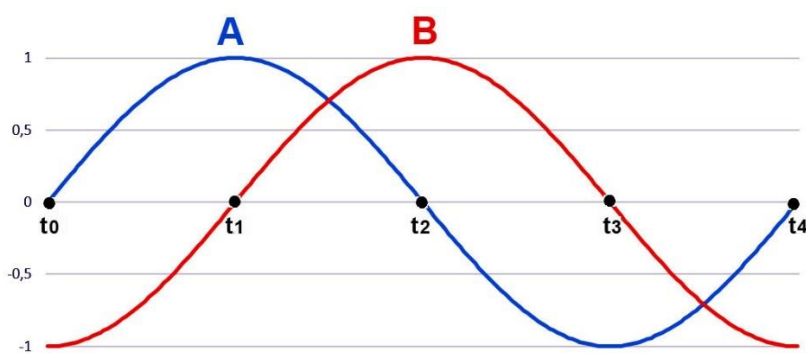
4. Asinchroninio variklio veikimo principas

Jeigu magnetinis laukas judėdamas kerta laidininkus, juose indukuojama elektrovara. Jeigu tie laidininkai yra uždaros elektrinės grandinės dalis, tuomet jais tekės srovė, kuri sąveikauja su jas sukūrusiu magnetiniu lauku. Kadangi indukuotų srovių kryptis tokia, kad jų sukurtas magnetinis laukas priešinasi jas sukėlusio indukuojančio magnetinio lauko kitimui, atsiranda mechaninės sąveikos jėgos. Laidininkai, prie kurių magnetinis laukas artėja, yra atstumiami; laidininkai, nuo kurių magnetinis laukas tolsta – traukiami to magnetinio lauko. Jei feromagnetinį rotorių su grioveluose esančiais laidžiais strypais, užtrumpintais tarpusavyje rotoriaus galuose, veiks sukamasis magnetinis laukas, kaip parodyta 1 pav., rotorius suksis ta pačia kryptimi, kaip ir magnetinis laukas. Tačiau rotorius visuomet suksis lėčiau, negu sukasi magnetinis



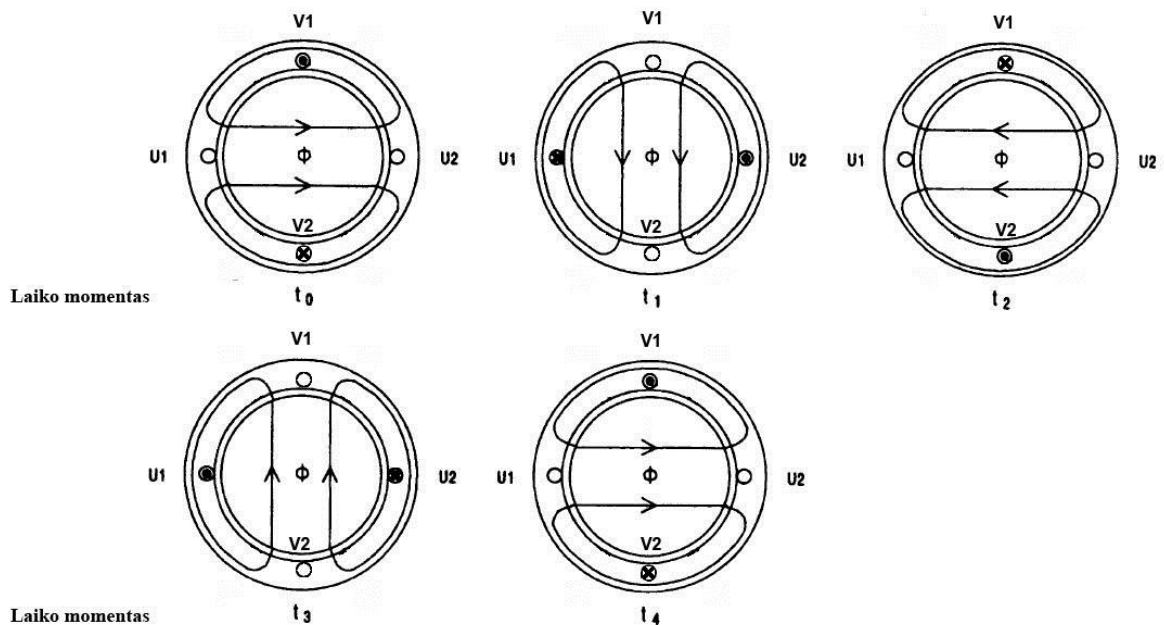
4 pav. Rotorius, veikiamas sukamojo magnetinio lauko

laukas. Juk tam, kad tarp magnetinio lauko ir rotoriaus atsirastų sąveika, reikia, kad rotoriaus strypais tekėtų srovė. O jeigu magnetinio lauko ir rotoriaus sukimosi greičiai būtų lygūs, magnetinis laukas nekirstų rotoriaus strypų ir juose neindukuotų srovių. Sąveika tarp sukamojo magnetinio lauko ir rotoriaus išnyktų. Todėl rotoriaus sukimasis sukamojo magnetinio lauko atžvilgiu bus nevienalaikis arba, naudojant tarptautinį terminą, asinchroninis. Todėl įtaisą, parodytą 4 pav. galima pavadinti asinchroniniu. Lygiai taip pat jį galima pavadinti indukciniu, nes judesys perduodamas dėl indukuotų rotoriuje srovių. Analogiškai veikia ir asinchroninis variklis, tik jame vietoje judančių magnetų yra statorius su nejudančia daugiafaze apviją, sukuriančią sukamąjį magnetinį lauką. Mažiausias fazių skaičius, įgalinantis gauti sukamąjį magnetinį lauką, yra dvi fazės. Panagrinėsime šį atvejį. Egzistuoja du cilindriniai koncentriniai magnetolaidžiai, atskirti oro tarpu. Statoriaus magnetolaidyje yra keturi grioveliai, kuriuose patalpintos dvi statoriaus apvijų ritės – horizontaliuose grioveliuose fazės A ritė, vertikaliuose – fazės B ritė. Srovės fazėse A ir B tuomet kinta atitinkamai pagal sinuso ir kosinuso dėsnius, o statoriaus apvijų ritės statmenos viena kitai. Laiko momentu t_0 kintanti pagal sinuso dėsnį srovė fazėje A (ritė $U_1 - U_2$) lygi nuliui, o srovė fazėje B (ritė $V_1 - V_2$), atsilikant pagal fazę 90° , yra maksimalaus dydžio ir neigiamos krypties (teka iš V_2 į V_1). Lauko šiuo laiko momentu kryptis horizontali, iš kairės į dešinę. Laiko momentu t_1 kintanti pagal sinuso dėsnį srovė fazėje A (ritė $U_1 - U_2$) lygi maksimaliai teigiamai vertei, ir srovė joje teka iš U_1 į U_2 , o srovė fazėje B lygi 0. Magnetinio lauko kryptis vertikali žemyn; jis pasisuko 90° . Laiko momentu t_2 kintanti pagal sinuso dėsnį srovė fazėje A vėl lygi nuliui, o srovė fazėje B yra maksimalaus dydžio ir teigiamos krypties (teka iš V_1 į V_2). Lauko šiuo laiko momentu kryptis horizontali, iš dešinės į kairę. Magnetinis laukas pasisuko dar 90° . Laiko momentu t_3 kintanti pagal sinuso dėsnį srovė fazėje A lygi maksimaliai



5 pav. Srovės dvifazės apvijų fazėse skirtingais laiko momentais

neigiamai vertei, ir srovė joje teka iš U_2 į U_1 , o srovė fazėje B lygi 0. Magnetinio lauko kryptis vertikali žemyn; jis pasisuko dar 90° , viso jau 270° . Laiko momentu t_4 viskas taip pat, kaip ir laiko momentu t_0 , prasideda naujas periodas, laukas jau apsisuko 360° .



6 pav. Dvifazėje apvijoje kuriamas magnetinis srautas atitinkamais laiko momentais

Pramoninio tinklo dažnis Europoje 50 Hz, todėl maitinant pramoninio dažnio srovių sistema, magnetinio lauko sukimosi greitis:

$$n_1 = 60f_1 = 3000 \frac{aps}{min} \quad (1)$$

Tačiau asinchroniniame variklyje nebūtinai turi būti tik viena polių pora. Jeigu statoriuje simetriškai išdėstyti ne 2 skirtingų fazių rites o, pvz., 4 (po 2 skirtingas fazes ta pačia tvarka kartosis), tuomet gausime ne dvipolį, o keturpolį sukamąjį lauką. Per statoriaus srovių periodą toks keturpolis sukamasis laukas pasisuks per vieną polių porą, kaip ir dvipolio statoriaus atveju, bet tai jau atitiks ne visą, o tik pusę apsisukimo. Jei ričių bus 3 poros, atitinkamai turėsime šešiapolį sukamąjį lauką, kuris per periodą apsisuks trečdalį apsisukimo ir t.t. Kuo didesnis polių porų skaičius, tuo lėčiau sukasi statoriaus srovių sistemos kuriamas sukamasis magnetinis laukas. Statoriaus magnetinio lauko sukimosi greitis bet kokio polių skaičiaus statoriui

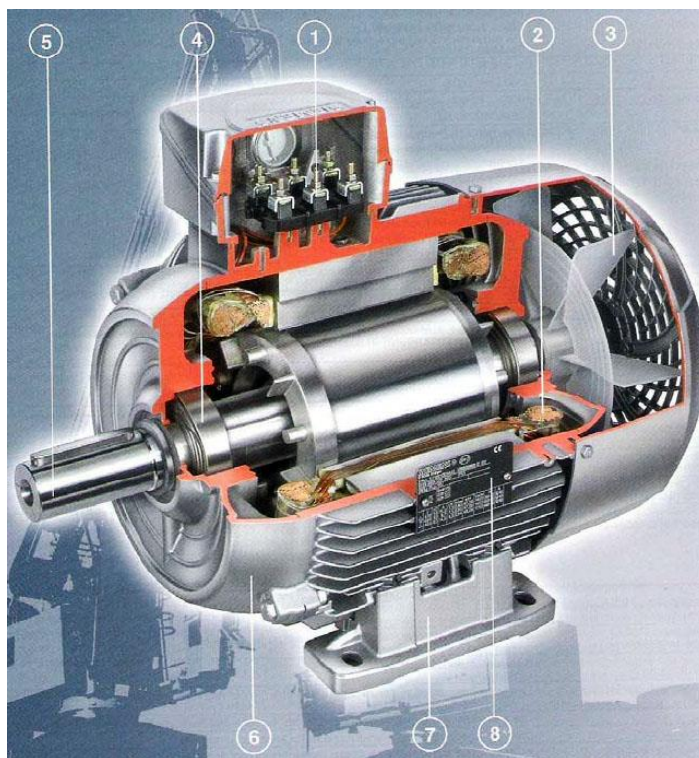
$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \frac{aps}{min} \quad (2)$$

Arba SI sistemoje

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} \frac{radianų}{s} \quad (3)$$

Čia p – statoriaus apvijos polių porų skaičius.

Trifazio asinchroninio variklio su trumpai jungtu rotoriumi konstrukcija parodyta 7 pav.



7 pav. Trifazio asinchroninio variklio konstrukcija

Čia:

1. Apvijos gnybtų dėžutė
2. Statoriaus apvija
3. Aušinantis ventiliatorius
4. Guolis
5. Velenas su rotoriumi
6. Guolio dangtis
7. Korpuso kojos
8. Duomenų skydelis

Asinchroniniuose varikliuose sukamasis momentas atsiranda dėl statoriaus ir rotoriaus apvijų srovių sąveikos. Tačiau prie įtampos šaltinio jungiama tiktai statoriaus apvija. Srovės rotoriaus apvijoje indukuoja statoriaus magnetinis laukas. Iš čia dar vienas tokio variklio pavadinimas – indukcinis variklis (angl. **Induction motor**). Angliškoje literatūroje labiau paplitęs būtent šis terminas. Lietuvių ir vokiečių kalbose dažniau naudojamas terminas **asinchroninis variklis**.

Tam, kad būtų rotorijoje indukuojamos srovės, variklio rotorius turi sukintis lėčiau, negu magnetinis laukas; rotorius tarsi praslysta magnetinio lauko atžvilgiu. Todėl dydis, charakterizuojantis statoriaus magnetinio lauko ir rotoriaus greičių skirtumą ir buvo pavadintas **slydimu**. Slydimas (angl. **Slip**, vok. **Schlupf**) žymimas raide s ir apskaičiuojamas, išreikštas santykiniais vienetais

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (4)$$

Dažnai patogiau slydimą išreikšti ne santykiniais vienetais, bet procentais. (nereikia sakyti, pvz „nulis, kablelis nulis šeši“; sakoma „šeši procentai“). Slydimas, išreikštas procentais

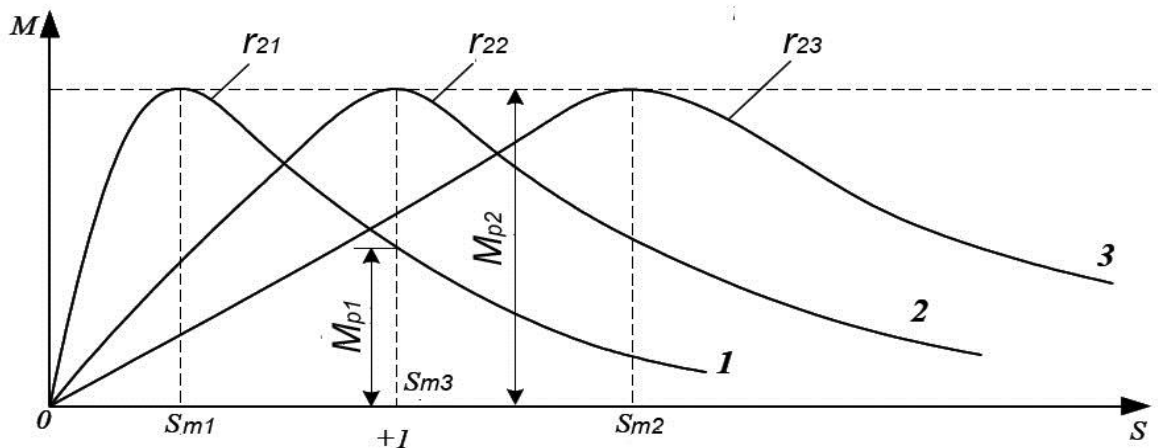
$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100\% \quad (5)$$

Čia:

n_s - statoriaus magnetinio lauko sukimosi greitis

n_r - rotoriaus sukimosi greitis

Jei variklis neapkrautas, slydimas nedidelis, rotorius sukasi mažai atsilikdamas nuo magnetinio lauko ir rotoriaus srovės nedidelės, momentas, sąlygojamas besisukančio magnetinio srauto ir rotoriaus srovių sąveikos, nedidelis, lygus trinties guoliuose ir ventiliatoriaus momentų sumai. Apkrovus variklį, šio sukuriamo momento nepakanka palaikyti tam sukimosi greičiui. Rotoriaus sukimosi greitis pradeda mažėti. Bet tuomet pradeda didėti rotoriaus strypuose indukuota elektrovara, didėja rotoriaus srovės, o tuo pačiu ir variklio sukamasis momentas. Taip pat didėja ir indukuotų rotorijuje srovių dažnis. Tai lemia gana sudėtingą variklio sukamojo momento priklausomybę nuo slydimo. Kol slydimas labai nedidelis, rotoriaus srovės ir variklio sukamasis momentas praktiškai proporcingi slydimui, nes pasireiškia tik aktyvioji rotoriaus varža. Didėjant slydimui, kaip jau buvo minėta, didėja rotoriaus srovių dažnis ir atsiranda ir induktyviosios rotoriaus varžos poveikis; srovė jau nebebus proporcinga slydimui. Be to rotoriaus srovė dėl induktyviosios varžos įtakos pradeda atsilikti nuo elektrovaros ir tik dalį periodo kuriamas teigiamas sukamasis momentas. Todėl didėjant slydimui, sukamojo momento didėjimas vis lėtėja, kol tampa lygus nuliui. Pasiekiamas sukamojo momento maksimumas, toliau, didėjant slydimui, variklio sukamasis momentas mažėja. Kuo mažesnė rotoriaus varža, tuo sparčiau didėja variklio sukamasis momentas, didėjant slydimui, bet tuo greičiau pasireiškia induktyviosios varžos įtaka. Todėl variklio maksimalaus momento dydis nepriklauso nuo rotoriaus aktyviosios varžos, tačiau slydimas, kuriam esant pasiekiamas šis maksimalus momentas didėja, didėjant rotoriaus varžai (8 pav.).



