

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Tomas Mykolaitis

PAVAROS SU DAŽNIO KEITIKLIU VALDYMO  
SISTEMA  
Bakalauro darbas

**Vadovas**

doc. dr. G. Valiulis

Šiauliai, 2014

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**

Katedros vedėjas  
doc. dr. G. Valiulis

PAVAROS SU DAŽNIO KEITIKLIU VALDYMO  
SISTEMA

Bakalauro darbas

**Vadovas**

doc. dr. G. Valiulis

2014

**Atliko**

E-10 gr. stud.  
T. Mykolaitis

**Recenzentas**

doc. dr. N. Šulčius

2014

2014

Šiauliai, 2014

## SANTRAUKA

Mykolaitis T. Pavaros su dažnio keitikliu valdymo sistema. Elektros inžinerijos bakalauro darbas/mokslinis vadovas doc. dr. G. Valiulis; Šiaulių universitetas, Technologijos ir gamtos mokslų fakultetas, Elektros inžinerijos katedra. – Šiauliai, 2014.

Pagrindinis darbo tikslas – suprojektuoti kompiuterizuotą pavaros su dažnio keitikliu valdymo sistemos stendą, skirtą mokymo tikslams. Stendu galės naudotis elektros inžinerijos studentai, besimokantys tokius dalykus kaip automatinio valdymo teorija, elektros pavaros, valdikliai.

Baigiamajame bakalauro darbe sukurta reali pavara imituojanti konvejerio darbą. Variklio mechaninė galia perduodama per suprojektuotą reduktorių. Variklio švelnų paleidimą, stabdymą, greičio reguliavimą atlieka dažnio keitiklis. Valdymas galimas rankinis-mygtukais ir per kompiuterį.

Darbo analitinėje dalyje apžvelgiamos šiuolaikinės su tema susijusios mokymo sistemos. Aprašyti keli žinomų gamintojų elektros pavarų mokymo stedai. Taip pat aprašyta reikalinga techninė ir programinė įranga.

## SUMMARY

Mykolaitis T. Variable frequency drive control system: Bachelor's thesis of electrical engineer/research advisor Assoc. Dr. G. Valiulis; Šiauliai University, Faculty of Technology and Natural Sciences. Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2014. –37p.

The main objective - to design a computerized electric drive stand with frequency converter control system for educational purposes. This stand will be able to use the electrical engineering students studying subjects such as automatic control theory, electrical drives, controllers.

In this bachelor thesis designed to simulate the real-drive conveyor work. Engine power is transmitted through designed gear. Motor soft start, stop, and speed regulation performs the frequency converter. Control can be manual buttons and from the PC. The analytical part of an overview of the topic related to contemporary educational system. There were a few well-known manufacturers of electric drives training stands. It also describes required hardware and software.

## TURINYS

1. ĮVADAS.....	9
2. ANALITINĖ DALIS.....	10
2.1. Šiuolaikinių su tema susijusių mokymo sistemų apžvalga.....	10
2.2. Reikalingos techninės ir programinės įrangos analizė.....	15
2.2.1 Dažnio keitiklis.....	15
2.2.2 Duomenų surinkimo plokštė LabJack U12.....	20
2.2.3 Valdymas mygtukais.....	22
2.2.4 Perdavimo mechanizmas.....	22
2.2.5 Asinchroninis variklis.....	24
3. PROJEKTINĖ-TAIKOMOJI DALIS.....	25
3.1. Reikalavimų sistemai nustatymas ir apžvalga.....	25
3.2. Sistemos funkcinės schemos sudarymas.....	26
3.3. Sistemos praktinė realizacija ir bandymai.....	28
3.4. Laboratorinių darbų metodiniai nurodymai.....	32
4. IŠVADOS.....	34
5. LITERATŪRA.....	35
6. BRĖŽINIAI.....	36

TVIRTINU  
ŠU Technologijos fakulteto  
Elektros inžinerijos katedros vedėjas  
Gediminas Valiulis

2014 m. \_\_\_\_\_ mėn. \_\_\_\_ d.

## Bakalauro baigiamojo darbo užduotis

Studentui **TOMUI MYKOLAIČIUI**

**Darbo tema:** Pavaros su dažnio keitikliu valdymo sistema

Patvirtinta 2014 m. kovo 29 d. fakulteto dekanu potvarkiu Nr. 060-03-9.

