

NUOLATINĖS SROVĖS ELEKTROS MAŠINŲ CHARAKTERISTIKŲ NUSTATYMAS NAUDOJANT MATLAB

Rolandas Muleravičius¹, Jovita Danielytė¹, Rasa Muleravičienė^{1,2}

¹ Kauno kolegija, ² Kauno technikos kolegija

Anotacija. Technologiniuose įrenginiuose, kur svarbu sklandžiai keisti darbo mechanizmo greitį ar reikalingas stiprus nuolatinės srovės šaltinis, naudojamos nuolatinės srovės elektros mašinos. Jos, iš esmės nekeičiant konstrukcijos, gali veikti kaip variklis arba kaip generatorius, t.y. nuolatinės srovės elektros energiją keisti mechanine arba atvirkščiai. Pagal tai, kaip prie inkaro prijungta žadinimo apvija, nuolatinės srovės elektros mašinos skirstomos į lygiagrečiojo, nuosekliojo, nepriklausomojo ir mišriojo žadinimo elektros mašinas. Bet kurio iš šių tipų elektros mašinų darbas įvertinamas pagal reguliavimo, darbo, mechanines ir paleidimo charakteristikas, t.y. grafiku išreiškiamas, dviejų skirtingų elektrinių, mechaninių ar kitų dydžių tarpusavio priklausomybes, kai kiti dydžiai yra nuolatiniai. Šiame straipsnyje pateikiami nuolatinės srovės elektros mašinų tuščiosios veikos ir išorinių charakteristikų sudarymo principai, kuriais remiantis, MATLAB programavimo aplinkoje, parašyta programa, skirta tokių mašinų pagrindiniams elektriniams dydžiams apskaičiuoti ir rezultatams grafiškai pavaizduoti.

Raktiniai žodžiai: elektros mašina, tuščiosios veikos charakteristika, išorinė charakteristika, MATLAB.

Įvadas

Nuolatinės srovės elektros mašinos žadinimo būdas nulemia jos savybes, kurias priimta vaizduoti grafiškai, t.y. sudaryti dviejų skirtingų elektrinių dydžių, apibūdinančių mašinos darbą, tarpusavio priklausomybes, kai kiti dydžiai yra nuolatiniai. Šios priklausomybės yra vadinamos charakteristikomis.

Pagrindinės elektros mašinų charakteristikos yra šios:

- tuščiosios veikos charakteristika – tai elektros mašinos gnybtų tuščiosios veikos įtampos priklausomybė nuo žadinimo arba įmagnetinimo srovės, $U_0 = f(I_z)$;
- išorinė charakteristika – tai elektros šaltinio įtampos priklausomybė nuo jo srovės: $U = f(I)$.

Pagrindinius elektrinius dydžius, reikalingus elektros mašinos charakteristikoms sudaryti galima gauti eksperimentiškai, laboratorijoje atliekant bandymus specialiu bandymo stendu arba juos apskaičiuoti.

Apskaičiuoti ir pagal gautus rezultatus sudaryti elektros mašinos charakteristikas – darbas imlus dėl laiko, ypač, kai nagrinėjamos skirtingų jungimo schemų elektros mašinos, nežinomųjų yra daug, o kad būtų išspręsta be klaidų, reikia specialių matematikos, elektrotechnikos ir braižybos žinių. Todėl tikslinga parašyti specialią kompiuterinę programą, leidžiančią gauti skaičiavimo rezultatus ir grafines priklausomybes tuoj pat, tik įvedus pradinius duomenis.

Šio darbo **tikslas** – naudojant programinę aplinką MATLAB sudaryti nuolatinės srovės elektros

mašinos charakteristikas, tokias kaip: generatoriaus tuščiosios veikos charakteristika, generatoriaus nepriklausomojo ir lygiagrečiojo žadinimo išorines charakteristikas bei lygiagrečiojo žadinimo variklio greičio charakteristika.

Uždaviniai:

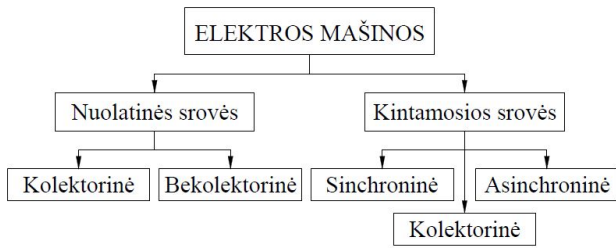
1. Paaiškinti nuolatinės srovės elektros mašinų tuščiosios veikos ir išorinių charakteristikų sudarymo principus.
2. Nustatyti pagrindinius nuolatinės srovės mašinų elektrinius dydžius.
3. Sudaryti generatoriaus tuščiosios veikos, nepriklausomojo ir lygiagrečiojo žadinimo išorines bei lygiagrečiojo žadinimo variklio greičio charakteristikas.
4. Programavimo aplinkoje MATLAB parašyti programą, skirtą nuolatinės srovės mašinų pagrindiniams elektriniams dydžiams apskaičiuoti ir rezultatams grafiškai pavaizduoti.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė, atvejo analizė, kompiuterinio modeliavimo metodai.