8 pav. Asinchroninio variklio mechaninės charakteristikos priklausomybė nuo rotoriaus aktyviosios varžos

Čia:

r_{21} – rotoriaus varža be papildomų varžų; mažiausia galima rotoriaus varža;

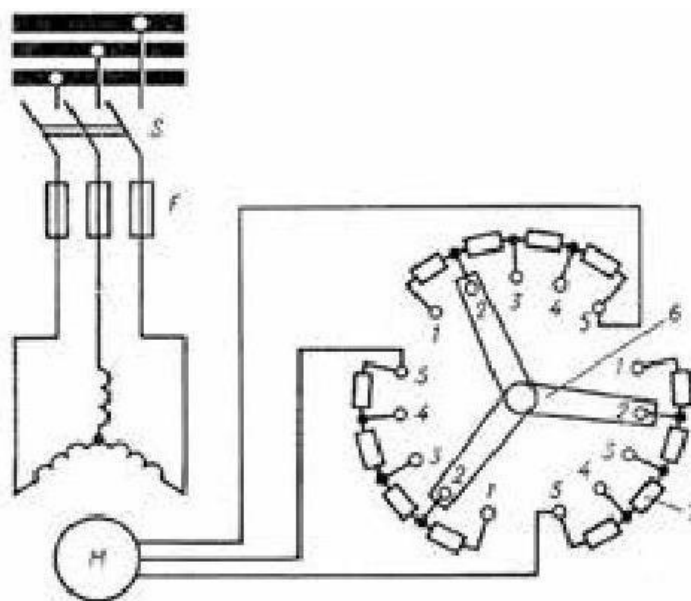
r_{22} – rotoriaus varža su papildomai įjungta varža, todėl $r_{22} > r_{21}$

r_{23} – rotoriaus varža su papildomai įjungtomis keliomis varžomis; $r_{23} > r_{22}$

Tokiu būdu asinchroninio variklio charakteristika, kai rotoriaus grandinėje nėra įjungta jokių papildomų varžų, yra ta, kuri pažymėta skaičiumi 1. Atitinkamai variklio paleidimo momentas (momentas, atitinkantis slydimui $s = +1$) yra M_{p1} . Asinchroninio variklio charakteristika, kai rotoriaus grandinėje įjungta papildoma varža, tokio dydžio, kad paleidimo momentas būtų lygus maksimaliam momentui, pažymėta skaičiumi 2. Tokio dydžio papildomą varžą į rotoriaus grandinę tikslingą įjungti variklio paleidimo momentu. Variklio paleidimas vyks trumpiau, nes paleidimo momentas žymiai didesnis, o paleidimo srovė bus mažesnė, nes bendra variklio varža bus didesnė lyginant su atveju, kai rotoriaus grandinėje nėra papildomų varžų. Asinchroninio variklio charakteristika, pažymėta skaičiumi 3 atitinka atveją, kai rotoriaus grandinėje įjungta papildoma varža, tokio dydžio, kad didžiausias momentas išsvystomas tuomet, kai slydimas ženkliai viršija +1. Toks variklio darbas atitinka atveją, kai variklis dirba stabdymo režimu, nes rotorius sukais į vieną pusę, o magnetinis statoriaus laukas į kitą. Toks režimas gali būti reikalingas, pvz., nuleidžiant krovinį. Stabdymas neleidžia kroviniui pernelyg greitai įsibėgėti.

Keičiant rotoriaus varžą, galima ne tik keisti slydimą, atitinkantį maksimalų momentą, bet ir slydimą, atitinkantį apkrovos momentą, kitaip tariant reguliuoti variklio sukimosi greitį. Kliūtis plačiau išnaudoti tokių variklių gerąsias savybes yra jų sudėtinga konstrukcija, o tuo pačiu ir didelė tokių variklių kaina, kuri atsiperka tik didesnės galios variklių atveju.

9 pav. parodyta variklio su faziniu rotoriumi jungimo schema, kurioje panaudotas 5 padėčių perjungiklis, leidžiantis gauti 5 skirtingas mechanines variklio charakteristikas.



9 pav. Asinchroninio variklio rotoriaus varžos keitimo schema

Asinchroninio variklio sukamojo momento santykio su maksimaliu priklausomybę nuo slydimo aprašo Kłoso formulė:

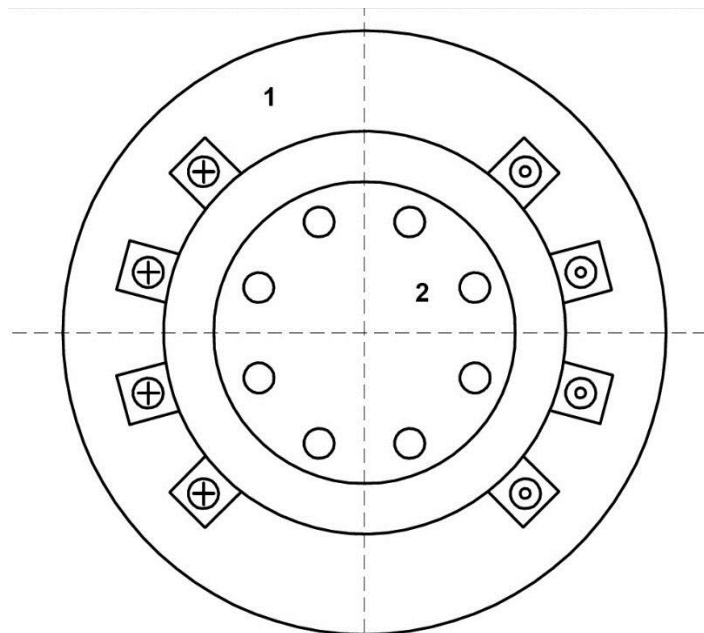
$$\frac{M}{M_{max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \quad (6)$$

O nuo ko priklauso maksimalaus sukamojo momento dydis? Nuo asinchroninio variklio geometrijos, parametrų ir nuo sukamojo magnetinio srauto dydžio. Ir priklausomybė nuo magnetinio srauto dydžio yra kvadratinė. Juk sukamasis momentas atsiranda nuo magnetinio srauto sąveikos su rotoriaus srovėmis per jų sandaugą. O rotoriaus srovės savo ruožtu proporcingos sukamojo magnetinio srauto dydžiui.

5. Vienfazių variklių konstrukcija ir veikimo principas

Vienfaziai asinchroniniai varikliai naudojami daugiausia butyje, kur egzistuoja vienfazis elektros tinklas įvairių buitinių prietaisų pavarose.

Terminas „vienfaziais variklis“ nėra vienareikšmiškas. Vienfaziais varikliais plačiąja prasme vadinami varikliai, jungiami į vienfazį tinklą. Siaurąja prasme – varikliai, turintys tik vieną apviją, kuriančią variklyje pulsuojantį magnetinį lauką. Panagrinėkime, kaip veikia vienfazis asinchroninis variklis, kuriame yra tik viena apvija, kurianti pulsuojantį magnetinį srautą.



10 pav. Vienfazio asinchroninio variklio konstrukcija

Čia:

1. Statorius su statoriaus apvija, paskirstyta statoriaus grioveluose
2. Rotorius su trumpai jungta apvija, toks pats, kaip ir trifaziame asinchroniniame variklyje

Vijų skaičius atskirose statoriaus apvijos sekcijose yra dažniausiai nevienodas tam, kad magnetinio srauto oro tarpe pasiskirstymas pagal vidinį statoriaus apskritimą būtų artimas sinusiniam. Šis srautas laiko atžvilgiu kinta sinuso dėsnio:

$$\phi = \phi_m \sin \omega t \quad (7)$$

Toks srauto kitimas yra tiksliai laiko atžvilgiu; erdvėje šis magnetinis srautas visą laiką, pvz., 10 pav., vertikalus ir kinta tiksliai jo ženklas. Tam, kad būtų galima nagrinėjant vienfazius variklius pasinaudoti žinomomis trifazių variklių savybėmis, pakeiskime pulsuojančią magnetinį srautą dviejų besisukančių magnetinių srautų suma. Pulsuojančią magnetinį srautą pakeičiame dviem vienodo dydžio magnetiniais, sinchroniškai besisukančiais vienodu greičiu, bet skirtingomis kryptimis magnetiniais srautais, kiekvieno iš jų dydis lygus pusei pulsuojančio magnetinio srauto amplitudės Φ_m ir nekinta laike (8 pav.). Laiko momentas, kai šie abu magnetiniai srautai nukreipti vertikaliai aukštyn atitinka laiko momentą, kai pulsuojančias magnetinis srautas pasiekia teigiamą maksimalią reikšmę. Kadangi šių abiejų srautų kryptys sutampa, jų vektorinė suma lygi aritmetinei sumai ir ši suma lygi Φ_m .

Laiko momentas, kai abu magnetiniai srautai sudaro su vertikale 45° kampą, atitinka laiko momentą, kai kampas tarp jų yra statmenas. Jų vektorinė suma:

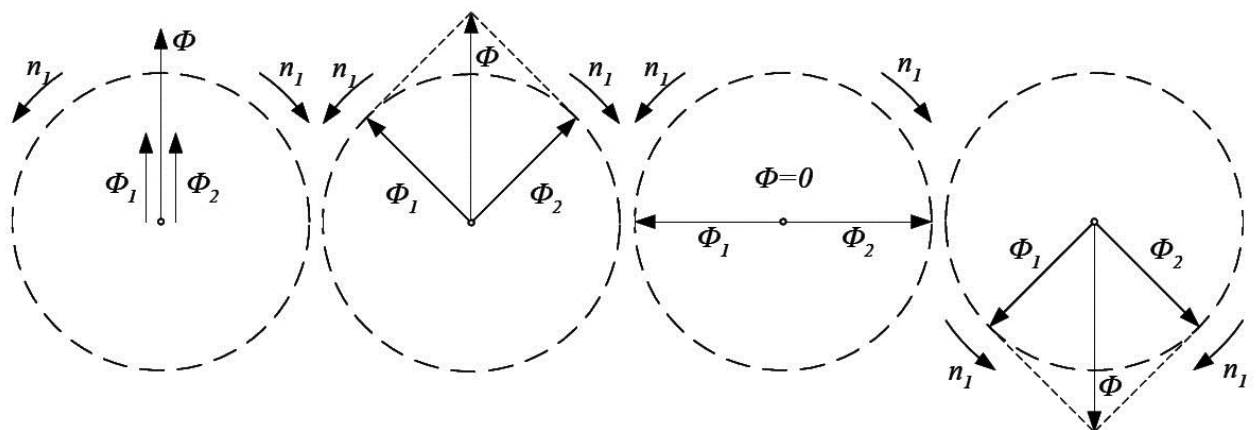
$$\phi = \sqrt{2} \frac{\phi_m}{2} \quad (8)$$

tapatybiškai lygi pulsuojančio magnetinio srauto reikšmei, kai laikinis kampas ωt lygus 45° .

Laiko momentas, kai abu magnetiniai srautai nukreipti horizontaliai, atitinka laiko momentą, kai pulsuojančias magnetinis srautas tampa lygus nuliui.

Laiko momentas, kai abu magnetiniai srautai sudaro su vertikale 45° kampą žemiau horizontalios linijos, tapatybiškai lygi pulsuojančio magnetinio srauto reikšmei, kai laikinis kampas ωt lygus 135° .

Toliau viskas kartojasi analogiškai aukščiau aprašytam, tik su kampų ir srauto ženklų pakeitimu į priešingus.



11 pav. Vienfazio variklio pulsuojančias magnetinis srautas kaip dviejų besisukančių srautų suma

Čia (paveikslėliai iš kairės į dešinę):

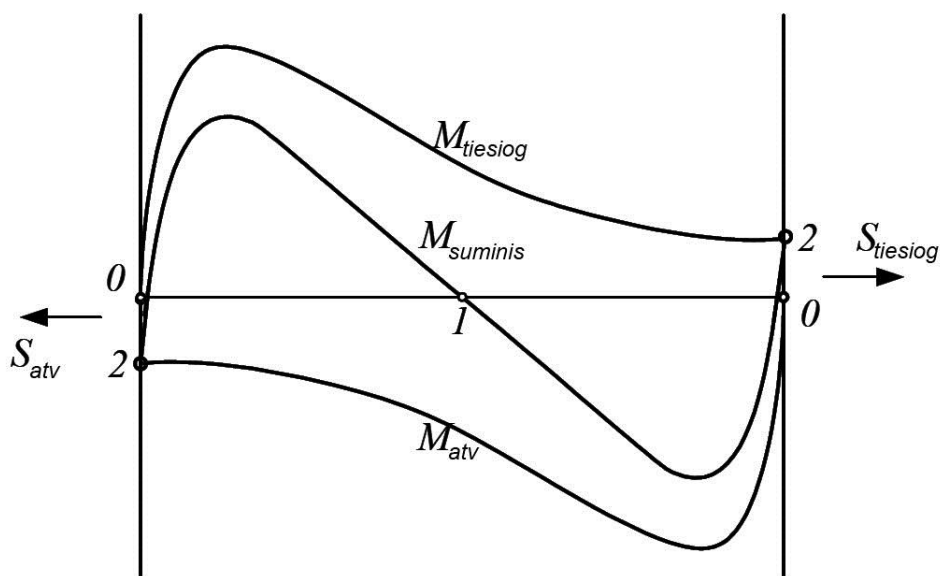
1. Laiko momentas $t = 0$. Abiejų besisukančių srautų kryptys sutampa teigiama kryptimi, pulsuojantis magnetinis srautas $\phi = \phi_m$.
2. Laiko momentas $t = T/8$ (laikas lygus aštuntadaliui periodo; periodas yra atvirkščias dydis dažniui f). Abiejų besisukančių srautų kryptys statmenos, pulsuojantis magnetinis srautas

$$\phi = \sqrt{2} \frac{\phi_m}{2} \quad (9)$$

3. Laiko momentas $t = T/4$ (laikas lygus ketvirtadaliui periodo). Abiejų besisukančių srautų kryptys priešingos, pulsuojantis magnetinis srautas lygus nuliui/
4. Laiko momentas $t = T3/8$ (laikas lygus trimis aštuntadaliams). Abiejų besisukančių srautų kryptys statmenos, pulsuojantis magnetinis srautas

$$\phi = \sqrt{2} \frac{\phi_m}{2} \quad (10)$$

Tad jeigu pulsuojantį srautą galime pakeisti dviejų vienodo dydžio, sinchroniškai besisukančių į priešingas puses srautų suma, pulsuojančio magnetinio srauto sąveika su besisukančiu trumpai jungtu rotoriumi gali būti pakeista dviejų vienodo dydžio, sinchroniškai besisukančių į priešingas puses srautų sąveikų suma.