**Užbaigto baigiamojo darbo pateikimo terminas:** 2014 m. birželio 2 d.

**Darbo tikslas:** Suprojektuoti kompiuterizuotą pavaros su dažnio keitikliu valdymo sistema, skirtą mokymo tikslams

**Pagrindiniai duomenys:** Reikalavimai sistemai, esama techninė ir programinė įranga.

**Darbo turinys:**

**1. Įvadas**

**2. Analitinė dalis:**

2.1 Šiuolaikinių su tema susijusių mokymo sistemų apžvalga

2.2 Reikalingos techninės ir programinės įrangos analizė

**3. Projektinė-taikomoji dalis:**

3.1 Reikalavimų sistemai nustatymas ir apžvalga

3.2 Sistemos funkcinės schemos sudarymas

3.3 Sistemos praktinė realizacija ir bandymai

3.4 Laboratorinių darbų metodiniai nurodymai

**4. Išvados**

**5. Literatūra**

**6. Priedai**

**Grafinė medžiaga**

**Užduoties įteikimo data:** 2014 m. vasario 3 d.

**Vadovas:** doc. G. Valiulis

\_\_\_\_\_  
(parašas)

**Studentas:** T. Mykolaitis

\_\_\_\_\_  
(parašas)

## LENTELĖS

2.1. lentelė. Dažnio keitiklio įranga.....	12
2.2. lentelė. Servo pavaros bandymo įranga.....	12
2.3. lentelė. Žingsninio variklio bandymo įranga.....	13
2.4. lentelė. Variklių bandymo stendo įranga.....	14
2.5 lentelė. Dažnio keitiklio techniniai duomenys.....	18
2.6 lentelė . Variklio parametrai.....	24
3.1 lentelė. Pavaros greičiai.....	28
3.2 lentelė. Variklio duomenys parametrizavimui.....	33

## PAVEIKSLĖLIAI

2.1 pav. Apibendrinta elektros pavaros struktūrinė schema.....	10
2.2 pav. FESTO kompiuterizuotas mokymo stendas.....	11
2.3 pav. SIEMENS dažnio keitiklis.....	12
2.4 pav. Servo pavara.....	13
2.5 pav. Žingsninio variklio bandymo įranga.....	13
2.6 pav. Variklių bandymo įranga.....	14
2.7 pav. Kompiuterizuotas mokymo stendas Lucas Nulle EPI 41.....	14
2.8 pav. Dažnio keitiklio struktūrinė schema.....	15
2.9 pav. Dažnio keitiklis SIEMENS Micromaster 420.....	18
2.10 pav. Dažnio keitiklio valdymo kontaktų reikšmės.....	20
2.11 pav. Valdiklis LabJack U12.....	21
2.12 pav. Signalų pastiprinimo schema.....	21
2.13 pav. Variklio paleidimo mygtukais, principinė schema.....	22
2.14 pav. Perdavimo mechanizmas iš krumpliaračių.....	23
2.15 pav. Asinchroninis variklis.....	24
3.1 pav. Pavaros su dažnio keitiklio valdymo sistema.....	26
3.2 pav. Suprojektuotos sistemos funkcinė schema.....	27
3.3 pav. Greičio matuoklis TESTO 470.....	28
3.4 pav. Sistemos valdymo langas.....	29
3.5 pav. Geičių priklausomybių grafikas.....	30
3.6 pav. Variklio greičio ir juostos greičio priklausomybė.....	30
3.7. pav. Juostos nuvažiuotas atstumas priklausomai nuo ciklų skaičiaus.....	31
3.8 pav. Geičių priklausomybių grafikas.....	32