Elektros mašina

Tiek kintamosios, tiek ir nuolatinės srovės elektros mašinos gali vartoti arba gaminti elektros energiją. Elektros mašinos yra labai įvairios ir tiksliai jas suklasifikuoti sunku. Elektros mašinos klasifikuojamos pagal kurį nors bendrą visų mašinų ar mašinų grupės pažymį: veikimą, elektros srovės rūšį, žadinimą ir kt. (Gečys, Kalvaitis, Smolskas, 2011). Pagal elektros srovės rūšį elektros mašinos skirstomos į kintamosios ir nuolatinės srovės

mašinas. Bendroji elektros mašinų klasifikacija parodyta 1 paveiksle.



1 pav. Elektros mašinų klasifikacija

Visoms elektros mašinoms būdinga tai, kad kiekviena iš jų gali dirbti ir kaip variklis, ir kaip generatorius, nes jokių esminių sandaros skirtumų tarp jų nėra.

Kad mašina dirbtų kaip variklis, reikia inkaro apviją prijungti prie nuolatinės įtampos šaltinio.

Pagal tai, kaip prie inkaro apvijos prijungta žadinimo apvija, nuolatinės srovės elektros mašinos skirstomos į lygiagrečiojo, nuosekiojo, nepriklausomojo ir mišriojo žadinimo elektros mašinas.

Pagrindinės elektros generatorių charakteristikos

Pagrindinės nuolatinės srovės elektros generatorių charakteristikos yra penkios:

- 1) tuščiosios veikos – generatoriaus gnybtų tuščiosios veikos įtampos, kai juo neteka srovė (elektrovaros jėgos), priklausomybė nuo žadinimo srovės: $E = f(I_z)$;
- 2) apkrovimo – tai generatoriaus įtampos priklausomybė nuo žadinimo srovės, kai apkrova ir sukimosi greitis yra nustatyto dydžio: $U = f(I_z)$, kai $I_a = I = const.$ ir $n = const.$;
- 3) išorinė – nuolatinės srovės generatoriaus įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės, kai žadinimo grandinės varža ir sukimosi greitis yra nuolatiniai: $U = f(I)$, kai $R_z = const.$, $n = const.$;
- 4) reguliavimo – tai generatoriaus žadinimo srovės priklausomybė nuo inkaro srovės, kai inkaro įtampa yra nuolatinė: $I_z = f(I_{in})$, kai $U_{in} = const.$;
- 5) trumpojo jungimo – elektros generatoriaus pagrindinės grandinės srovės priklausomybė nuo žadinimo srovės arba nuo maitinimo įtampos, kai nuolatinės srovės generatoriaus inkaras sukamas nustatyto greičiu $n = const.$, o jo gnybtai sujungti trumpai: $I_{tr} = f(I_z)$ arba $I_{tr} = f(U)$.

Norint sudaryti generatoriaus charakteristikas ir nustatyti ryšį tarp pagrindinių kintamųjų, kurie lemia generatoriaus sklandų darbą, jo panaudojimo

galimybes, būtina žinoti šiuos pagrindinius generatoriaus parametrus:

- gnybtų įtampą U ;
- indukuotą elektrovaros jėgą – $evj E$;
- žadinimo srovę I_z ;
- inkaro srovę I_{in} arba apkrovos srovę $I_a = I$;
- sukimosi greitį n .

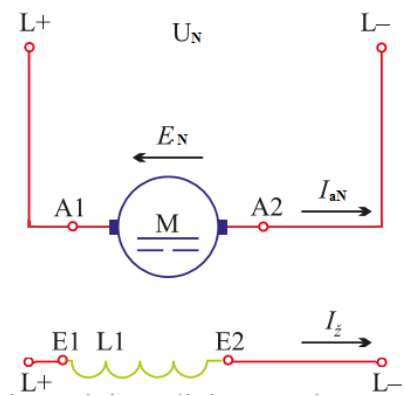
Įprastai veikiant generatoriui jo sukimosi greitis nuolatinis, t.y. $n = const.$ Todėl, generatoriaus pagrindinės charakteristikos yra nustatomos, kai jo sukimosi greitis lygus nominaliajam greičiui, kuris pateikiamas elektros mašinos techniniame pase $n = n_N = const.$

Elektrinius dydžius, reikalingus elektros mašinos charakteristikoms sudaryti galima gauti eksperimentiškai, laboratorijoje atliekant bandymus specialiu bandymo stendu arba juos apskaičiuoti.

Generatoriaus bandymas

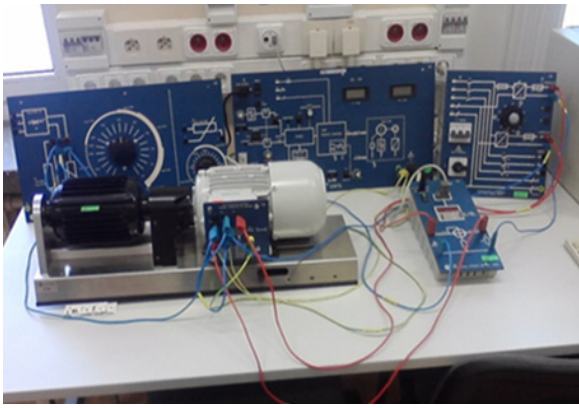
Kadangi nuolatinės elektros srovės mašinų charakteristikos priklauso nuo jų žadinimo būdo, todėl atliekant bandymą jų žadinimo apvija prie inkaro prijungiama skirtingai.

Tyrimui pasirinkta nepriklausomojo žadinimo nuolatinės srovės elektros mašina, kurios principinė sujungimų schema pateikiama 2 paveiksle.