12 pav. Pulsuojančio magnetinio srauto sąveika su besisukančiu rotoriumi

Čia:

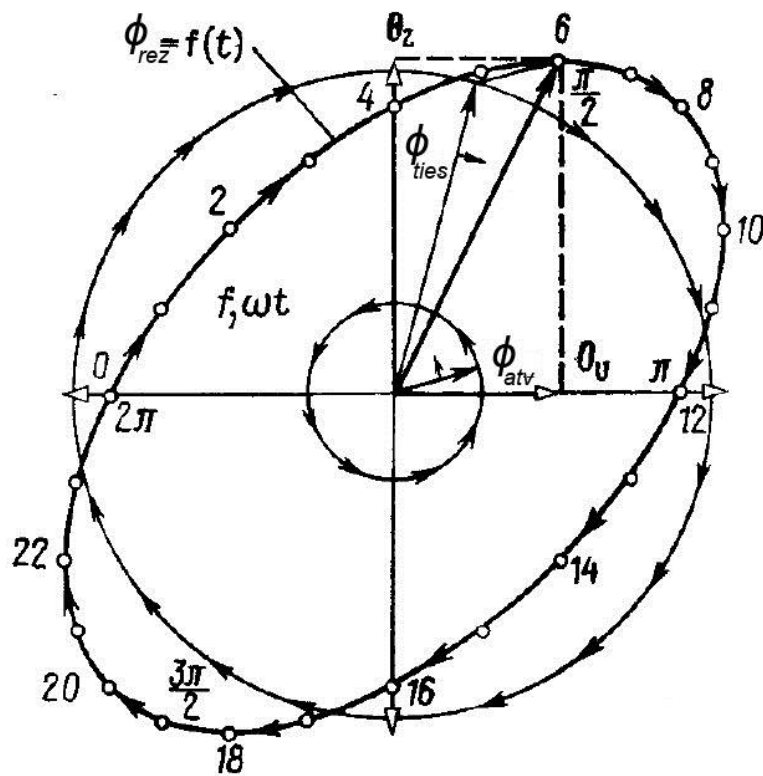
$M_{tiesiog}$ – momentas, kurį sukuria tiesiogine (priimta teigiama) kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

M_{atv} - momentas, kurį sukuria atvirkštine kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

$S_{tiesiog}$ – slydimas tiesiogine kryptimi besisukančio magnetinio srauto atžvilgiu;

S_{atv} - slydimas atvirkštine kryptimi besisukančio magnetinio srauto atžvilgiu.

Matome, kad visu pirma, variklio režimas tuo atveju, kai variklyje yra tik viena apvija, kurianti pulsuojantį magnetinį srautą, įmanomas, variklis vienodai gerai gali sukurti tiek į vieną, tiek ir į kitą pusę. Tačiau paleidimo momento toks variklis neturi. Todėl grynai vienfazių variklių nebūna. Darbo metu variklis gali būti grynai vienfazis, tačiau paleidimo metu, nors trumpam, prijungiama papildoma, paleidimo apvija, kurios pagalba sukuriamas elipsinis magnetinis laukas, kuriame abi priešingomis kryptimis besisukantys magnetiniai srautai yra nevienodo dydžio. Elipsinį lauką sudaro tarsi du magnetiniai laukai – pulsuojantysis magnetinis srautas ir sukamasis magnetinis srautas. Pulsuojantį magnetinį srautą galima išskaidyti į du vienodus, besisukančius priešingomis kryptimis srautus. Tą dalį, kuri sukasi ta pačia kryptimi, kaip ir sukamasis srautas, galima tarpusavyje vektoriškai susumuoti ir turėsime du nevienodo dydžio magnetinius srautus, besisukančius priešingomis kryptimis. Žemiau esančiame 13 pav. parodyta, kaip tokių dviejų besisukančių srautų vektorinės sumos rezultatas duoda elipsinį besisukantį magnetinį srautą ϕ_{rez} .



13 pav. Tiesioginio ir atvirkštinio nevienodo dydžio srautų suma

Čia:

Φ_{ties} – tiesiogine kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

Φ_{ties} – atvirkštine kryptimi besisukantis magnetinis srautas;

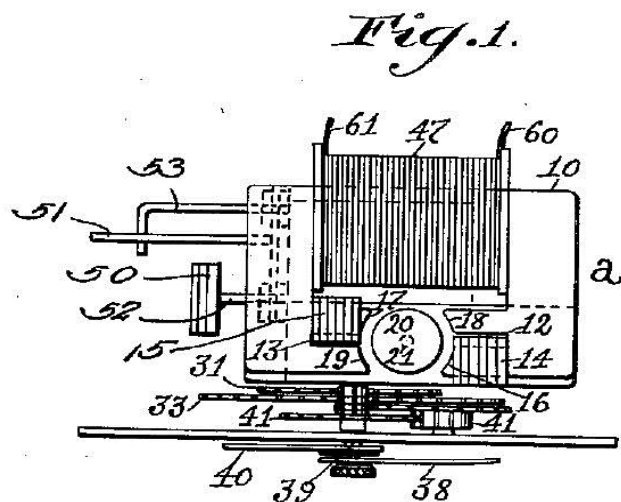
Φ_{ties} – rezultuojantis magnetinis srautas.

Rezultuojantis magnetinis srautas vadinamas apskritiminiu arba elipsiniu pagal tai, kokios formos figūrą brėžia vektorius, kurio kryptis sutampa su magnetinio srauto kryptimi, o ilgis proporcingas magnetinio srauto dydžiui.

Vienfaziai plačiąja to žodžio prasme asinchroniniai elektros varikliai su elipsiniu magnetiniu srautu, o konkrečiai asinchroniniai varikliai su ekranuotais poliais ir kondensatoriniai varikliai turi paleidimo momentą ir plačiai naudojami buitėje kaip buitinių ventiliatorių ir siurblių varikliai.

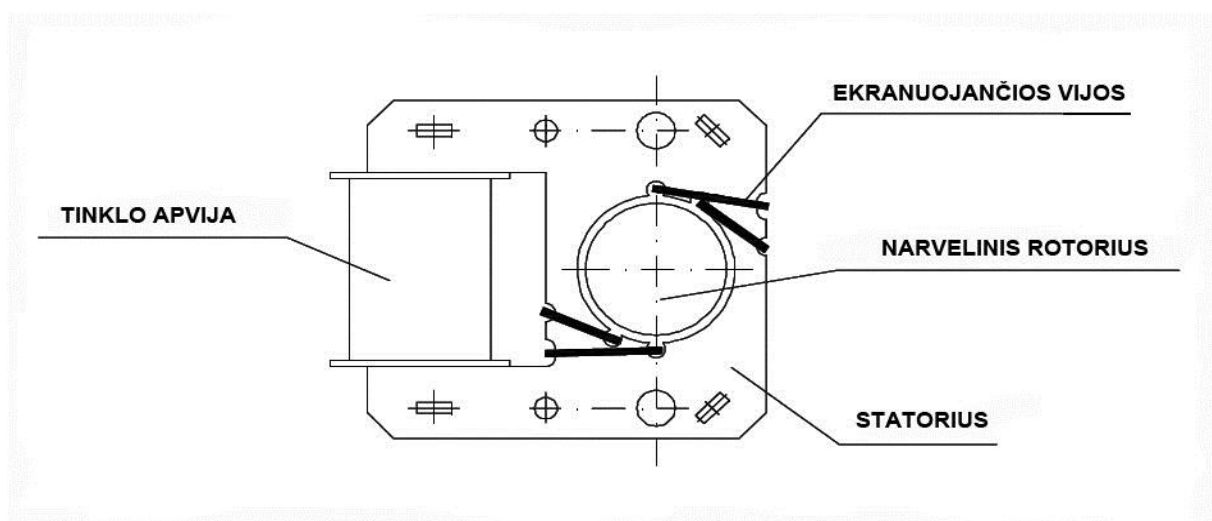
6. Variklių su ekranuotais poliais konstrukcija ir veikimo principas

Nedidelės galios varikliai su ekranuotais poliais žinomi ir naudojami jau seniai. Jie gali būti sinchroniniai ir asinchroniniai. Dažniausiai naudojami asinchroniniai, tačiau galime rasti ir sinchroninių variklių panaudojimo pavyzdžių. Pvz., JAV 1918 metais buvo išduotas patentas US 1283434 jungiamam į tinklą elektriniam sieniniam laikrodžiui, kuriame laikrodinį mechanizmą suko sinchroninis varikliukas su ekranuotais poliais.



14 pav. Ekranuotais poliais variklis patento brėžinio fragmente

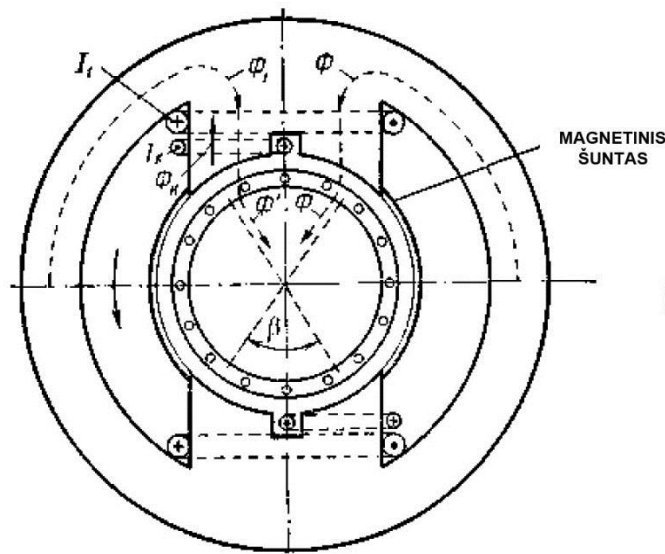
Varikliai su ekranuotais poliais yra ryškiapoliai varikliai. Juose apviija suvyniota ant polių arba ant jungo, o ne paskirstyta grioveliuose.



15 pav. Variklio su ekranuotais poliais konstrukcija

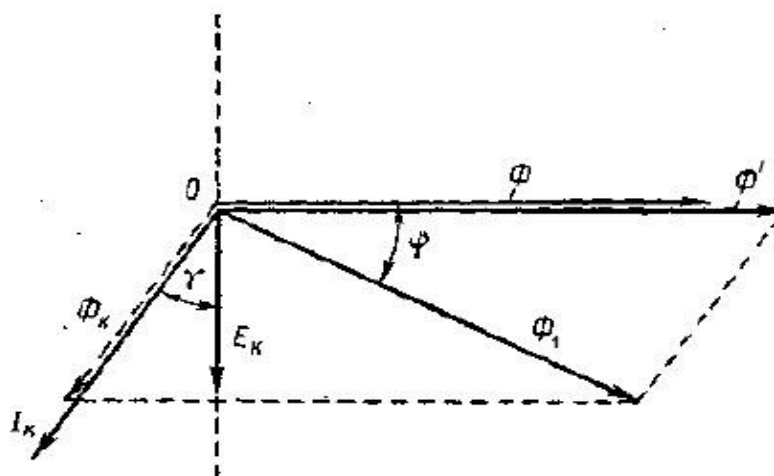
Variklis su ekranuotais poliais turi tik vieną apviją, jungiamą į tinklą; pagalbinė apvija, kurianti perstumtos fazės pagalbinį lauką, kurio dėka suminis magnetinis laukas variklio oro tarpe yra ne pulsuojantis, o elipsinis, energiją gauna transformatorinio ryšio su tinklo apvija dėka.

Panagrinėkime variklio su ekranuotais poliais veikimo principą. 16 pav. parodyta, kaip variklyje susidaro skirtingą pradinę fazę ir skirtingą kryptį turintys magnetiniai srautai Φ ir Φ_1 . Srautą Φ kuria vien tik tinklo apvijos srovė I_1 . Srautą Φ_1 kuria ir tinklo apvijos srovė I_1 ir ekraninės vijos srovė I_K .



16 pav. Variklio su ekranuotais poliais skirtingos fazės ir krypties magnetinių srautų, kertančių rotorių susidarymas

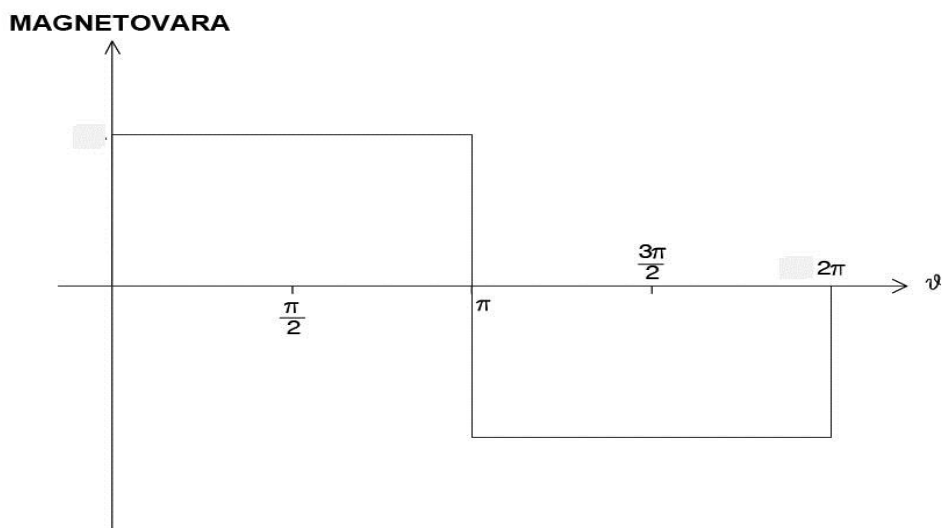
Sudarysime fazorių diagramą šiems srautams



17 pav. Variklio ekranuotais poliais magnetinių srautų fazorių diagrama

Pažymėkime atitinkamas Φ_I srauto dedamąsias: Φ^I – srauto dedamąją, kurią tinklo apvijos I_1 ir Φ_K - srauto dedamąją, kurią ekraninės vijos srovės. Srauto dedamoji Φ^I savo faze sutaps su srautu Φ . Ekraninėje vijoje šis kintamasis srautas indukuos elektrovarą E_K , atsiliekančią nuo srauto 90° faze. Ekranine vija tekės srovė I_K , atsiliekanči nuo elektrovaros faze γ , kuri dėl induktyviai – aktyvios vijos srovės visada yra didesnė už 0° , bet mažesnė už 90° . Šių dviejų srautų vektorinė suma ir yra srautas Φ_I , atsiliekančias nuo srauto Φ faziniu kampu φ . Jeigu yra du pulsuojančios magnetiniai srautai, tarp kurių yra erdvinis kampas β ir fazių skirtumas φ , bus kuriamas elipsinis laukas, kurio sukimosi kryptis – nuo poliaus dalies su pralenkiančiu pagal faze magnetiniu srautu link poliaus dalies su atsiliekančiu pagal fazę magnetiniu srautu, kaip parodyta 13 pav. – prieš laikrodžio rodyklės kryptį.

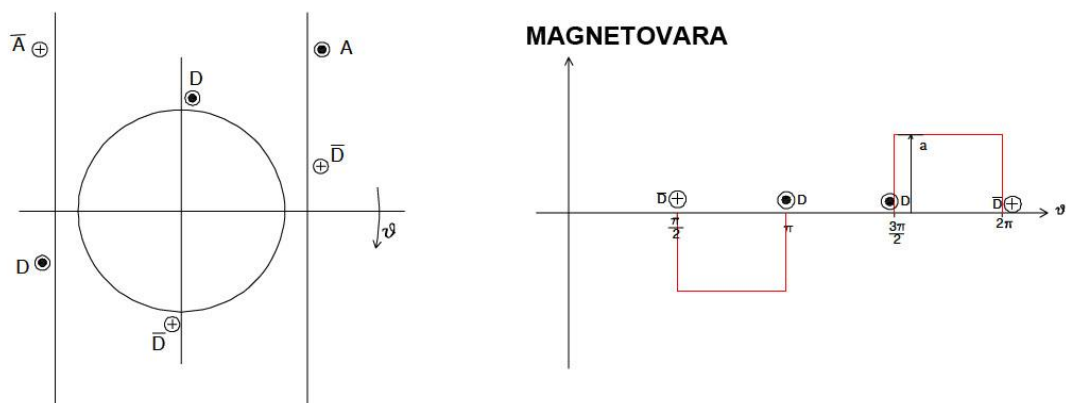
Dabar dar pasiaiškinkime, kokių dėsniais erdvėje kinta variklio su ekranuotais poliiais oro tarpo magnetinio srauto tankis.