## ĮVADAS

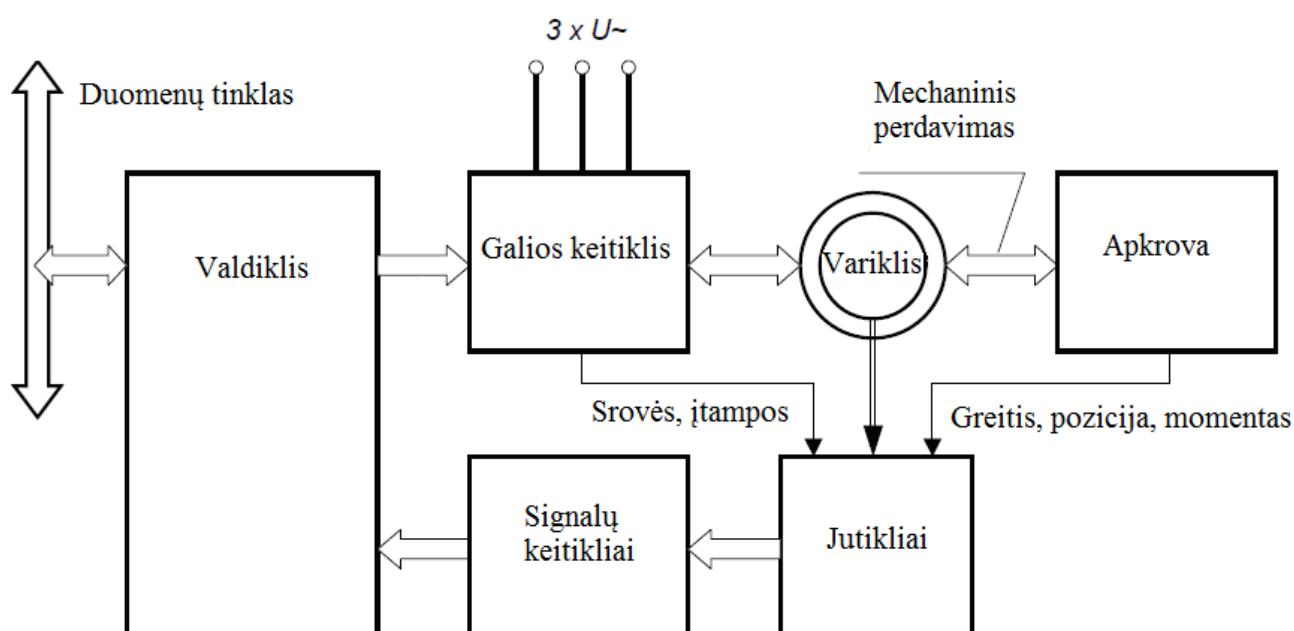
Pasirinkta tema yra aktuali, nes dabar pramonėje daugiausiai naudojami asinchroniniai varikliai, kurių pagrindis valdymas (paleidimas, stabdymas, greičio reguliavimas) atliekamas dažnio keitikliu. Reguluojamo sukimosi greičio elektros pavaros su dažnio keitikliu leidžia sklandžiai valdyti technologinius procesus, bei taupyti elektros energiją. Todėl reikia suspažinti su tokiais prietaisais ir išmanyti jų sandarą bei valdymo principus.

Mano baigiamojo darbo tikslas suprojektuoti kompiuterizuotą pavaros su dažnio keitikliu valdymo sistemą, skirtą mokymo tikslams. Pagrindinis stendo elementas – dažnio keitiklis, kuris valdo asinchroninį variklį. Suprojektuota apkrova – konvejerio imitacija, prijungta prie variklio per reduktorių. Stendu galės naudotis elektros inžinerijos studentai. Atliekant laboratorinius darbus su šiuo stendu bus įgaunama praktinių įgūdžių, kurių prireiks ateityje.

## 2. ANALITINĖ DALIS

### 2.1. Šiuolaikinių su tema susijusių mokymo sistemų apžvalga

Elektros pavarą tai elektromechaninė sistema (mechatroninė sistema) skirta elektros energiją pakeisti į mechaninę energiją. Ji susideda iš elektros variklių, perdavimo mechaizmo, elektros energijos keitiklio ir valdymo sistemos. Valdymo sistema susideda iš valdiklio su duomenų ryšio sąsajomis, duomenų perdavimo tinklais, jutikliais ir vykdikliais. Apibendrinta elektros pavaros struktūra pavaizduota 2.1 paveikslėlyje. Padrindinė elektros pavarų užduotis yra kontroliuoti mechanizmų judesius. Elektros pavarą yra automatinio valdymo sistema su daugybe skirtingų grįžtamųjų ryšių. Priklausomai nuo konkrečių techninių sprendimų ir pasirinkto valdymo būdo yra naudojami skirtingi jutikliai: matuoti srovę, įtampą, greitį, pagreitį, sukimosi momentą ir t.t. Valdyti skirtingas pavaras reikia skirtingų jutiklių pvz. valdyti siurbliams ir kompresoriams reikalingas slėgio matavimas, o ventiliatorių valdymui – temperatūros, oro drėgnumo. Dėl šios priežasties valdant skirtingas elektros pavaras, reikalinga skirtinga informacija.