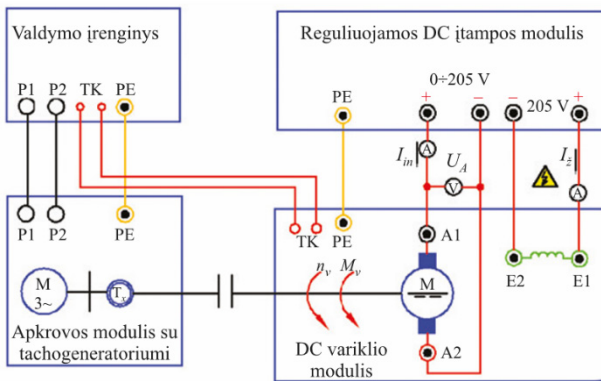
2 pav. Nepriklausomojo žadinimo elektros mašinos sujungimų schema: E_N – elektrovaros jėga; U_N – gnybtų įtampa; I_{aN} – inkaro grandinės srovė; I_z – žadinimo apvijos srovė

Pagrindiniams elektriniams generatoriaus dydžiams nustatyti naudojamas, Kauno kolegijos Technologijų fakulteto Elektrotechnikos laboratorijoje esantis, bandymų stendas (3 pav.), kurį galima sujungti kaip nepriklausomojo ir kaip lygiagrečiojo žadinimo generatorių.



3 pav. Nuolatinės srovės elektros mašinų bandymų stendas

Eksperimentiniam nuolatinės srovės elektros generatoriaus tyrimui atlikti, bandymų stendas buvo sujungtas kaip nepriklausomojo žadinimo elektros mašina (4 pav.).



4 pav. Nepriklausomojo žadinimo generatoriaus bandymo sujungimų schema

Nepriklausomojo žadinimo generatoriuose žadinimo apvija maitinama iš pašalinio nuolatinės srovės šaltinio. Šio tipo generatoriuose inkaro srovė lygi apkrovos srovei $I_{in} = I_a$, o žadinimo srovė I_z priklauso tik nuo įtampos žadinimo grandinės gnybtuose U_0 ir nuo šios grandinės varžos.

Bandymas pradedamas, kai žadinimo srovė $I_z = 0$. Tada, apkrovos reostatu R_a , ji palaipsniui (penkis-septynis kartus) didinama, iki tol, kol įtampa žadinimo grandinės gnybtuose maždaug 1,25 karto bus didesnė už nominaliąją $U_0 \approx 1,25 \cdot U_N$. Vėliau žadinimo srovė vėl palaipsniui mažinama iki nulio, palaikant nuolatinį inkaro sukimosi greitį $n = const$.

Kiekviename žingsnyje nuskaitomos žadinimo srovės I_z ir ją atitinkančios elektros jėgos E , kuri indukuojama kiekviename inkaro laidininke, reikšmės.

Iš gautų duomenų sudaroma generatoriaus tuščiosios veikos charakteristika $E = f(I_z)$. Kreivė savo pobūdžiu yra analogiška kreivėms parodytomis 5 ir 6 paveiksluose (žr. 1 kreivė).

Vėliau gautoji kreivė naudojama generatoriaus išorinei charakteristikai $U = f(I)$ sudaryti.

Pagrindinių elektrinių dydžių, reikalingų elektros mašinos charakteristikoms sudaryti, skaičiavimas

Elektrinius dydžius, reikalingus elektros mašinos charakteristikoms sudaryti galima ir apskaičiuoti. Tam reikia duomenų iš elektros mašinos paso.

Elektros mašinos, veikiančios kaip generatorius, pradiniai duomenys, kuriuos būtina žinoti, prieš pradedant skaičiuoti yra:

- nominalus elektros mašinos sukimosi greitis n_N ;
- nominaliosios įtampos U_N , kai elektros mašina veikia kaip generatorius ir/ar kaip variklis;
- generatoriaus pradinė galia P_{Np} ;
- generatoriaus tuščiosios veikos žadinimo srovė I_{z0p} ;
- generatoriaus žadinimo srovė I_{zap} , reikalinga inkaro reakcijai kompensuoti, kai $I_a = I_{aN}$;
- generatoriaus inkaro apvijos varža R_{ap} ;
- generatoriaus papildomųjų polių apvijos varža R_{pp} ;
- generatoriaus žadinimo apvijos varža R_{zp} .

Pirmiausia, elektros mašinos pase rasti, pradiniai duomenys perskaičiuojami į nominaliuosius. Naudojant žemiau pateiktas formules (Rinkevičius, Gečys & Kalvaitis 2008) apskaičiuojama:

- nominalioji galia P_N :

$$P_N = P_{Np} \cdot \frac{n_N}{1500};$$

- tuščiosios veikos žadinimo srovė I_{z0} :

$$I_{z0} = I_{z0p} \cdot \frac{230}{U_N};$$

- žadinimo srovė I_{za} , reikalinga inkaro reakcijai kompensuoti, kai inkaro srovė yra nominalioji:

$$I_{za} = I_{zap} \cdot \frac{230}{U_N};$$

- inkaro apvijos varža, R_a :

$$R_a = R_{ap} \left(\frac{1500}{n_N} \cdot \frac{U_N}{230} \right)^2;$$

- papildomųjų polių apvijos varža R_p :

$$R_p = R_{pp} \left(\frac{1500}{n_N} \cdot \frac{U_N}{230} \right)^2;$$

- žadinimo apvijų varža R_z :

$$R_z = R_{zp} \left(\frac{U_N}{230} \right)^2.$$

Tuščiosios veikos charakteristika $E = f(I_z)$ sudaroma absoliutiniais dydžiais: žadinimo srovė I_z gaunama sudauginat apskaičiuotą tuščiosios veikos žadinimo srovę I_{z0} su koeficientu I_z^* , o elektrovaros jėga E – nominaliąją įtampą U_N , kai elektros mašina veikia kaip generatorius, su koeficientu E^* . Šių daugiklių reikšmės yra nustatytos naudojant tipinę tuščiosios veikos charakteristiką.