18 pav. Tinklo ritės kuriama magnetovara

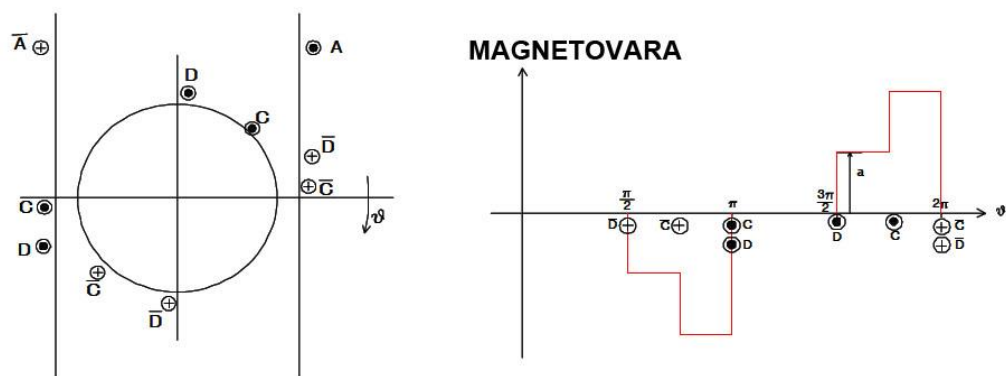
Tinklo ritės kuriama magnetovara yra meandro pavidalo. Ekraninių vijų kuriama magnetovara priklauso nuo ekraninių vijų skaičiaus poliui.

19 pav. parodyta ekraninių vijų kuriama magnetovara, kai variklyje yra viena tokia vija poliui. Magnetovara dar toliau nuo idealios – sinusinės, negu tinklo ritės kuriama magnetovara, t.y. variklyje egzistuoja stipriai išreikštos erdvinės aukštesniosios harmonikos ir su jomis susiję papildomi nuostoliai bei parazitiniai momentai.



19 pav. Ekraninių vijų kuriama magnetovara, kai variklyje yra viena vija poliui

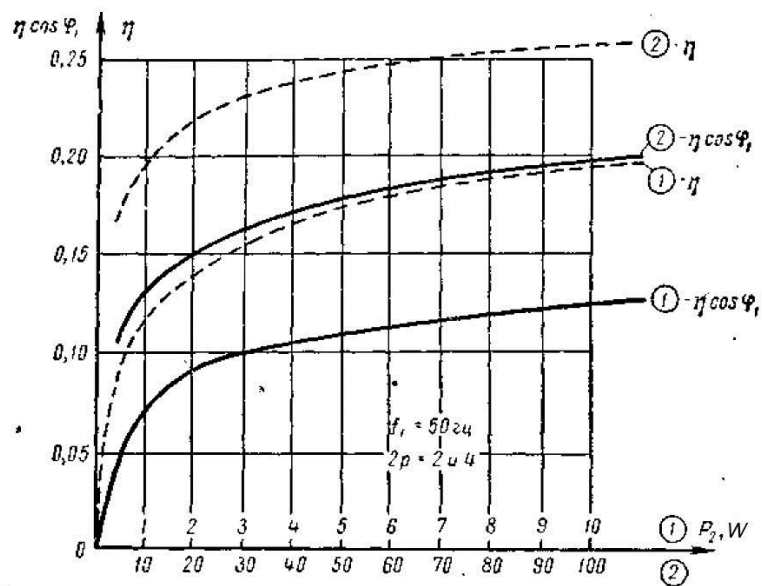
Šiek tiek ekraninių vijų kuriamos magnetovaros vaizdą pagerina dviejų ekraninių vijų poliui naudojimas (19 pav.), tačiau variklio, kurio pagrindinis privalumas yra pigumas, savikainą tai didina. Be to, nei fazinis kampas tarp srautų, nei erdvinis kampas tarp jų niekada net teoriškai negali priartėti prie idealių 90° .



20 pav. Ekraninių vijų kuriama magnetovara, kai variklyje yra dvi vijos poliui

Išvardinti asinchroninio variklio su ekranuotais poliais trūkumai yra palyginti nedidelio tokių variklių energetinio efektyvumo, kuris tik daugiau negu 20 W varikliams priartėja prie 25% (20 pav., paimtas iš variklių su ekranuotais poliais projektavimo metodikos). Tokie šio variklio trūkumai. O privalumas, maitinant nesinusine įtampa, yra tai, kad ir aukštesniosios harmonikos kurs tos pačios krypties sukamąjį momentą, kaip ir pagrindinė harmoniką. Veikimo principas tas pats, nepriklausomai nuo dažnio, kiekvienai harmonikai ekraninėje vijoje bus kuriamas jos magnetinis srautas, atsiliekančio pagal fazę ir perstumtas erdvėje pagrindinio, tinklo apvijų kuriamo srauto harmonikos atžvilgiu.

Pagrindinis asinchroninio variklio su ekranuotais poliais privalumas yra konstrukcijos paprastumas ir technologiškumas. Todėl tokie varikliai pigūs ir patikimi. O energetinis efektyvumas nėra lemiantis faktorius mažos galios varikliui.



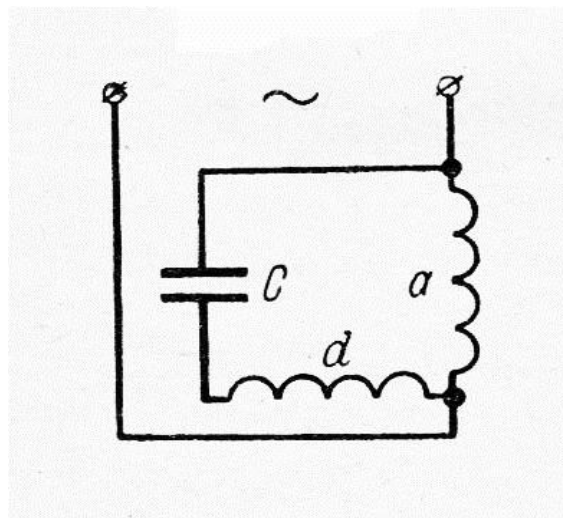
21 pav. Variklio su ekranuotais poliais energetinio efektyvumo priklausomybė nuo galios

7. Kondensatorinių variklių konstrukcija ir veikimo principas

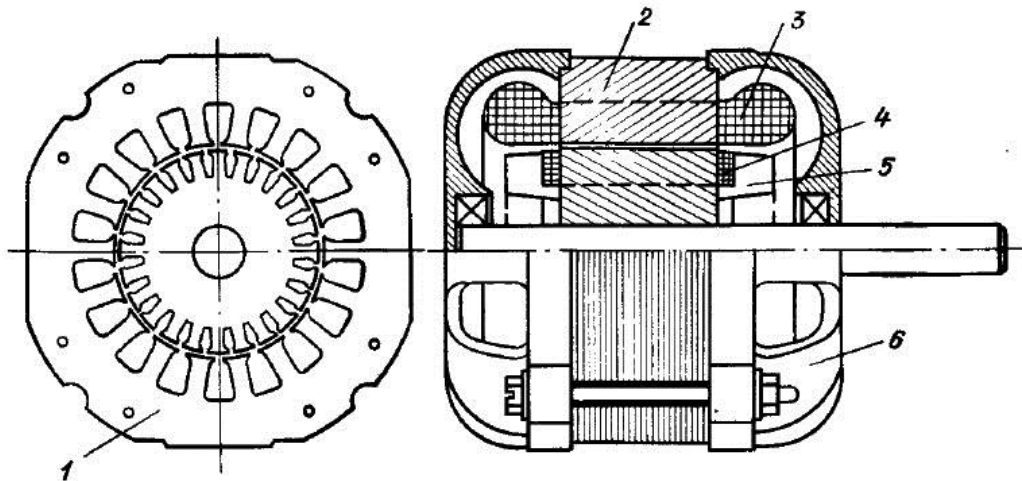
Kondensatoriniai varikliai dažniausiai yra su paskirstyta apvija, ir tikrai visai mažos galios varikliai yra ryškiapoliai. Kondensatoriniuose varikliuose yra dvi erdvėje perstumtos 90° elektrinių laipsnių apvijos, kurių viena paprastai jungiama tiesiai į tinklą, o kita prie tinklo jungiama per kondensatorių. Geometriniai laipsniai elektros mašinose lygūs elektriniams laipsniams, dalintiems iš mašinos polių porū skaičiaus.

Taip gaunamas apvijų srovių kuriamų magnetinių srautų fazių skirtumas, artimas 90° .

Egzistuoja keletas kondensatorinio variklio jungimo schemų. Dažniausiai naudojama yra parodyta 22 pav.



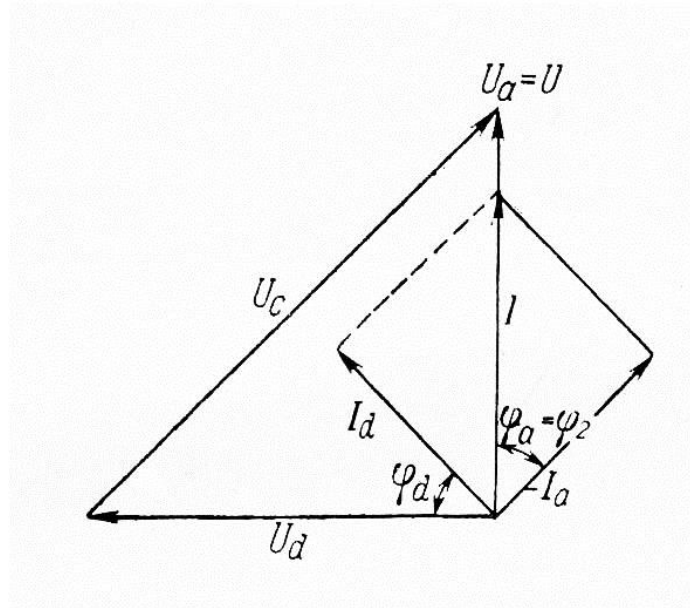
22 pav. Dažniausiai naudojama kondensatorinio variklio jungimo schema



23 pav. Kondensatorinio variklio su paskirstyta apvija statoriaus ir rotoriaus lakštai (kairėje) bei konstrukcija

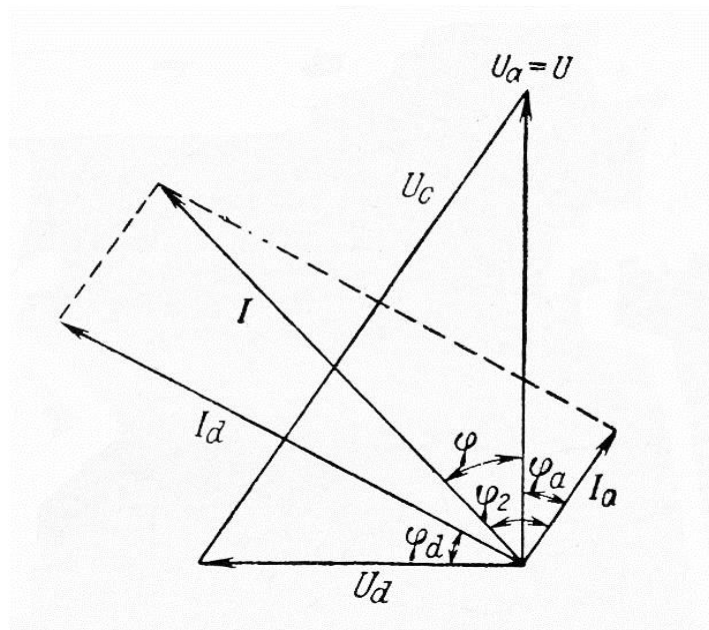
Pagal šią schemą viena iš variklio apvijų, pagrindinė apvija *a*, jungiama tiesiai į tinklą ir ja teka aktyviai – induktyvioji, atsiliekanti pagal fazę nuo tinklo įtampos srovė. Kita apvija, kondensatorinė apvija *b* jungiama į tinklą per kondensatorių *C* ir ja teka aktyviai – talpinė, pralenkianti tinklo įtampą pagal fazę srovė.

Pagrindinė apvija prijungta prie tinklo tiesiogiai. Kadangi apkrovos pobūdis aktyviai – induktyvus, Pagrindinės apvijos srovė atsiliks nuo tinklo įtampos faze φ_a , kuri yra didesnė už 0° , bet mažesnė už 90° . Kondensatorinės fazės srovė pralenks tinklo įtampą, nes kondensatoriaus talpa parenkama taip, kad kondensatoriaus varža būtų didesnė už apvijų induktyviąją varžą, tuomet bendra šios fazės varža yra aktyviai – talpinio pobūdžio. Kondensatoriaus varža optimali yra tuomet, kai apvijų srovių fazių skirtumas 90° ir srovės lygios. Tuomet ir apvijų įtampos taip pat lygios ir jų fazių skirtumas taip pat 90° . Juk apvijų vienodos, tai ir $\varphi_a = \varphi_d$. Kondensatorinių variklių apvijos dažnai būna paskirstytos, t.y. turi po kelias sekcijas, patalpintas grioveluose. Dėl to, kad magnetinis laukas oro tarpe apskritiminis ir jo pasiskirstymas gana artimas sinusiniam, kondensatorinių variklių energetinis efektyvumas gana didelis, net nedideliems varikliams jis būna didesnis, negu 60%. Pagrindinis kondensatorinių variklių trūkumas yra tai, kad apskritiminį lauką galima gauti tik vienam darbo taškui, tik tam tikram apkrovos.



24 pav. Kondensatorinio variklio fazorių diagrama, kai apvijose vijų skaičius vienodas

dydžiui. Iš pirmo žvilgsnio paradoksalu, kad kondensatorinis variklis gali perkaisti ir net sudegti, jei jis veikia neapkrautas, tuščiojoje veikoje. Mažėjant apkrovai, variklio apvijų pilnoji varža didėja induktyviosios varžos didėjimo sąskaita. Pagrindinėje apvijoje srovė mažėja. O kondensatorinėje atvirkščiai – didėja. Reaktyvioji suminė varža lygi kondensatoriaus ir apvijų induktyviosios varžų skirtumui. Kondensatoriaus varža nekinta, o apvijų induktyvioji varža didėja, todėl skirtumas mažėja. Artėjama prie įtampų rezonanso. Tuo pačiu labai padidėja kondensatoriaus įtampa, atsiranda jo pramušimo pavojus.



25 pav. Kondensatorinio variklio fazorių diagrama, kai apvijose vijų skaičius nevienodas

Kondensatoriniam varikliui pagal schemą 22 pav. galioja šios lygtys fazių srovėms:

$$\begin{cases} \dot{I}_a = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \\ \dot{I}_d = j\dot{I}_1 - j\dot{I}_2 \end{cases} \quad (11)$$

Čia

\dot{I}_a – pagrindinės fazės (a) srovės fazorius, \dot{I}_d – kondensatorinės fazės (d) srovės fazorius, \dot{I}_1 – tiesioginės sekos srovės fazorius, \dot{I}_2 - atvirkštinės sekos srovės fazorius, j – menamas vienetas.