2.1 pav. Apibendrinta elektros pavaros struktūrinė schema.

Šiuolaikinės elektros inžinerijos studijos universitetuose neapseina be praktinių mokymų, laboratorinių darbų, įgūdžių didinimo susipažinant su įvairiais elektros įrenginiais. Ne tik susipažinant teoriškai, bet ir praktiškai jungiant elektrines schemas, matuojant įvairius parametrus, atliekant tyrinėjimus. Daugelis žinomų pasaulio firmų glaudžiai bendradarbiauja su mokymo

įstaigomis, bei pramonės atstovais. Kuria įvairias mokymo sistemas, padedančias greičiau įgauti patirties, reikalingos pabaigus universitetą ir pradėjus dirbti.

Pats geriausias mokymo būdas, kai studentas pats gali paliesti įrangą, sujungti schemą ir atlikti eksperimentus, tyrinėjimus. Festo siūlo laboratorinį stendą, kurio įrangą galima lengvai pasirinkti priklausomai nuo mokymo srities. Šiame stende naudojami tik realūs pramoniniai komponentai. Tikra pramoninė įranga sumažina lavinimo, reikalingų įgūdžių atotrūkį nuo mokymo įstaigų ir realaus darbo. Taigi, studentai yra mokomi profesionalia įranga su kuria jie susidurs vėliau realioje aplinkoje. Svarbu, kad šio mokymo stendo yra patogus eksplotavimas, galima lengvai tobulinti, pridėti papildomų prietaisų. Kitas svarbus dalykas – saugumas, apsauga nuo pavojingos įtampos.

Elektros pavaros stendas pavaizduotas 2.2 paveikslėlyje. Jis pagamintas iš apvalių kolonų, kurios tarnauja kaip ir laidų kanalai. Už pagrindinio darbo vietos paviršiaus įrengtas valdymo skydas su elektros energijos tiekimo jungtimis, avarinio stabdymo mygtuku ir kitais elektriniais prietaisais reikalingais šio stendo valdymui. Virš darbo stalo įrengti laikikliai, į kuriuos montuojama pasirinkta mokymo įranga. Darbo vietoje daug vietos, galima pasidėti įvairius matavimo prietaisus. Jeigu reikia, gali būti komplektuojamas kompiuteris.



2.2 pav. FESTO kompiuterizuotas mokymo stendas.

Pagrindiniai laboratorinio mokymo stendo elementai yra keičiami komponentai. Daugelis užduočių ir taikymų gali būti atlikti su skirtingomis keičiamomis valdymo dalimis bei varikliais. Priklausomai nuo mokymo tikslų, galima į standą integruoti skirtingas mašinas: nuolatinės, kintamosios srovės, žingsninius ar servo variklius su visa reikiama valdymo įranga.

Visi pasirenkami atskiri elementai yra realūs pramoniniai įrenginiai, tai leidžia įgauti reikiamų įgūdžių, kuriuos bus galima pritaikyti ateityje. Komplektuojant standą galima pasirinkti įvairią lengvai įmontuojamą įrangą: dažnio keitiklį su patogiu prijungimu, žingsninį, servo ar kitus įvairius variklius.

2.1. lentelė

Dažnio keitiklio įranga

Įrangos pavadinimas	Mokymo tikslai
Dažnio keitiklis SIEMENS Micromaster 420	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektriniai elementai, dalys, jų pagrindinės funkcijos</li> <li>• būdingos kreivės</li> <li>• greitėjimo ir lėtėjimo laikai</li> <li>• dažnio (greičio) keitimas</li> <li>• parametrizavimas</li> </ul>

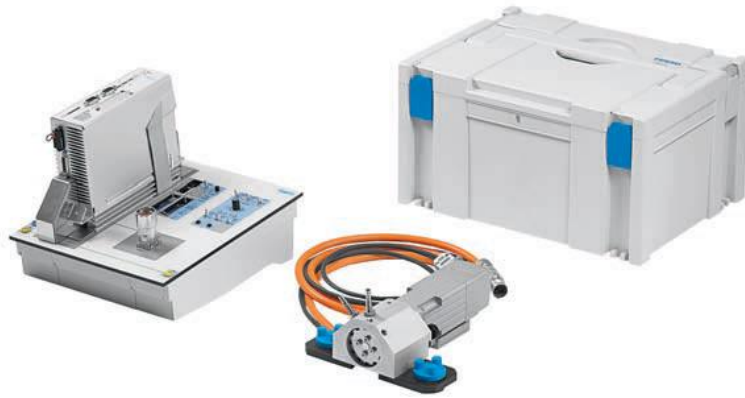


2.3 pav. SIEMENS dažnio keitiklis.