Išorinės charakteristikos grafinio sudarymo tvarka

Generatoriaus išorinei charakteristikai $U = f(I)$ sudaryti naudojamas grafinis būdas. Ši charakteristika sudaroma, kai generatoriaus žadinimo apvijų varža R_z ir jo sukimosi greitis n , kuris lygus nominaliajam n_N yra nuolatiniai ($R_z = const.$, $n = n_N = const.$).

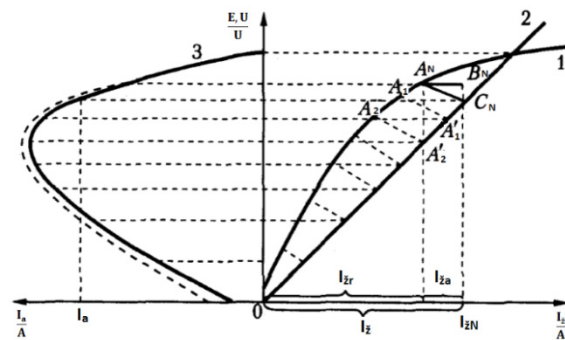
Nepriklausomojo žadinimo generatoriuose įtampa žadinimo grandinės gnybtuose palaikoma nuolatinė, o kadangi nekinta žadinimo apvijų varža $R_z = const.$, tai ir žadinimo srovė nesikeičia.

Savisisūžadinančiuose generatoriuose (lygiagrečiojo ar mišriojo žadinimo), esant nuolatinei žadinimo apvijų varžai $R_z = const.$, žadinimo srovė lygiagrečiojo jungimo grandinėje kinta proporcingai inkaro gnybtų įtampai $\left(I_z = \frac{U}{R_z} \right)$.

Dėl šios priežasties, generatoriaus išorinės charakteristikos pobūdis ir jos sudarymo tvarka skirsis. Todėl toliau bus aptariama nuosekiojo ir lygiagrečiojo žadinimo generatorių išorinių charakteristikų sudarymo tvarka.

Lygiagrečiojo žadinimo generatoriaus išorinė charakteristika (5 pav., 3 kreivė) sudaroma naudojant, bandymų metu ar skaičiuojant gautas, tuščiosios veikos ir žadinimo charakteristikas. Ji sudaroma taip:

- Pirmiausia, nubraižomos koordinatinių ašys. Abscisių ašyje bus atidedamos grafiškai nustatytos apkrovos srovės I_a , o ordinačių ašyje – generatoriaus įtampos U . Ordinačių ašis yra ta pati ašis, kurioje buvo atidėtos elektrovaros jėgos reikšmės, sudarant tuščiosios veikos charakteristiką.
- Nustatoma įtampos reikšmė, kai apkrovos srovė $I = 0$. Ji bus lygi įtampai, atitinkančiai tuščiosios veikos (1 kreivė) ir žadinimo (2 kreivė) charakteristikų susikirtimo taško ordinatę. Koordinatinių ašyse atidedamas gautasis taškas.



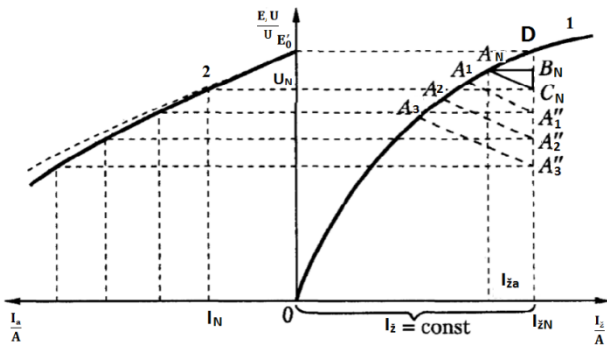
5 pav. Lygiagrečiojo žadinimo generatoriaus išorinės charakteristikos sudarymas: 1 – tuščiosios veikos charakteristika $E_a = f(I_z)$; 2 – žadinimo charakteristika $R_z \cdot I_z = U_z$, kai $R_z = const.$; 3 – išorinė charakteristika $U = f(I)$

- Kad būtų gauta kita įtampos U reikšmė, kai srovė I lygi nominaliajai srovei $I = I_N$, sudaromas charakteringasis trikampis $\Delta A_N B_N C_N$. Vienas charakteringojo trikampio statinis $\overline{A_N B_N}$ yra inkaro reakcija, o kitas $\overline{B_N C_N}$ – įtampos kritimas $I \cdot R_a$. Šio trikampio viršūnė A_N yra ant 1-osios kreivės, o viršūnė C_N – ant 2-osios kreivės. Taško C_N ordinatė atitiks nominaliosios įtampos reikšmę U_N , o abscisė – žadinimo srovę I_z .
- Toliau tuščiosios veikos charakteristikoje pažymima keletas taškų (A_1, A_2 ir t.t.). Per šiuos taškus braižomos atkarpos lygiagrečios charakteringojo trikampio $\Delta A_N B_N C_N$ įstrižainei $\overline{A_N C_N}$. Taip ant žadinimo charakteristikos gaunami taškai A'_1, A'_2 ir t.t. Šių taškų ordinatės atitiks įtampų reikšmes U , o srovės I bus apskaičiuotos pagal formulę:

$$I'_i = \frac{\overline{A'_i A_i}}{\overline{A_N C_N}} I_N.$$

Nepriklausomojo žadinimo generatoriaus išorinė charakteristika (6 pav., 2 kreivė) sudaroma analogiškai, kaip ir lygiagrečiojo žadinimo generatoriaus, tik atkarpos lygiagrečios charakteringojo trikampio $\Delta A_N B_N C_N$ įstrižainei $\overline{A_N C_N}$, brėžiamos nuo tuščiosios veikos charakteristikoje pažymėtų taškų (A_1, A_2 ir t.t.) iki atkarpos $\overline{I_{zN} D}$. Taip ant jos gaunami taškai A''_1, A''_2 ir t.t. Šių taškų ordinatės atitiks nepriklausomojo žadinimo generatoriaus įtampų reikšmes U , o srovės I bus skaičiuojamos pagal formulę:

$$I''_i = \frac{\overline{A''_i A_i}}{\overline{A_N C_N}} I_N.$$



6 pav. Nepriklausomojo žadinimo generatoriaus išorinės charakteristikos sudarymas: 1 – tuščiosios veikos charakteristika $E_a = f(I_a)$; 2 – išorinė charakteristika $U = f(I)$

Išorinių charakteristikų sudarymas naudojant MATLAB

Grafiniu būdu sudaryti išorines nuolatinės srovės generatoriaus charakteristikas – darbas imlus dėl laiko, todėl pagrindiniams elektriniams dydžiams apskaičiuoti ir charakteristikoms sudaryti buvo nuspręsta naudoti programavimo aplinką MATLAB, kuri skirta įvairiems inžineriniams uždaviniams spręsti ir modeliuoti bei skaičiavimo rezultatus grafiškai pavaizduoti.

Programavimo aplinka MATLAB – galingas paketas, skirtas inžineriniams skaičiavimams, turėdamas didžiulį kiekį funkcijų duomenų analizei, sprendžia daug matematinių užduočių, pradedant nuo matricių ir tiesinės algebros, baigiant matematine statistika ir diferencialinėmis lygtimis (Mitkuvienė, 2011). Be to, MATLAB aplinkoje uždaviniai yra išreiškiami taip, kaip parašyti – matematine kalba. Jame yra visi grafiniai įrankiai reikalingi rezultatams pavaizduoti: dvimačių ir trimačių grafikų brėžimo funkcijos, įrankiai interaktyviam grafikų kūrimui, galimybė eksportuoti duomenis į visus populiarius formatus ir kt.

Nagrinėtoms nuolatinės srovės elektros mašinos charakteristikoms sudaryti ir rezultatams grafiškai pavaizduoti MATLAB aplinkoje buvo parašyta programa (7 pav.).

Pradiniai elektros mašinos duomenys (8 pav.), kuriuos būtina žinoti, prieš pradedant skaičiuoti yra: nominalus mašinos sukimosi greitis, nominaliosios įtamos, veikiant mašinai generatoriaus ir variklio režimais bei generatoriaus pradiniai duomenys, tokie kaip: pradinė galia, tuščios veikos žadinimo srovė, inkaro apvijų varža, papildomų polių apvijų varža ir žadinimo apvijų varža, kai įtampa yra lygi 230 V,

$n = const. = 1500 \text{ min}^{-1}$. Šie duomenys randami tiriomos elektros mašinos techniniame pase.

```

File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
51 - fprintf('\n#### Pradiniu duomeniu perskaiciavimas i nominalius ####\n')
52 - P_N=P_NP*(n_N/1500);
53 - fprintf('Nominalioji galia [kW] P_N = %.3f\n\n', P_N)
54 - fprintf('Nominalus masinos sukimosi greitis [min^-1] n_N = %i\n\n', n_N)
55 - fprintf('Generatoriaus nominalioji itampa [V] U_N = %i\n\n', U_N)
56 - fprintf('Variklio nominalioji itampa [V] U_NV = %i\n\n', U_NV)
57 - I_Z0=I_Z0P*(U/U_N);
58 - fprintf('Tuscios veikos zadinimo srove [A] I_Z0 = %.3f\n\n', I_Z0)
59 - I_ZA=I_ZAP*(U/U_N);
60 - fprintf('Zadinimo srove reikalinga inkaro reakcijai kompensuoti, kai inkaro
61 - srove yra nominalioji [A] I_ZA = %.3f\n\n', I_ZA)
62 - R_A=R_AP*((1500/n_N)*(U_N/U))^2;
63 - fprintf('Inkaro apvijos varza [ohm] R_A = %.4f\n\n', R_A)
64 - R_PP*((1500/n_N)*(U_N/U))^2;
65 - fprintf('Papildomu polių apvijų varza [ohm] R_P = %.4f\n\n', R_P)
66 - R_Z=R_ZP*(U_N/U)^2;
67 - fprintf('Zadinimo apvijų varza [ohm] R_Z = %i\n\n', R_Z)
68 -
69 - % CHARAKTERISTIKU SUDARYMAS
70 -
71 - fprintf('\n#### Tuscios veikos charakteristikos ir charakteringojo
72 - trikampio braizymas, esant nominaliajai apkrovai ####\n\n')
73 - %==== Tuscios veikos charakteristikos duomenys santykiniais vienetais ===
74 - I_Z_svaigz=0:0.5:3.5
75 - E_svaigz=[0.05, 0.75, 1, 1.12, 1.2, 1.26, 1.30, 1.33]
76 - I_Z=I_Z_svaigz*I_Z0
77 - E=E_svaigz*U_N
78 - % Kreives glotninimas
79 - zingsnis=0.0001;
80 - I_Z_tankinta=min(I_Z):zingsnis:max(I_Z);
81 - E_tankinta=spline(I_Z,E,I_Z_tankinta);
82 - %TASKAS CN*
83 - CNz_Xcoord=I_Z0;
84 - CNz_Ycoord=U_N;
85 - CNz_x=[CNz_Xcoord,CNz_Xcoord,0];
86 - CNz_y=[0,CNz_Ycoord,CNz_Ycoord];
87 - %
88 - I_aN=(P_N/U_N)*1*1.e+003;
89 - fprintf('Nominalioji inkaro srove [A] I_aN = %.4f\n\n', I_aN)
90 - %
91 - E_N=I_aN*(R_A+R_P)+2*U_N;
script Ln 73 Col 1 OVR