Taip pat galioja lygtys šios schemos fazių įtampoms:

$$\begin{cases} U = Z_{1a}\dot{I}_1 + Z_{2a}\dot{I}_2 \\ U = jZ_{1d}\dot{I}_1 - jZ_{2d}\dot{I}_2 \end{cases} \quad (12)$$

Čia

Z_{1a} ir Z_{2a} – kompleksinės tiesioginės ir atvirkštinės sekų varžos pagrindinei fazei

Z_{1d} ir Z_{2d} – kompleksinės tiesioginės ir atvirkštinės sekų varžos kondensatorinei fazei;

Be to: $Z_{1a} = Z_1 + R$; $Z_{2a} = Z_2 + R$

$$Z_{1d} = \frac{Z_1 + Z'_c}{k};$$

$$Z_{2d} = \frac{Z_2 + Z'_c}{k},$$

čia:

$$k = \frac{W_a}{W_d}$$

k - pagrindinės ir kondensatorinės fazių vijų skaičių santykis

$Z'_c = -jX'_c = jk^2X_c$; X_c – faktinė kondensatoriaus varža

Įstatę varžų išraiškas į (2) lygčių sistemą ir išsprendę ją tiesioginės ir atvirkštinės srovių atžvilgiu, turime:

Tiesioginės sekos srovės išraišką

$$\dot{I}_1 = \frac{Z'_c + Z_2(1 - jk)}{2Z_1Z_2 + Z'_c(Z_1 + Z_2)} U \quad (13)$$

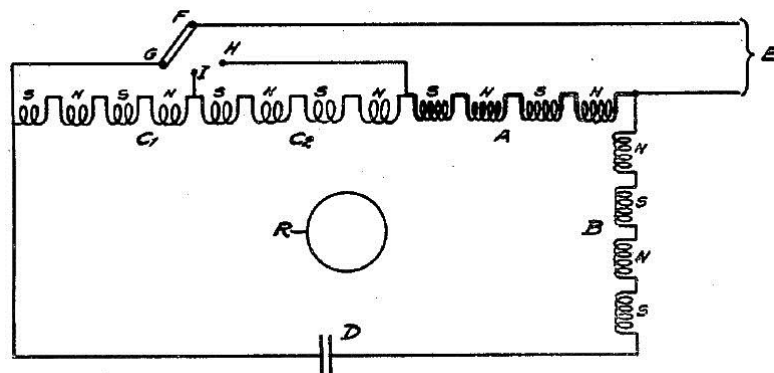
Ir atvirkštinės sekos srovės išraišką

$$\dot{I}_2 = \frac{Z'_c + Z_1(1 + jk)}{2Z_1Z_2 + Z'_c(Z_1 + Z_2)} U \quad (14)$$

Aukštesniųjų įtampos harmonikų poveikio kondensatorinio variklio darbui yra papildomų nuostolių atsiradimas. Sukamasis momentas praktiškai nebus kuriamas, nes aukštesniųjų harmonikų dažnis yra tiek kartų didesnis už pagrindinės harmonikos dažnį, koks yra harmonikos eilės numeris. Tokiam kelis kartus didesniai dažniui atitinkamai ir induktyvioji varža bus kelis kartus didesnė, o talpinė varža, atvirkščiai, kelis kartus mažesnė. Todėl apvijų srovių fazės beveik nesiskirs, momentas praktiškai nebus kuriamas.

Kaip matome, tiek varikliai su ekranuotais poliais, tiek ir kondensatoriniai varikliai turi ir plusų, ir minusų greičio reguliavimo požiūri ir atsakyti į klausimą, kurie tam geriau tinka, galima tik po išsamių tyrimų.

Tačiau pagrindinis kondensatorinio variklio reguliuojant keičiant variklio slydimą trūkumas yra būtent kondensatorinės apvijos srovės mažėjimas didėjant slydimui. Šiam trūkumui pašalinti yra techninis sprendimas, užpatentuotas JAV 1937 metais (patentas US 2073532).



26 pav. Kondensatorinio variklio greičio reguliavimo schema, pateikta patente

Šis patentas pakankamai senas, tad jokie jo taikymo ribojimai nebegalioja ir dauguma buitinių ventiliatorių su kondensatoriniais varikliais gamintojų savo produkcijoje pritaiko šį techninį sprendimą.

Kokia šio techninio sprendimo esmė, kaip veikia ši greičio reguliavimo schema?

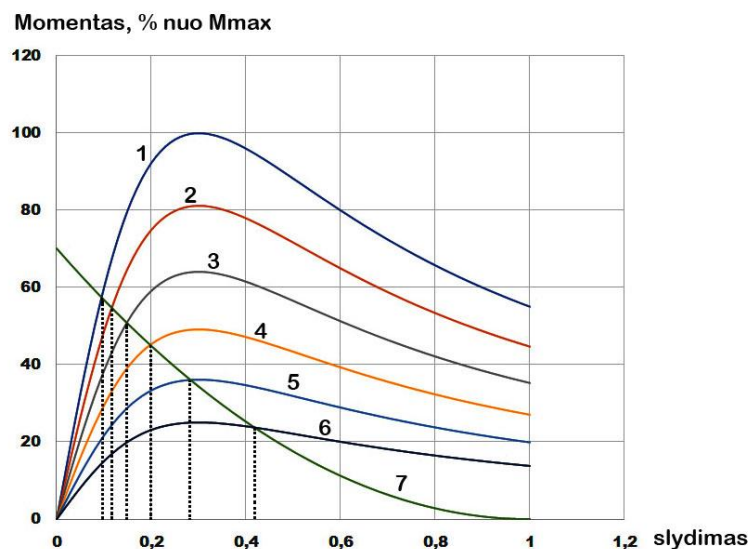
Brėžinyje parodytas variklio su dviem polių poromis atvejis. Išskirtos sekcijų grupės kiekvienam poliui, vieniems poliams santykinai priskirtas šiaurinio poliaus, kitiems pietinio poliaus simbolis. Raide A pažymėtos pagrindinės apvijos sekcijų grupės, kurių vijų skaičius atitinka vardinę tinklo įtampą. Raide B pažymėtos kondensatorinės apvijos sekcijų grupės, perstumtos erdvėje 90° elektrinių laipsnių, kurių vijų skaičius ženkliai mažesnis, negu atitinkantis vardinę tinklo įtampą. Raidėmis C_1 ir C_2 pažymėtos pagrindinės apvijos papildomos sekcijų grupės, esančios tuose pačiuose grioveliuose, kaip ir sekcijų grupė A. Rotorius su trumpai jungta apviją pažymėtas raide R, kondensatorius – raide D.

Panagrinėsime schemos veikimą, kai jungiklis padėtyje G, kaip parodyta 23 pav. Pagrindinės apvijos grandinėje nuosekliai sujungtos sekcijų grupės $A + C_1 + C_2$. Bendras vijų skaičius ženkliai didesnis, negu atitinkantis tinklo įtampą. Todėl šioje grandinėje tekės gerokai mažesnė už vardinę srovė. Kondensatorinės apvijos grandinėje taip pat tekės gerokai mažesnė už vardinę srovė, nes šios apvijos varža žymiai mažesnė už vardinę ir kompensuos mažesniąją kondensatoriaus varžos dalį. Perjungus jungiklį į padėtį I, abiejų apvijų grandinių srovės padidės, nes prijungtų prie tinklo vijų skaičius pagrindinėje apvijoje sumažėja, o kadangi nenaudojamos sekcijų grupės įjungiamos į

kondensatorinės apvijos grandinę kaip papildomos induktyviosios varžos ir kompensuoja papildomą kondensatoriaus varžos dalį, bendra kondensatorinės apvijos varža taip pat sumažėja. Perjungiklio padėtyje N abiejų apvijų srovės dar labiau padidės ir taps vardinėmis, variklio galia taps didžiausia. Kaip matome, patente pateikto techninio sprendimo privalumas yra tai, kad, naudojant paprastą perjungiklį su vienu kontaktų komplektu keičiama srovių abiejose apvijose dydis vienu metu, išlaikant šių srovių proporcingumą ir tuo pačių variklio sukamasis magnetinis laukas išlieka artimas apskritimui.

8. Asinchroninių variklių sukimosi greičio reguliavimas

Paprasčiausias asinchroninio variklio sukimosi greičio reguliavimo būdas yra jo maitinimo įtampos reguliavimas.



27 pav. Asinchroninio variklio sukimosi greičio reguliavimas, keičiant maitinimo įtampą

Čia:

1. Asinchroninio vaiklio mechaninė charakteristika esant vardinei įtampai
2. Asinchroninio vaiklio mechaninė charakteristika esant įtampai $U_2 < U_v$
3. Asinchroninio vaiklio mechaninė charakteristika esant įtampai $U_3 < U_2$
4. Asinchroninio vaiklio mechaninė charakteristika esant įtampai $U_4 < U_3$
5. Asinchroninio vaiklio mechaninė charakteristika esant įtampai $U_5 < U_4$
6. Asinchroninio vaiklio mechaninė charakteristika esant įtampai $U_6 < U_5$
7. Apkrovos ventiliatorinė mechaninė charakteristika

Variklio darbo taškas randamas kaip variklio mechaninės charakteristikos ir apkrovos mechaninės charakteristikos susikirtimo taškas. Nuleidę statmenį į slydimų ašį, gausime atitinkantį kiekvieną darbo režimą slydimą.

Įtampos keitimo būdų yra daug, tačiau patogiausias ir pigiausias yra keisti įtampą tiristoriniu įtampos reguliatoriumi. Bandymuose buvo naudojamas reguliatorius, skirtas universaliųjų

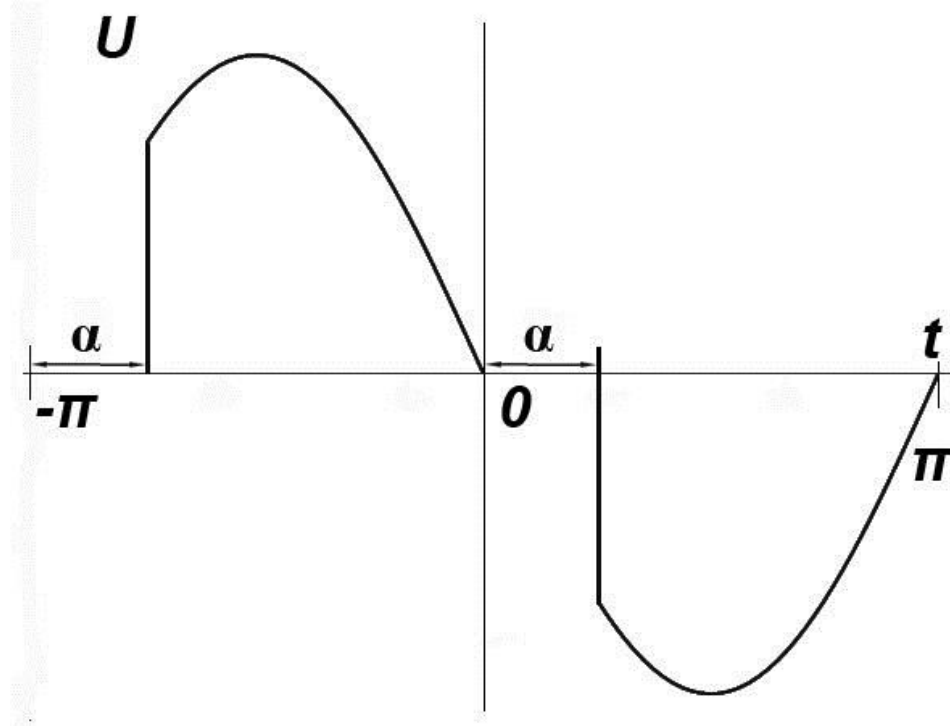
kolektorinių variklių greičio reguliavimui. Įtampos reguliatoriai skirstomi į paprasčiausius įtampos reguliatorius, skirtus įtampos reguliavimui, esant aktyviajai apkrovos varžai; konkrečiai apšvietimo reguliavimui ir sudėtingesnius, skirtus įtampos reguliavimui, esant aktyviai induktyviajai apkrovai, konkrečiai universaliųjų kolektorinių variklių sukimosi greičio reguliavimui. Pastaruoju atveju svarbu išvengti galinčios dėl tiristoriaus išsijungimo vėlavimo induktyviosios apkrovos atveju galinčios atsirasti nuolatinės srovės dedamosios. Todėl variklio sukimosi greičio reguliavimui tinka tik įtampos reguliatorius, skirtas aktyviai induktyviajai apkrovai, kurio schemoje numatytos priemonės, leidžiančios išvengti nuolatinės srovės dedamosios atsiradimo. Jo maksimali leistina galia 4000 W šiam atvejui aiškiai perteklinė, tačiau ją sąlygoja pagrindinė paskirtis – elektrinių įrankių su universaliais kolektoriniais varikliais, kurių galia keletas tūkstančių W, sukimosi greičio reguliavimas.



28 pav. Įtampos reguliatorius, naudotas bandymuose

Įtampos reguliatoriaus išėjimo įtampa

Tinklo įtampa yra sinusinė. Fazinis reguliatorius įjungia apkrovai kiekvieną įtampos pusperiodį su tam tikru, reguliuojamo dydžio fazinio kampo α vėlavimu; čia α gali kisti nuo 0 iki π .



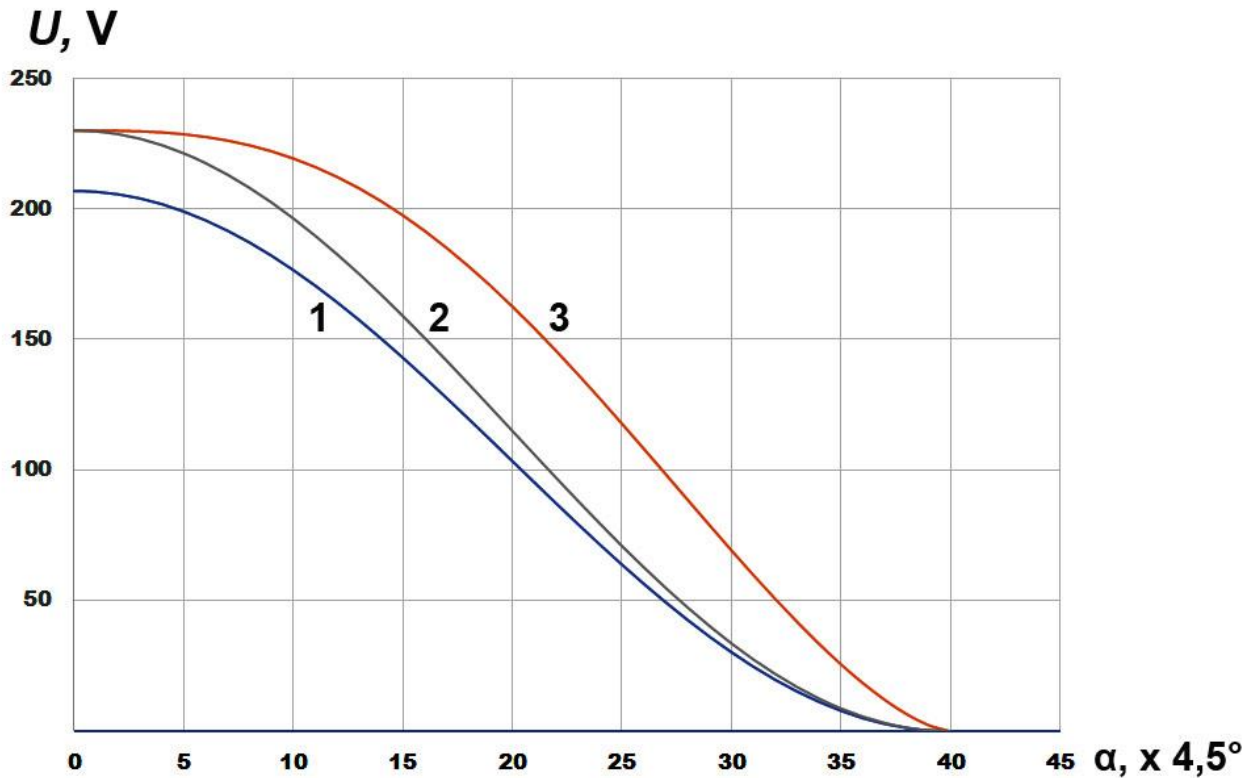
29 pav. Regulatoriaus išėjimo įtampa

Kiekvieną vėlavimo fazinį kampą α atitiks dvi skirtingos įtampos vertės – vidutinė ir efektinė. Jų priklausomybė nuo vėlavimo kampo skirtinga, nes keičiantis šiam kampui, keičiasi įtampos forma. Vidutinę vertę gausime integruodami įtampos kreivę ir dalindami gautą rezultatą iš pusperiodžio trukmės.