2.2 lentelė

Servo pavaros bandymo įranga

Įrangos pavadinimas	Mokymo tikslai
Servo pavara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• servo variklio taikymas, paskirtis</li> <li>• elektriniai elementai, dalys, jų pagrindinės funkcijos</li> <li>• greičio kontrolė</li> <li>• pozicionavimas su skirtingais greičiais ir pagreičiais</li> <li>• sukimo momento reguliavimas</li> </ul>



2.4 pav. Servo pavara

2.3 lentelė

## Žingsninio variklio bandymo įranga

Įrangos pavadinimas	Mokymo tikslai
Žingsninio variklio pavara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• žingsninio variklio taikymas, paskirtis</li> <li>• elektriniai elementai, dalys, jų pagrindinės funkcijos</li> <li>• žingsninio variklio srovės mažinimas</li> <li>• pozicionavimas su žingsniniu varikliu</li> <li>• sukimo momento reguliavimas</li> <li>• variklio įsibėgėjimas ir uždelsimas</li> </ul>



2.5 pav. Žingsninio variklio bandymo įranga

Papildomai pasirenkama variklių bandymo įranga 2.6 pav. pateikiama kartu su stabdymo mechanizmu, kuris veikia kaip apkrova. Bandymus galima atlikti su įvairios rūšies elektros mašinomis. Elektros pavaros pasižymi dideliu greičiu, sukimo momentu ir didžiuliu lankstumu. Atliekant laboratorinius darbus su šia įranga, bus įgytos žinios kaip tinkamai parinkti, naudoti elektros variklius.

## Variklių bandymo stendo įranga

Įrangos pavadinimas	Mokymo tikslai
Pavarų sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektros pavarų technologijos</li> <li>• nuolatinės ir kintamosios srovės varikliai</li> <li>• trifaziai varikliai</li> <li>• specialios paskirties mašinos</li> <li>• skirtingų el. variklių charakteristikų analizė</li> </ul>



2.6 pav. Variklių bandymo įranga.

Panašų mokymo stendą su dažnio keitikliu siūlo kitas gamintojas Lucas Nulle, 2.7 pav. Su stende įmontuotu dažnio keitikliu galima atlikti įvairius bandymus su asinchroniniu varikliu.



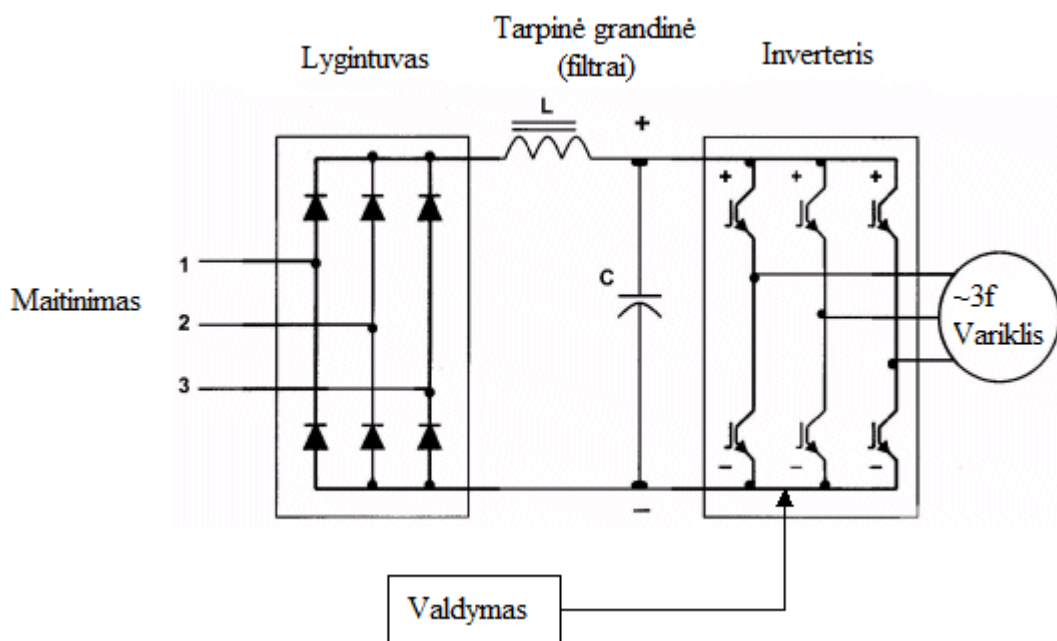
2.7 pav. Kompiuterizuotas mokymo stendas Lucas Nulle EPI 41.