```

7 pav. Sudarytos programos fragmentas

Pirmiausia, pradiniai duomenys perskaičiuojami į nominaliuosius (žr. 7 pav.), naudojant anksčiau pateiktas formules, o vėliau randami kiti elektriniai dydžiai charakteristikoms sudaryti. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 9 paveiksle, o sudarytosios charakteristikos – 10 paveiksle.

```

File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
1 %==== PRADINIU DUOMENU NUSKAITYMAS =====
2 %
3 %
4 VAR=xlswread('Duota');
5 data=xlswread('Duota','Sheet2','E4:O17');
6 for i=1:1:11
7 -
8 - if VAR(1,2)==1
9 -     n_N=data(11,i); % Nominalusis sukimosi greitis [min^-1]
10 -    U_N=data(12,i); % Generatoriaus nominalioji itampa [V]
11 -    U_NV=data(13,i); % Variklio nominalioji itampa [V]
12 - end
13 - %
14 - if VAR(1,1)==1
15 -     P_NP=data(5,i); % Pradine masinos galia [kW]
16 -     I_Z0P=data(6,i); % Pradine zadinimo sroves verte (Tuscios veikos
17 -     zadinimo srove) [A]
18 -     I_ZAP=data(7,i); % Pradine zadinimo srove reikalinga inkaro reakcijai
19 -     kompensuoti (kai inkaro srove yra nominalioji Ia=IaN)
20 -     R_AP=data(8,i); % Pradine inkaro apvijų varza [ohm]
21 -     R_PP=data(9,i); % Pradine papildomu polių apvijų varza [ohm]
22 -     R_ZP=data(10,i); % Pradine zadinimo apvijų varza [ohm]
23 - end
24 - U=230; % Itampa masinai veikiant generatoriaus rezimu [V]
25 - fprintf('\n===== DUOTA =====\n\n')
26 - fprintf('Itampa masinai veikiant generatoriaus rezimu [V] U = %i\n\n', U)
27 - fprintf('Nominalus masinos sukimosi greitis [min^-1] n_N = %i\n\n', n_N)
28 - fprintf('Generatoriaus nominalioji itampa [V] U_N = %i\n\n', U_N)
script Ln 14 Col 50 OVR