Įtampos vidutinė vertė:

$$U_v = \frac{U_m}{\pi} \int_{-\pi+\alpha}^0 -\sin t dt = \frac{U_m}{\pi} [\cos 0 - \cos(-\pi + \alpha)] = \frac{U_m[1 + \cos \alpha]}{\pi} = \frac{U\sqrt{2}[1 + \cos \alpha]}{\pi} \quad (15)$$

Įtampos efektinė arba vidutinė kvadratinė vertė gaunama integruojant įtampos kvadrato išraišką, gautą rezultatą dalinant iš pusperiodžio trukmės ir po to ištraukiant kvadratinę šaknį.



30 pav. Išėjimo įtampų verčių priklausomybė nuo vėlavimo kampo α

Įtampos efektinė vertė:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{U_m^2 \int_{-\pi+\alpha}^0 (\sin t)^2 dt}{\pi}} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)} = U \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (16)$$

Čia:

α yra fazinis reguliatoriaus vėlavimo kampas,

U_v – vidutinė reguliatoriaus išėjimo įtampos vertė,

U_m – tinklo įtampos amplitudė,

U_{ef} – efektinė reguliatoriaus išėjimo įtampos vertė,

U – efektinė tinklo įtampos vertė

pav. parodyta, kaip keisis reguliatoriaus išėjimo įtampų vertės, keičiantis vėlavimo kampui α .

30 pav. parodyta: reguliatoriaus išėjimo įtampos vidutinės vertės priklausomybė nuo fazinio vėlavimo kampo (grafikas 1), reguliatoriaus išėjimo įtampos efektinės vertės priklausomybė nuo fazinio vėlavimo kampo (grafikas 3) ir reguliatoriaus išėjimo įtampos vidutinės vertės priklausomybė, padauginta iš 1,11 (grafikas 2). Apytikriai tiek kartų yra didesnė efektinė sinusinio dydžio vertė už vidutinę (per pusę periodo). Tiksliai šis santykis įtampoms:

$$\frac{U_{ef}}{U_v} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,110721 \dots$$

Nebrangiuose skaitmeniniuose prietaisuose su dvigubo integravimo (*angl. Dual Slope Integrator*) keitikliu analogas – kodas, o didžioji dauguma skaitmeninių matavimo prietaisų yra būtent tokie, faktiškai matuojama vidutinė vertė. Prietaiso parodymai pakoreguoti taip, kad prietaiso rodmenys atitiktų efektinę vertę, t.y. rodytų $\approx 1,11$ didesnę įtampą, negu išmatuota. Tokiu būdu grafikas 2 yra populiariausio skaitmeninio kintamosios įtampos matavimo prietaiso rodomos įtampos priklausomybė nuo fazinio įtampos reguliatoriaus vėlavimo kampo.

Fourier (Furje) eilutė

Funkcijos $f(x)$, apibrėžtos intervale $[-\pi, \pi]$, Fourier eilutė

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} (a_m \cos mx + b_m \sin mx) \quad (17)$$

Čia

$$a_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos mx \, dx \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$b_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin mx \, dx \quad (m = 1, 2, \dots)$$

Fazinio reguliatoriaus išėjimo įtampa parodyta 26 pav., nuolatinės įtampos dedamoji arba, kitaip tariant, nulinis Fourier eilutės narys lygus nuliui, nes teigiamas ir neigiamas įtampos pusperiodžiai visiškai vienodi; neigiamas pusperiodis yra veidrodinis teigiamojo pusperiodžio atspindys abscisų ašies atžvilgiu. Todėl fazinio reguliatoriaus išėjimo įtampos funkcijai Fourier eilutės nulinis narys lygus nuliui. Dėl tos pačios priežasties nuliui lygūs ir visi lyginiai eilutės nariai.

Surasime Fourier eilutės narių koeficientus

1. Pagrindinė harmonika

$$\begin{aligned} a_1 &= -\frac{U_m}{\pi} \int_{-\pi+\alpha}^0 \sin t \cos t \, dt - \frac{U_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin t \cos t \, dt = \frac{U_m}{2\pi} \sin^2(-\pi + \alpha) + \frac{U_m}{2\pi} \sin^2(\alpha) \\ &= \frac{U_m}{\pi} \sin^2(\alpha) \end{aligned} \quad (18)$$

$$b_1 = -\frac{U_m}{\pi} \int_{-\pi+\alpha}^0 \sin^2 t dt - \frac{U_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2 t dt = -\frac{U_m(\pi-\alpha)}{2\pi} - \frac{\sin 2(\pi-\alpha)}{4\pi} - \frac{U_m(\pi-\alpha)}{2\pi} - \frac{\sin 2(\pi-\alpha)}{4\pi} = -U_m \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right) \quad (19)$$

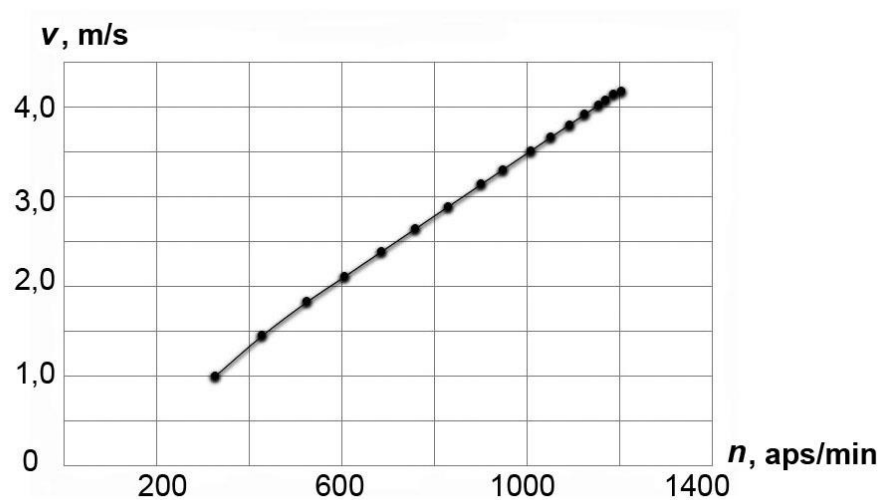
Pagrindinės harmonikos amplitudės priklausomybė nuo vėlavimo kampo α :

$$U_{1m} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} = U_m \sqrt{\left[\left(\frac{\sin^2(\alpha)}{\pi} \right)^2 + \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right)^2 \right]} \quad (20)$$

9. Eksperimentinė dalis

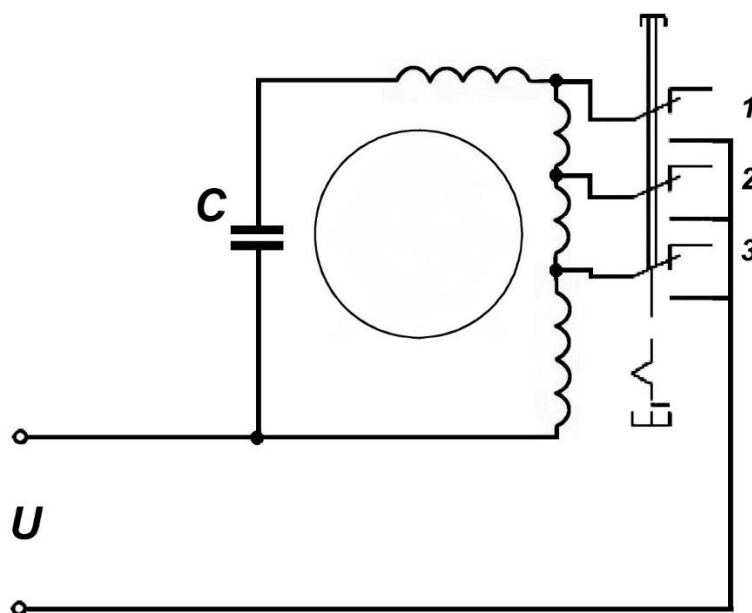
Tarptautinės energetikos agentūros (International Energy Agency, IEA) duomenimis [1], 2011 metais iš 2,23 mlrd elektros variklių OECD šalyse 2 mlrd galia buvo 2010 metais mažesnė, negu 750W ir bendra jų sunaudojama energija sudarė 632 ThWh arba 9,1% visos elektros variklių sunaudojamos energijos. Pastaraisiais metais daug padaryta gerinant pavarų su didesnės galios varikliais efektyvumą, tačiau pavarų su mažos galios varikliais energetinio efektyvumo gerinimo klausimai nepelnytai lieka nuošalyje. Pvz., ventiliatoriaus pavaros su kondensatoriniais varikliais greičio reguliavimui ir dabar išleidžiamuose ventiliatoriuose naudojamosi 1937 metais užpatentuotu apvijų perjungimu [2]. Didesnės galios ventiliatorinėse pavarose didžiausią energijos taupymo efektą duoda pavaros greičio reguliavimas, naudojant dažnio keitiklius. Žinoma, naudoti pvz. ventiliatoriaus pavaros greičio reguliavimui dažnio keitiklį būtų neracionalu, tačiau yra ir kitų metodų, pvz. įtampos reguliatorius. Toks reguliavimo būdas žinomas jau pakankamai seniai [3], tačiau ventiliatorių ir siurblių pavaroms jis ligi šiol nėra naudojamas. Įtampos reguliatoriaus savikaina yra nedidelė ir tikrai yra mažesnė, negu reikalingo [2] aprašyto metodo realizavimui papildomų apvijų laidininkų, sudėtingesnės gamybos technologijos ir perjungiklio savikaina. Šio darbo tikslas yra praktiškai ištirti ventiliatorių ir išcentrinių ventiliatorių pavarų mažos galios kondensatorinių ir ekranuotais poliais variklių sukimosi greičio reguliavimo galimybę, naudojant įtampos reguliatorių.

Bandymai buvo atliekami keičiant ventiliatorinės pavaros sukimosi greitį dviem būdais – reguliuojant fazinio reguliatoriaus vėlavimo fazinį kampą α ir reguliuojant įtampą autotransformatoriumi. Reguliavimo ribų nustatymo kriterijus buvo įtampos, pakankamos užtikrintam pavaros pasileidimui, dydis. Išmatuota oro srauto greičio priklausomybė nuo variklio sukimosi greičio, išmatuota anemometru 1 m atstumu nuo ventiliatoriaus praktiškai tiesinė, todėl tolimesniuose bandymuose buvo matuojamas tik variklio sukimosi greitis; oro srauto greitis nebuvo fiksuojamas.



31 pav. Ventiliatoriaus oro srauto greičio priklausomybė nuo variklio sukimosi greičio

9.1 Ventiliatoriaus pavaros su kondensatoriniu varikliu bandymai



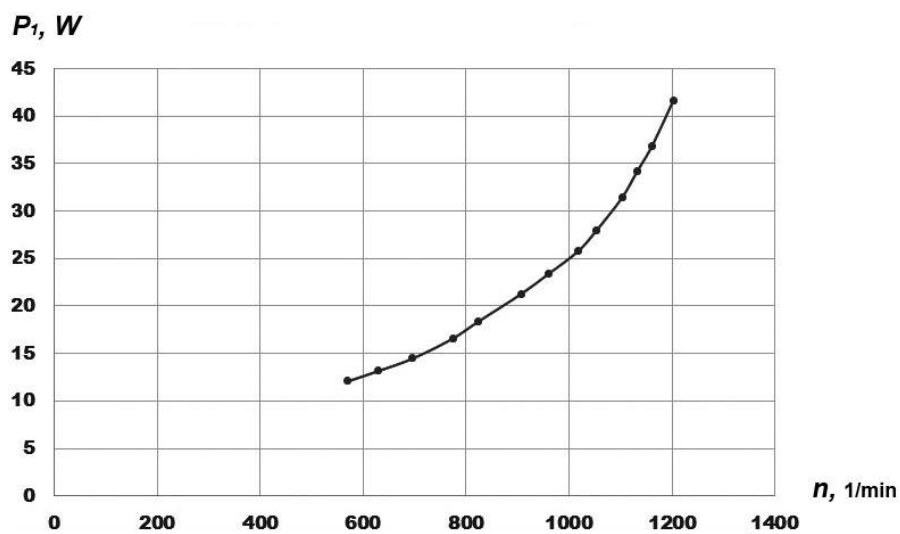
32 pav. Bandomojo variklio schema

Bandomasis variklis pagamintas pagal aukščiau minėtą JAV patentą ir turi keturių klavišų perjungiklį su trimis įjungimo mygtukais trims darbo režimams ir dar vieną atblokuojantį klavišą ventiliatoriaus atjungimui.

Pirmiausia buvo išbandytas ventiliatorinės pavaros variklis esant 230 V sinusinei įtampai ir perjungiklio padėtims 1,2 ir 3.

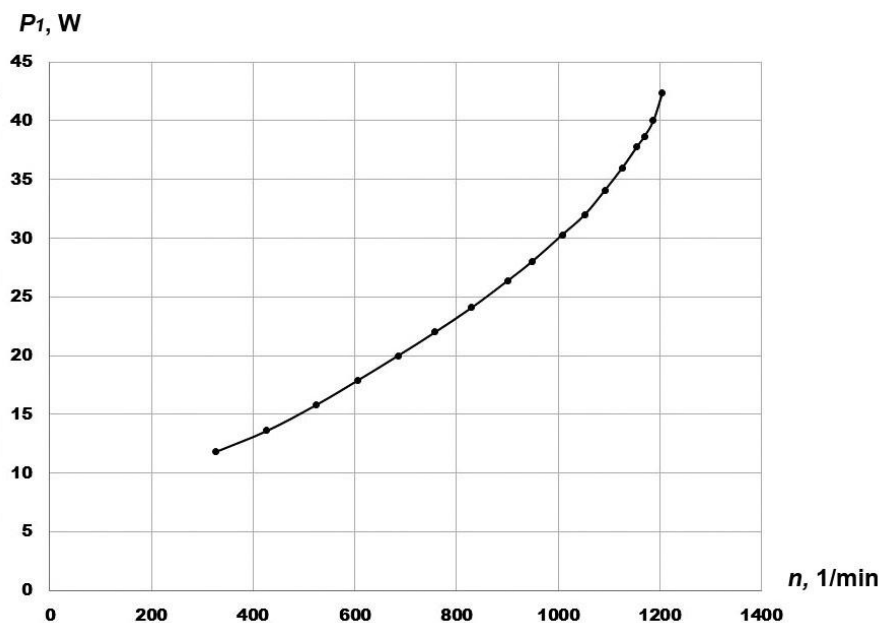
Padėtis	Įtampa	Srovė	Imama galia	Greitis
1	230 V	0,154 A	33,1 W	1047 1/min
2	230 V	0,166 A	37,7 W	1156 1/min
3	230 V	0,18 A	41,6 W	1203 1/min

Toliau ventiliatorinės pavaros variklis buvo bandomas esant perjungikliui didžiausio greičio padėtyje, keičiant įtampą autotransformatoriumi, kitaip tariant sinusinę įtampą.



33 pav. Imamos galios priklausomybė nuo sukimosi greičio keičiant įtampą autotransformatoriumi

Matome, kad reguliuojant sukimosi greitį autotransformatoriumi, visu pirma reguliavimo ribos žymiai platesnės, o antra – imama galia, esant sumažintam greičiui, žymiai mažesnė negu esant jungikliui padėtyse 2 ir trys, kai greitis vienodas.