## 2.2. Reikalingos techninės ir programinės įrangos analizė

### 2.2.1 Dažnio keitiklis

Asinchroninių variklių dažnio valdymas yra pagrindinis greičio reguliavimo metodas, o dažnio keitikliai yra pagrindiniai elektros pavarų komponentai. Dažnio keitikliai yra elektroniniai prietaisai skirti valdyti asinchroninių variklių greičiui, atsižvelgiant į apkrovą ir norimą variklio sukimosi greitį. Nors ir yra daugybė įvairių dažnio keitiklių modelių, jie visi turi tą pačią funkciją – keisti maitinimo įtampą, kuri yra fiksuoto dažnio ir vertės, į reguliuojamo dažnio ir reguliuojamos įtampos dydį, kurie reikalingi reguliuojant asinchroninių variklių greitį. Variklio sukimo kryptis lengvai keičiama.

Dažnio keitiklis susideda iš keturių pagrindinių komponentų, 2.8 paveikslėlis: kintamosios srovės lygintuvo, tarpinės grandinės, inverterio ir valdymo grandinės. Lygintuvas susideda iš diodų tiltelio, kuris išlygina tinklo tiekiamą kintamąją srovę į nuolatinę. Tarpinė grandinė sudaryta iš filtrų: kondensatorių ir induktyvumo ričių. Inverteris konvertuoja išlygintą nuolatinę srovę atgal į kintamąją tik jau norimos įtampos ir dažnio.



2.8 pav. Dažnio keitiklio struktūrinė schema

Yra dvi asinchroninio variklio valdymo metodų grupės: skaliariniai ir vektoriniai. Dauguma dažnio keitiklių taikymo atvejų variklio mechaninės apkrovos priklausomybė nuo sukimosi greičio yra iš anksto žinoma, o reikalavimai dinaminėms asinchroninių pavarų savybėms

nėra svarbūs. Tokiais atvejais variklio valdymui pakanka skaliarinio valdymo dažnio keitiklio. Populiariausios jų panaudojimo sritys yra siurbliai, ventiliatoriai ir dalis konvejerių.

Vektorinio valdymo dažnio keitikliai gali greitai ir tiksliai valdyti variklio sukimosi momentą esant įvairiems sukimosi greičiams, gali dirbti esant dideliam pagreičiui. Jis taip pat gali įsijungti, kai variklis sukasi į bet kurią pusę. Asinchroninių variklių pavaros, valdomos vektorinio valdymo dažnio keitiklių naudojamos didelio greičio liftuose, kranuose bei laidų vyniojimo, popieriaus gamybos, plieno liejimo, plastmasės šampavimo ir kituose įrenginiuose.