```

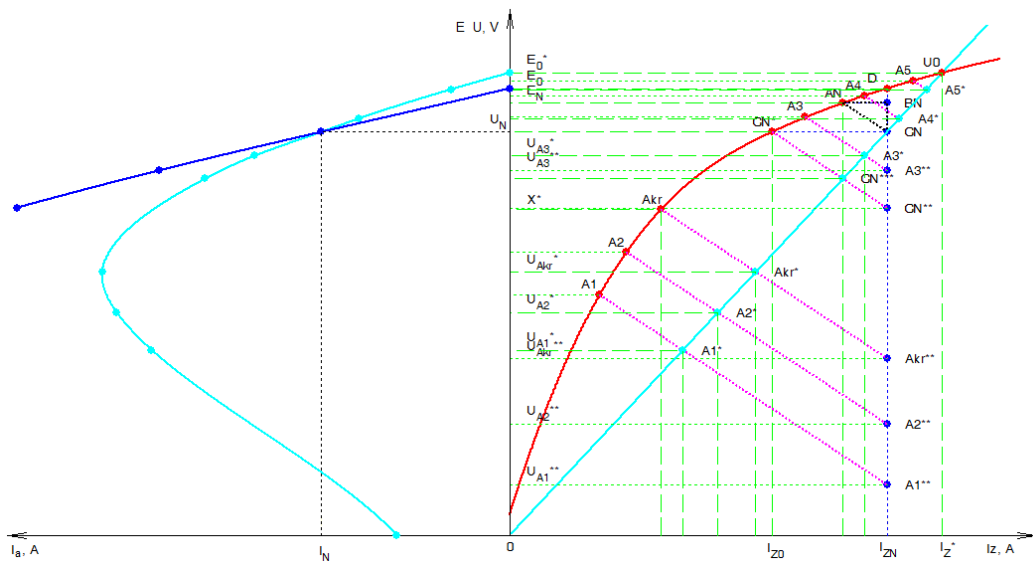
8 pav. Pradiniai duomenys

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: D:\My Documents\Matlab
===== DUOTA =====
Itampa masinai veikiant generatoriaus rezimu [V] U = 230
Nominalus masinos sukimosi greitis [min^-1] n_N = 1000
Generatoriaus nominalioji itampa [V] U_N = 230
Variklio nominalioji itampa [V] U_NV = 220
Pradine masinos galia [kW] P_MP = 18.5
Pradine zadinimo sroves vertė (Tuscios veikos zadinimo srove) [A] I_Z0P = 1.50
Pradine zadinimo srove reikalinga inkaro reakcijai kompensuoti (kai inkaro srove yra nominalioji Ia=IaN) [A] I_ZAP = 0.25
Pradine inkaro apvijios varza [ohm] R_AP = 0.09
Pradine papildomu polių apvijios varza [ohm] R_PP = 0.030
Pradine zadinimo apvijiu varza [ohm] R_ZP = 75
===== REZULTATAI =====
#### Pradiniu duomenu perskaiciavimas i nominalius ####
Nominalioji galia [kW] P_N = 12.333
Nominalus masinos sukimosi greitis [min^-1] n_N = 1000
Generatoriaus nominalioji itampa [V] U_N = 230
Variklio nominalioji itampa [V] U_NV = 220
Tuscios veikos zadinimo srove [A] I_Z0 = 1.500
Zadinimo srove reikalinga inkaro reakcijai kompensuoti, kai inkaro srove yra nominalioji [A] I_ZA = 0.250
Inkaro apvijios varza [ohm] R_A = 0.2025
Papildomu polių apvijios varza [ohm] R_P = 0.0675
Zadinimo apvijiu varza [ohm] R_Z = 75
#### Tuscios veikos charakteristikos ir charakteringojo trikampio braizymas, esant nominaliajai apkrovai ####
I_z_zvaigz = 0 0.5000 1.0000 1.5000 2.0000 2.5000 3.0000 3.5000
E_zvaigz = 0.0500 0.7500 1.0000 1.1200 1.2000 1.2600 1.3000 1.3300
I_Z = 0 0.7500 1.5000 2.2500 3.0000 3.7500 4.5000 5.2500
E = 11.5000 172.5000 230.0000 257.6000 276.0000 289.8000 299.0000 305.9000
Nominalioji inkaro srove [A] I_aN = 53.6232
Elektrovara, kai prie U_N pridedamas itamos kritimas inkaro apvijioje ir papildomuose poliuose, tekant inkaro apvijia nominaliajai srovei I_aN [V] E_N = 246.4783
Charakteringojo trikampio vertikalusis statmuo [mm] Bn_Cn = 16.4783
Charakteringojo trikampio horizontalusis statmuo [mm] An_Bn = 0.2500
Charakteringojo trikampio istrizaine [mm] An_Cn = 16.4802
Zadinimo srove [A] I_ZN = 2.1550
Generatoriaus zadinimo grandines varza [ohm] R_GZ = 106.7276
Zadinimo reostato varza [ohm] R_ZR = 31.7276
#### Nepriklausomo ir lygagrečiojo generatoriu isorines charakteristikos. Nominalus generatoriaus itamos pokytis ####
Lygiagrečiojo zadinimo generatoriaus itamos taskuose U0, A5*,A4*,CN, A3*,CN***,Akr*,A2*,A1*
U_lygeg = 263.6784 254.3396 237.5576 230.0000 216.4509 203.3094 150.0682 127.0120 105.7075 0
Nepriklausomo zadinimo generatoriaus itamos taskuose D,CN,A3**,CN**,Akr**,A2**,A1**
U_neprikl = 254.7561 230.0000 208.0833 186.8257 100.7038 63.4085 28.9468
Sroves atitinkancios kiekviena lygagrečiojo zadinimo generatoriaus apkrovos taska U0, A5,A4,CN, A3,CN***,Akr,A2,A1
I_Ax_lygeg = 0 16.4732 43.0009 53.6232 72.6369 86.8561 116.2307 112.0555 102.1800 32.1739
Sroves atitinkancios kiekviena nepriklausomo zadinimo generatoriaus apkrovos taska D,AN,A3,CN**,Akr,A2,A1
I_Ax_neprikl = 0 53.6232 99.8667 140.4968 276.8713 319.0327 351.9733
#### Variklio greicio charakteristika n=f(Ia) ####
Pasirinktos apkrovos sroves vertes [A]
I_ax = 0 53.6232 107.2464 160.8696 214.4928
Apskaiciuotos elektrovaros vertes pasirinktomis apkrovos srovems [V]
E_Iax = 220.0000 205.5217 191.0435 176.5652 162.0870
Variklio zadinimo srove [A] I_zV = 2.9333
Zadinimo srove kiekvienai inkaro sroves vertei [A]
I_Zstrix = 2.9333 2.6833 2.4333 2.1833 1.9333
Is tuscios veiklos charakteristikos kiekvienai zadinimo srovei randama EV [V]
Estrix = 274.5794 268.9522 262.6995 255.6196 247.4798
Sukimosi greitis kiekvienai inkaro srovei n [min^-1]
n = 801.2255 764.1571 727.2320 690.7343 654.9504
>>
Start