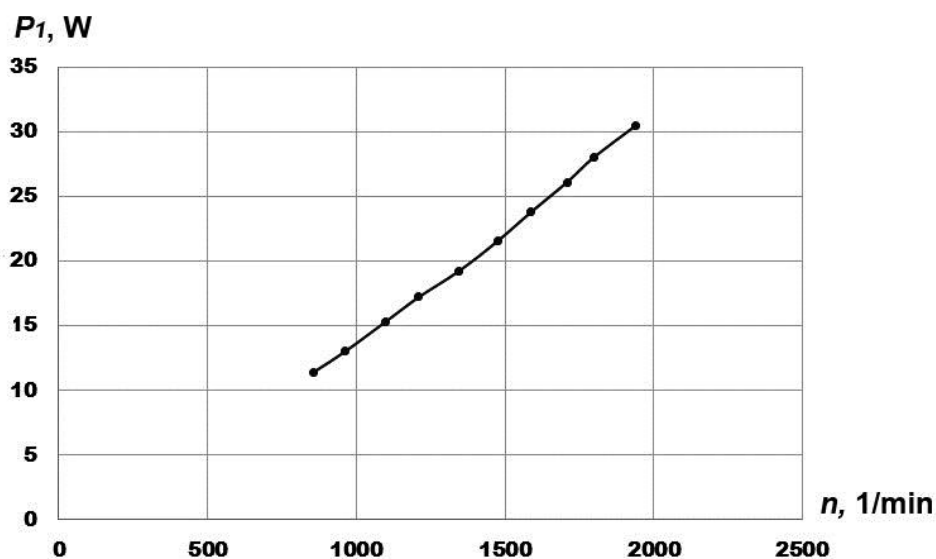


34 pav. Imamos galios priklausomybė nuo sukimosi greičio keičiant įtampą faziniu reguliatoriumi

Matome, kad reguliuojant sukimosi greitį faziniu reguliatoriumi, visu pirma reguliavimo ribos ne blogesnės, negu reguliuojant autotransformatoriumi, o antra – imama galia, esant sumažintam greičiui, nors ir didesnė, kaip reguliuojant autotransformatoriumi, apytikriai atitinka galią esant jungikliui padėtyse 2 ir 3, kai greitis vienodas. Didžiausias galios padidėjimas maitinant iš įtampos reguliatoriaus, lyginant su naudojama galia, maitinant iš autotransformatoriaus, yra apytikriai 25% ir atitinka 1000 aps/min sukimosi greitį.

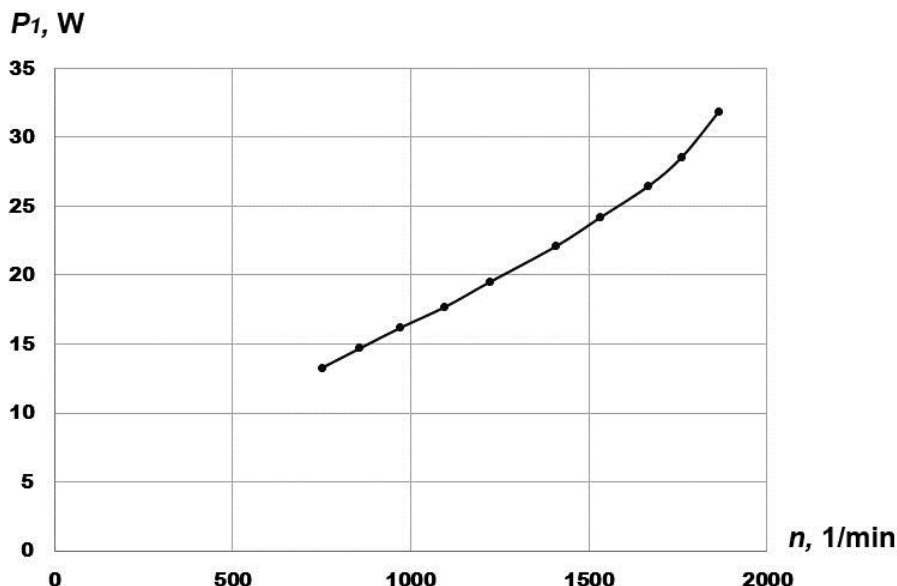
9.2 Ventiliatoriaus pavaros su ekranuotais poliais varikliu bandymai

Ventiliatoriaus pavara su ekranuotais poliais varikliu neturėjo jokio greičio reguliavimo galimybių, todėl buvo atlikti tik du greičio reguliavimo bandymai – su autotransformatoriumi ir su faziniu įtampos reguliatoriumi.



35 pav. Imamos galios priklausomybė nuo sukimosi greičio keičiant įtampą autotransformatoriumi

Keičiant įtampą autotransformatoriumi, imamos galios priklausomybė nuo sukimosi greičio priklausomybė artima tiesinei; akivaizdu, jog energetinis efektyvumas mažinant įtampą ženkliai mažėja. To priežastis tikriausiai yra ta, kad mažėja magnetolaidžio dalių, jungiančių polius įsisotinimas ir todėl vis mažesnė jo dalis kerta rotorius



36 pav. Imamos galios priklausomybė nuo sukimosi greičio keičiant įtampą faziniu reguliatoriumi

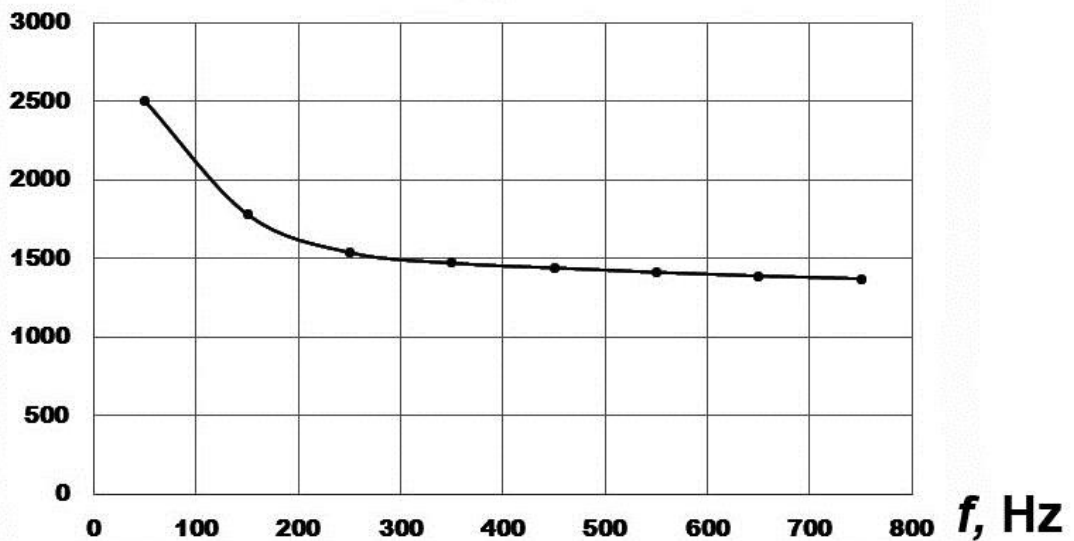
Keičiant įtampą faziniu reguliatoriumi, pradžioje, mažinant sukimosi greitį, pradžioje mažėja panašiai, kaip ir keičiant įtampą autotransformatoriumi, kadangi aukštesniųjų laikinių magnetinio srauto harmonikų nedaug. Vėliau, kai harmonikų kiekis ženkliai išauga, imama galia didesnė, negu tam pačiam sukimosi greičiui keičiant įtampą autotransformatoriumi, visų pirma padidintų nuostolių ekraninėse vijose sąskaita.

10. Variklių varžų aukštesniosioms harmonikoms matavimas

Anksčiau toks klausimas nekildavo, kadangi aukštų dažnių variklio maitinimo įtampoje tiesiog nebūdavo. Šis klausimas tapo aktualus, atsiradus įtampos reguliatoriams ir dažnio keitikliams. Visiškai nepavyko rasti publikacijų, kuriuose būtų argumentuotai pagrįsti variklio varžų laikinėms harmonikoms eksperimentiniai tyrimai ar tokių eksperimentų metodika. Vienas iš šio darbo tikslų ir yra gauti rezultatus, tinkamus praktiniam naudojimui. Žinant variklio varžų aukštesniosioms harmonikoms dydį ir maitinimo įtampos harmoninį spektrą, galima įvertinti aukštesniųjų laikinių harmonikų įtaką variklio parametrams ir energetiniam efektyvumui.

Variklio apvijų varža buvo matuojama naudojant Hioki LCR matuoklį IM3523, turintį savyje kintamos įtampos iki 5V šaltinį, kurio dažnį galima keisti nuo 50Hz iki 200kHz. Bazinis varžų matavimo tikslumas 0,08%. Eksperimentuose dažnis buvo keičiamas iki 750 Hz, kas atitinka harmonikų iki penkioliktosios imtinai įvertinimą.

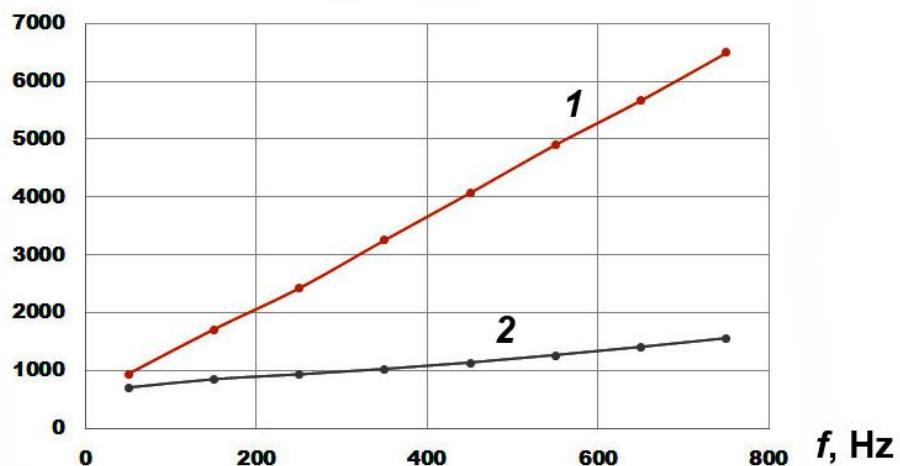
L , mH



37 pav. Variklio ekranuotais poliais induktyvumas nuosekliai ekvivalentinei schemai

Matome, kad didėjant dažniui, mažėja apvijos induktyvumas; pradžioje ryškiai, toliau jau nedaug. Tai paaiškinama išmagnetinančiu sukūrinių srovių variklio pakete ir trumpai jungtos ekraninės vijos, turinčios transformatorinę ryši su variklio tinklo apvijs, įtaka. Didėjant dažniui, keičiasi šių išmagnetinančių srovių pobūdis, fazinis kampas tarp jų elektrosvaros ir srovės vis didėja artėdamas prie induktyvaus pobūdžio. Kadangi srautai sumuojasi ne aritmetiškai, o kaip vektoriai, didėjant dažniui išmagnetinantis poveikis pasireiškia silpniau.

Varža, Ω



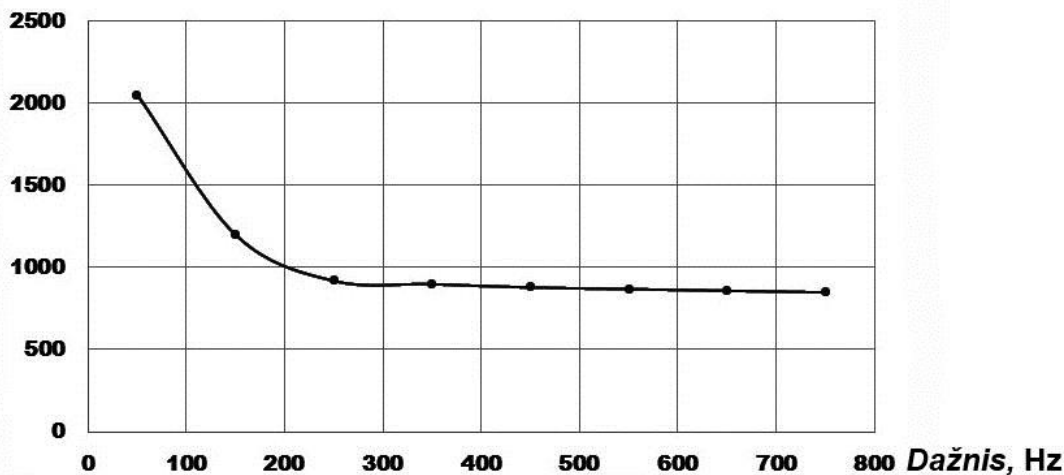
38 pav. Variklio ekranuotais poliais varžos nuosekliai ekvivalentinei schemai

Čia:

1. Variklio induktyvioji varža
2. Variklio aktyvioji varža

Matome, kad didėjant dažniui, variklio ekranuotais poliais ekvivalentinės schemos varžos didėja praktiškai tiesiškai, todėl jų santykis nesikeičia, keičiantis dažniui. Todėl variklio galios faktorius visiems dažniams praktiškai tas pats. Kadangi aukštesniųjų harmonikų galia praktiškai visa yra nuostoliai, galima daryti išvadą, kad aukštesniųjų harmonikų nuostoliai varikliuose su ekranuotais poliais atvirkščiai proporcingi jų eilės numeriui.

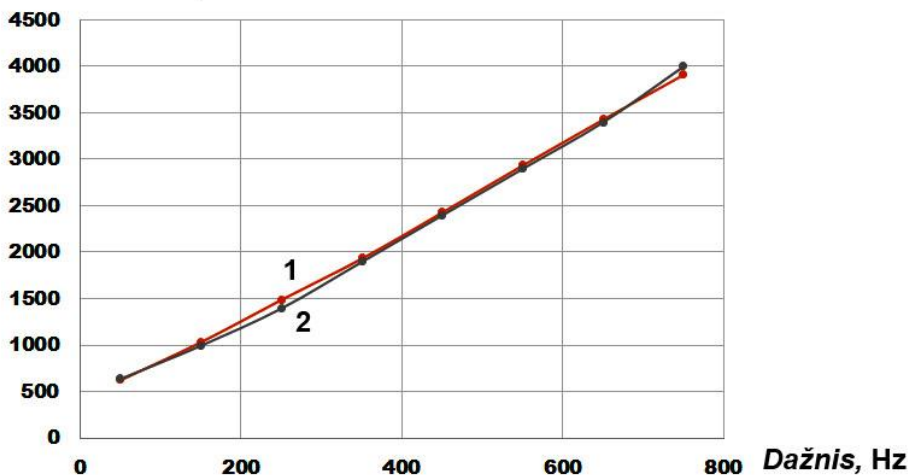
Variklio apvijų induktyvumas, mH



39 pav. Kondensatorinio variklio pagrindinės apvijų induktyvumas nuosekliai ekvivalentinei schemai

Kondensatorinio variklio pagrindinės apvijų induktyvumas mažėja staigiau, negu variklio ekranuotais poliais apvijų induktyvumas. Tai galima paaiškinti tuo, kad variklyje su ekranuotais poliais išmagnetinantis trumpai jungtos vijos poveikis pasireiškia stipriai jau pagrindinei harmonikai ir jos fone silpnėsniu pasireiškia išmagnetinantis sukūrinių srovių poveikis.

Variklio varža, Ω

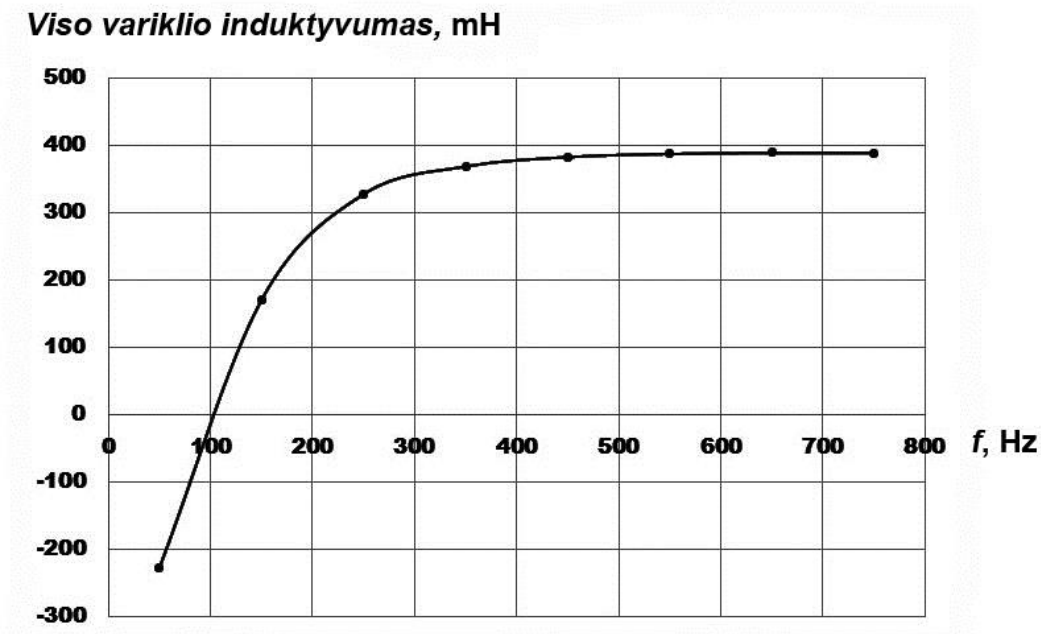


40 pav. Kondensatorinio variklio pagrindinės apvijų varžos nuosekliai ekvivalentinei schemai

Čia:

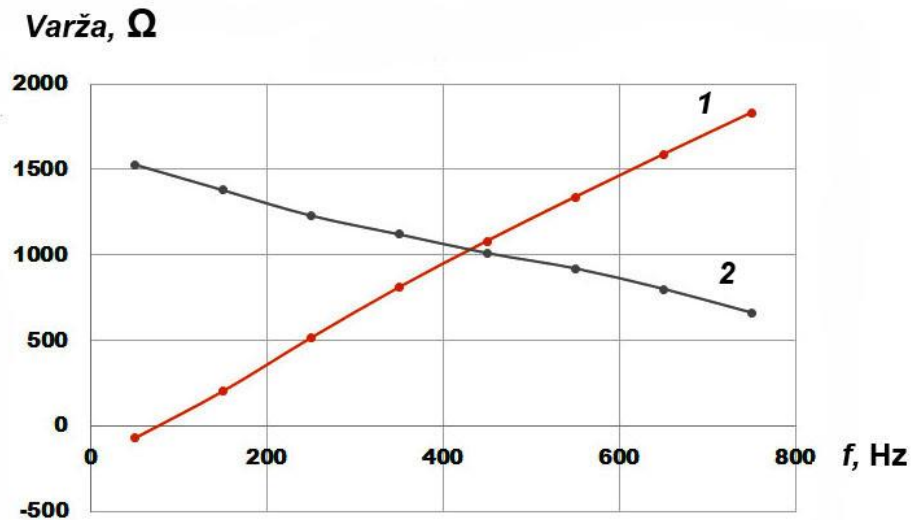
1. Variklio pagrindinės apvijų induktyvioji varža
2. Variklio pagrindinės apvijų aktyvioji varža

Kondensatorinio variklio pagrindinės apvijos ekvivalentinės schemos varžos didėja praktiškai tiesiškai ir yra beveik lygaus dydžio, todėl jų santykis nesikeičia, keičiantis dažniui. Todėl variklio galios faktorius visiems dažniams praktiškai tas pats ir artimas 0,7.. Kadangi aukštesniųjų harmonikų galia praktiškai visa yra nuostoliai, galima daryti išvadą, kad aukštesniųjų harmonikų nuostoliai daugiafazio variklio apvijoje atvirkščiai proporcingai jų eilės numeriui.



41 pav. Kondensatorinio variklio ekvivalentinio induktyvumo priklausomybė nuo dažnio

Kondensatoriniame variklyje bendras vaizdas žymiai sudėtingesnis. Dalis darbinės apvijos įjungta į kondensatorinės apvijos grandinę, be to apvijos nesimetrinės ta prasme, kad abi sujungtos lygiagrečiai, tik kondensatorinė per papildomą talpinę varžą. Todėl viso kondensatorinio variklio varžos priklausomybės nuo dažnio pobūdis radikaliai skiriasi nuo vien darbinės apvijos varžos priklausomybės nuo dažnio pobūdžio. Pradžioje induktyvumas yra neigiamas. Taip yra todėl, kad pagrindinei harmonikai per kondensatoriaus įtaka nulemia bendrą talpinę apkrovos pobūdį. Kondensatoriaus talpinė varža kinta atvirkščiai proporcingai harmonikos eilės numeriui, todėl šios varžos įtaka mažėja ir jau trečiai harmonikai bendra variklio varža yra induktyviojo pobūdžio.



42 pav. Kondensatorinio variklio ekvivalentinių varžų priklausomybė nuo dažnio

Čia:

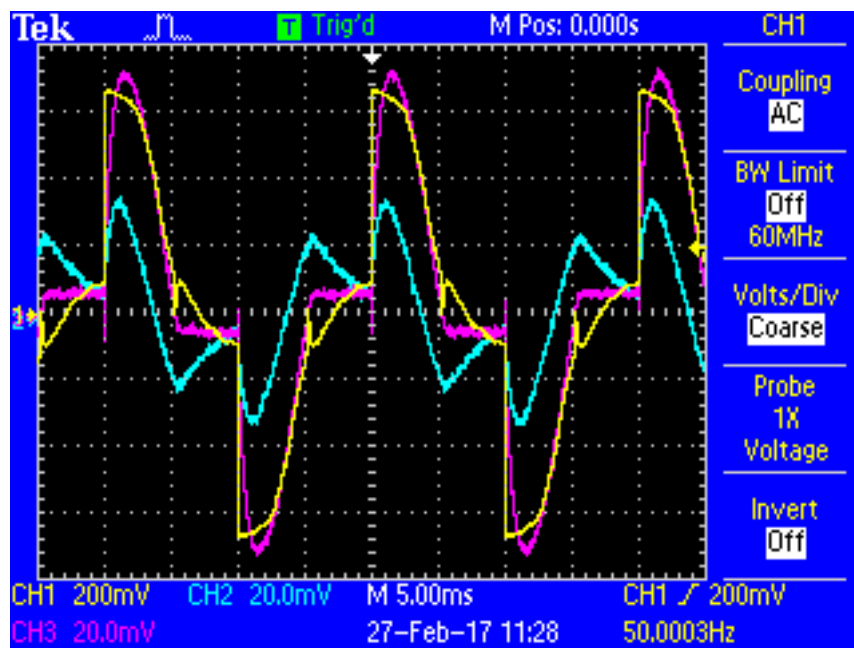
1. Variklio induktyvioji varža
2. Variklio aktyvioji varža

Matome, kad didėjant dažniui, induktyvioji ekvivalentinės varžos dedamoji praktiškai tiesiškai didėja (nuo neigiamo dydžio) proporcingai dažniui, o aktyvioji dedamoji taip pat, praktiškai tiesiškai, mažėja. Todėl nuostoliai kondensatoriniame variklyje, augant dažniui, labai sparžėja. Juk nuostoliai ekvivalentinėje varžoje proporcingi aktyviosios ir pilnosios varžų santykiui.

Kondensatorinio variklio darbo maitinant iš įtampos reguliatoriaus specifiką gerai iliustruoja 43 pav. parodytas jo bendros įtampos (1 kanalas), kondensatorinės fazės (2 kanalas) ir bendrosios variklio srovės (3 kanalas) oscilogramos. Vėlavimo kampas α artimas 90° . Maitinimo įtampą įjungta per diferencialinį priedą; amplitudė apie 300 V. Kondensatorinės fazės ir bendroji srovės matuojamos per Metrel srovės reples M1.UM, kurių išėjimo įtampa 1 V/ 5 A.

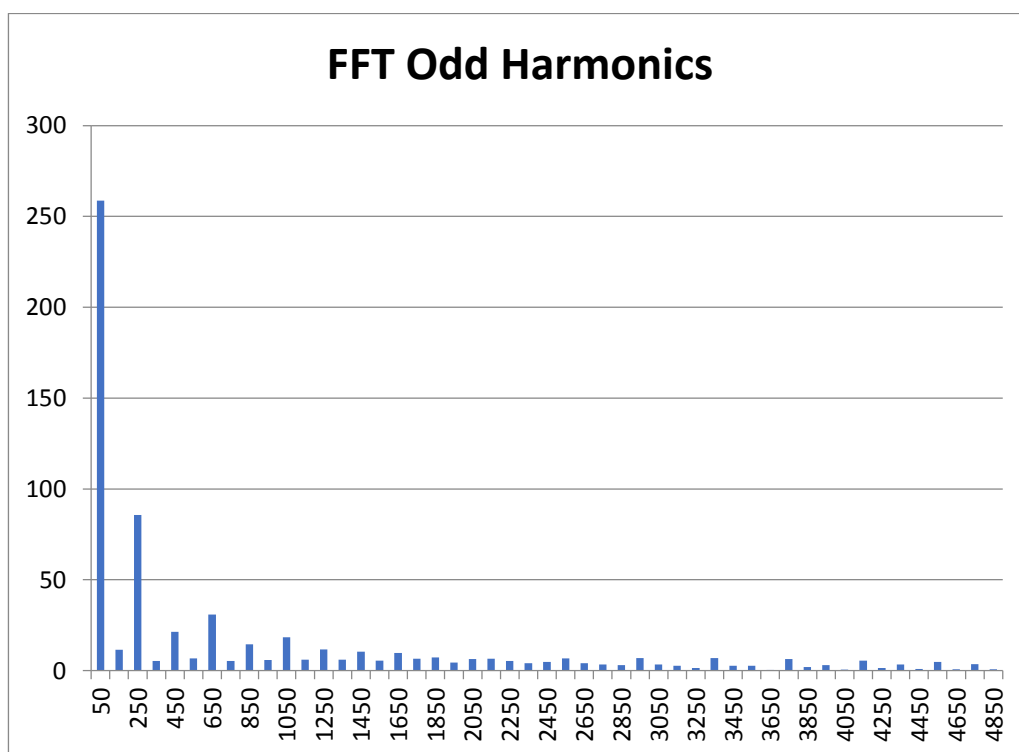
Oscilogramose gerai matyti, kad bendra variklio srovė pagal fazę beveik sutampa su reguliatoriaus įtampa, tik labiau užglostyti aštrūs perėjimai, kas nurodo į tai, kad bendros srovės spektre mažiau aukštesniųjų harmonikų. Užtat kondensatorinės apvijos grandinės srovė su aštriais kampais, sąlygojamais pereinamųjų procesų įtampos komutacijos momentais, kurių metu ir atsiranda kondensatoriaus užsikrovimo ir išsikrovimo srovės.

Žemiau pateikiamos taip pat atitinkamos spektrinės charakteristikos, gautos naudojant oscilogramų FFT (greitojo Fourier pakeitimo) apdorojimą Exel programoje



43 pav. Kondensatorinio variklio įtampos ir srovių oscilogramos

Žemiau pateikiami maitinimo įtampos, kondensatorinės srovės ir bendrosios variklio srovės spektrai



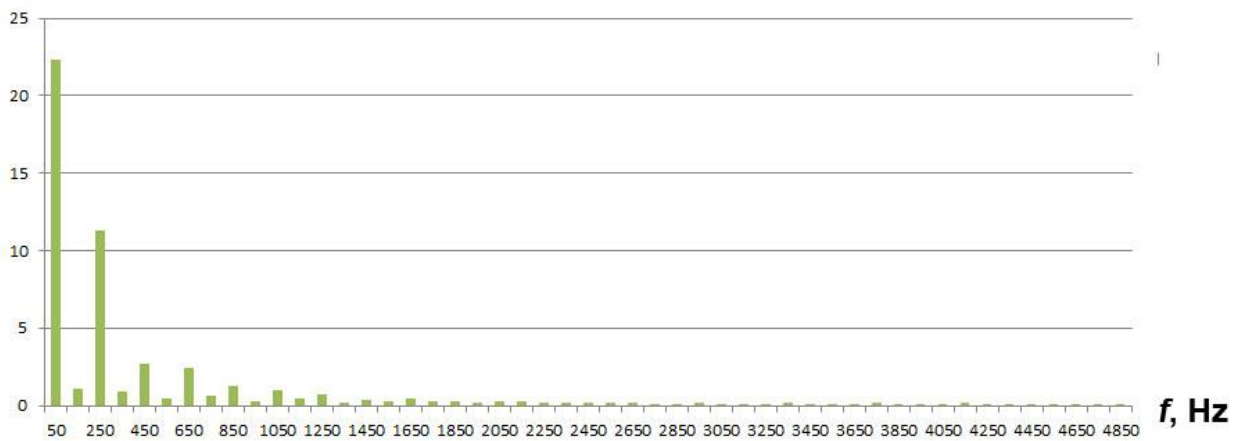
44 pav. Kondensatorinio variklio maitinimo įtampos spektras

***I*, AX60**



45 pav. Kondensatorinio variklio kondensatorinės apvijios srovės spektras

***I*, AX60**



46 pav. Kondensatorinio variklio abiejų fazių bendros srovės spektras

11. Išvados

Atlikti ventiliatorinių pavarų variklių bandymai leidžia padaryti šias išvadas:

1. Greičio reguliavimas ventiliatorinio tipo pavarose, naudojant fazinį reguliavimą, tinka ir kondensatoriniams varikliams, ir varikliams su ekranuotais poliais.
2. Reguliavimo ribos pakankamos efektyviam šių pavarų naudojimui. Ventiliatoriui su mygtukiniu perjungiklių gauti trys fiksuoti sukimosi greičiai 1047 aps/min; 1150 aps/min ir 1020 aps/min. Imamos iš tinklo galios sumažėjimas mažiausiam sukimosi greičiui, lyginant su didžiausiu, sudaro apie 25%. Varikliui su ekranuotais poliais iš viso nėra sukimosi greičio reguliavimo. Greičio reguliavimo ribos kondensatoriniam varikliui, įvertinant pasileidimo patikimumą (atsarga guolių trinties padidėjimą eksploatacijos metu) sudaro greičių diapazoną nuo 400 iki 1200 aps/min. Imamos iš tinklo galios sumažėjimas mažiausiam sukimosi greičiui, lyginant su didžiausiu, sudaro daugiau, negu 60%. Atitinkami rodikliai varikliui su ekranuotais poliais - greičių diapazonas nuo 800 iki 1800 aps/min. Imamos iš tinklo galios sumažėjimas mažiausiam sukimosi greičiui, lyginant su didžiausiu, sudaro daugiau, negu 60%.
3. Fazinio įtampos regulatoriaus, valdomo elektroninėmis priemonėmis naudojimas įgalina naudoti tokias pavaras išmaniosiose daiktų interneto sistemose arba naudoti distancinio valdymo pultą.
4. Greičio reguliavimo fazinio įtampos regulatoriaus pagalba, preliminariais skaičiavimais, neturėtų pastebimai padidinti gaminių savikainos.

12.Literatūra

1. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems
2. US patent 2073532, 1937
3. Tak Kenjo. Electric motors and their controls, 1991
4. US patent 1283434, 1918
5. Aleksandras Baranauskas, Saulius Gudzius, Arturas Kalvaitis, Saulius Bugenis, Jonas Vanagas. Speed Control of Low Power Drives with Ventilator Type Loads Using Voltage Regulator. Pranešimas tarptautinėje konferencijoje.
6. A.Pekarskienė ir kiti. Matematika 1. Technologija, Kaunas, 2007
7. R. Atstupėnienė ir kiti. Matematika 2. Technologija, Kaunas, 2009
8. И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Совместное издание «Тойбнер» Лейпциг и «Наука» Москва, 1981
9. Prof. Dr.-Ing. E. Nolle. Manuskript zur Vorlesung: Elektrische Maschinen. Esslingen, 2007
10. S. Shamlou, M. Mirsalim. A new restructured shaded pole induction motor-3D finite element analysis and experimental verification. 2015 30th International Power System Conference (PSC)
11. M. Ojaghi, S. Daliri. “Analytic Model for Performance Study and Computer Aided Design of Single-phase Shaded-Pole Induction Motors”.
12. A detailed dynamic model for single-phase shaded pole induction motors Mansour Ojaghi; IEEE Transactions on Energy Conversion. Year: 2016, Volume: PP, Issue: 99
13. Sina Daliri. 2015 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). Year: 2015. Pages: 1987 - 1992, DOI: 10.1109/ICEMS.2015.7385366