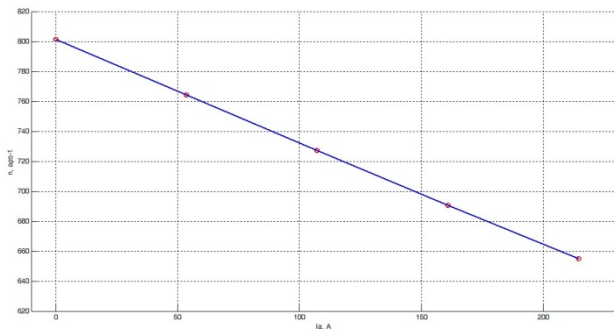
```

9 pav. Skaičiavimo rezultatai



10 pav. Generatoriaus tuščiosios veikos charakteristika (raudona), charakteringasis trikampis (juoda taškinė) bei nepriklausomojo žadinimo (mėlyna) ir lygiagrečiojo žadinimo (žydra) išorinės charakteristikos

Naudojantis MATLAB, buvo sudarytos nuolatinės srovės elektros mašinos (generatoriaus) išorinės charakteristikos, apskaičiuotos joms sudaryti reikalingos srovės, įtampos, galios ir kt. (9 pav.). Skaičiavimo rezultatai gaunami tuoj pat, tik įvedus pradinį duomenį. Be to, jie pateikiami ir grafine forma (10 ir 11 pav.). Tai leidžia studentui geriau suprasti srovės ir įtampos kitimo dėsnius elektros mašinose bei interpretuoti gautus rezultatus, o dėstytojui – patikrinti skaičiavimus ir taip sutaupyti nemažai laiko.



11 pav. Greičio charakteristika $n = f(I_a)$

MATLAB programavimo aplinkoje parašyta programa nesunkiai gali būti pritaikoma kitoms nuolatinės srovės generatoriaus charakteristikoms sudaryti.

Išvados

1. Norint programavimo aplinką MATLAB naudoti elektros mašinų tuščiosios veikos, išorinių, greičio ar kitoms charakteristikoms sudaryti pakanka parašyti specializuotą programą ir tam nebūtina turėti labai galingą kompiuterį.
2. Informacinių technologijų panaudojimas leidžia kokybiškiau nagrinėti sprendžiamus uždavinius, nenaudojant daug laiko skaičiuoti ranka ir grafiškai braižyti.
3. Kauno kolegijos studentams, galimybė taikyti MATLAB nesudėtingoms elektros mašinos charakteristikoms sudaryti, leidžia ne tik geriau suvokti pagrindinius elektros mašinų dėsnius, bet ir ugdo studento loginį mąstymą, kūrybiškumą, įtvirtina turimas elektrotechnikos, elektrinių matavimų, matematikos, informacijos technologijų, programavimo pagrindų, inžinerinių skaičiavimų MATLAB ir kitų dalykų žinias.

Literatūra

1. Dulinskienė, T., Jakštienė, V., Petreikienė, V., Sturienė, R., & Anufrijev, I. (2014). Computation and Data Visualization in MATLAB Environment, Technologija, 98 p.
2. Gečys, S., Kalvaitis, A. & Smolskas, P. (2011). Elektros mašinos (1 dalis), Technologija, 216 p.
3. Mitkuvienė, S. (2011). Laisvai platinamų kompiuterinių programų taikymo galimybės mokslo taikomuosiuose tyrimuose. Mokslo taikomųjų tyrimų įtaka šiuolaikinių studijų kokybei, 1(4), 102–106.
4. Plukas, K., Barauskas, R. & Gaidys, R. (2012). Skaitiniai inžinerijos metodai MATLAB' o terpėje, Technologija, 402 p.
5. Rinkevičius, G., Gečys, S. & Kalvaitis, A. (2008). Elektros mašinų parametrai ir charakteristikos, Technologija, 99 p.

APPLICATION OF MATLAB FOR DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF DC ELECTRICAL MACHINES

Summary

In a technological device, where a smooth change of the machine's speed is crucial or a strong direct current source is required, DC machines are used. They, without altering the construction in principle, can act as a motor or as a generator, i.e. direct current electric power convert to mechanical power and vice versa. According as the excitation winding is connected to the armature, DC machines are divided into shunt-excited, series-excited, separately-excited and compound electrical machines. The operation of any type of electric machine is evaluated according to the adjustment, operation mode, speed-torque and launching characteristics, i.e. the diagram shows the interdependence between two different electrical, mechanical or other values, when the other values are constant. This article presents the principles of the open-circuit and external characteristics of direct current electric machines, based on which, in the MATLAB programming environment, a programme is designed to calculate the main electric sizes of these machines and present results in graphic form.

Keywords: Electrical Machine, Open-circuit Characteristic, External Characteristic.

Informacija apie autorius

Rolandas Muleravičius. Kauno kolegijos, Technologijos fakulteto, Informatikos katedros asistentas. Mokslinių tyrimų laukas: elektros inžinerija.
El. pašto adresas: rolandas.muleravicius@go.kauko.lt

Dr. Jovita Danielytė. Kauno kolegijos, Technologijos fakulteto, Informatikos katedros docentė. Mokslinių tyrimų laukas: mechanikos inžinerija, informatikos inžinerija.
El. pašto adresas: jovita.danielyte@go.kauko.lt

Rasa Muleravičienė. Kauno kolegijos, Technologijos fakulteto, Informatikos katedros lektorė
Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, Elektronikos ir elektros inžinerijos krypties studijų programų departamento, lektorė.
El. pašto adresas: rasa.muleraviciene@go.kauko.lt