#### **Dažnio keitiklių privalumai:**

- Be energijos taupymo, dažnio keitikliai turi daugiau privalumų, kurie prideda lankstumo ir patikimumo elektros sistemai.
- Dažnio keitikliai neturi paleidimo srovių šuolio (paleidimo srovė nustatoma iki 150% nuo nominalios variklio srovės). Paleidimo srovių šuoliai atsiranda mechaniškai paleidžiant variklį ir tai gali sukelti variklio nesklendimus. Tai taip pat gali sukelti įtampos svyravimus, kurie savo ruožtu gali pakenkti kitoms apkrovoms (kompiuteriai ir t.t.). Dažnio keitikliai švelniai paleidžia variklius per 20 - 30 s.
- Dažnio keitikliai turi aukštą galios koeficientą, todėl nebereikia naudoti reaktyviosios galios kompensavimo įrenginių (kondensatorių baterijų).
- Dažnio keitikliai išlygina jungimo pikus (trumpalaikius įtampos šuolius), kai išjungiamas variklis. Variklio greitis švelniai mažinamas (pvz. per 20 - 30s). Dažnio keitiklis išsijungia, kai variklio greičio ir srovės reikšmės tampa mažos.
- Dažnio keitikliai turi programuojamas variklio valdymo, apsaugos ir komunikacijų funkcijas, tuo stipriai nutoldami nuo kontaktorių, variklio apsaugų, papildomų kontaktų ir atkabiklių funkcijų. Pavyzdžiui, dažnio keitikliui galima užprogramuoti variklio sukimo kryptį, ir tam nereikia papildomo kontaktoriaus.
- Vienfazėse sistemose, dažnio keitikliai leidžia pakeisti vienfazius variklius trifaziais. Tai yra todėl, kad dažnio keitiklio įėjimas gali būti prijungti prie vienfazio tinklo ir išėjime generuoti trifazį signalą; kitaip tariant vienfazė įtampa keičiama į trifazę įtampą.

#### **Dažnio keitiklių trūkumai:**

- Dažnio keitikliai turi ir neigiamo poveikio elektros tinklui ir varikliui. Tai harmonikos ir variklių pavarų suderinamumas tiek mažiems, tiek ir dideliems dažnio keitikliams. Skirtumas tik tas, kad mažiems varikliams ir dažnio keitikliams skiriamas mažesnis dėmesys nei dideliems, brangesniems dažnio keitikliams. Paprastai didelės galios dažnio keitiklio įtaka tinklo parametrų

netiesiniams iškraipymams yra didelė, todėl jiems būtini filtrai. Pavyzdžiui, jei lygintume 185 kW ir 4 kW dažnio keitiklius, tai pirmuoju atveju filtrai yra būtini.

- Vienfazėse sistemose, dažnio keitikliai generuoja trečią (150Hz) ir penktą (250Hz) harmonikas. Komerciniuose pastatuose, keturlaidėse (3 fazės + nulis) elektros sistemose, jos susilieja į trečiąją harmoniką prisidedančia prie neutralės, todėl nuliniam laidui patartina naudoti storesnę laidininką negu faziniams laidams. Kadangi mažos galios dažnio keitikliai taip pat generuoja harmonikas, todėl, atliekant bet kokius tinklo matavimus, reikia naudoti tRMS (true - Root Mean Square) matavimo prietaisus tikslesniam matavimui.

- Trifazėse sistemose, dominuoja penktoji (250Hz) harmonika, kurią generuoja dažnio keitikliai. Penktoji (250Hz) harmonika yra neigiamos sekos harmonika: ji sukuria priešingą sukimo momentą, kuris verčia variklius sukti atgal. Penktoji (250Hz) harmonika neturi įtakos varikliams, kurie turi dažnio keitiklius. Ji įtakoja tik variklius, kurie valdomi mechaninėmis variklio apsaugomis. Nors pagrindinė variklio srovė (pirmoji harmonika - 50Hz) vis tiek suks variklį pirmyn, tačiau penktoji (250Hz) harmonika papildomai kaitins ir po kažkurio laiko gali žymiai pakenkti statoriaus izoliacijai.

- Pirmas žingsnis kaip kovoti su harmonikomis: prie dažnio keitiklio turi būti prijungta reaktoriaus ritė. Ši ritė mažina srovės iškraipymus dažnio keitiklio įėjime. Ji taip pat apsaugos dažnio keitiklį nuo viršįtampių šuolių (ypač kondensatorių jungimų pikai), kurie atkeliauja iki nuolatinės srovės sąsajos ir sukelia viršįtampius.

- Kai kuriuose pigesniuose dažnio keitikliuose gamintojai mažina kainą išimdami reaktoriaus ritę, taip padarydami dažnio keitiklį "harmonikų generatoriumi". Tai ypač pavojinga, kai jie montuojami kartu su tiesioginio paleidimo varikliais. Šiuo atveju situaciją galima pataisyti instaliuojant linijinius reaktorių ar izoliuojančius transformatorius.

- Dažnio keitiklį su integruota reaktoriaus rite gali neapsaugoti nuo kylančių problemų. Panašios harmonikų problemos gali kilti, kai grandinėje instaliuojama daug mažos galios dažnio keitiklių, kurie bendrai sukelia didelius netiesinius iškraipymus. Esant didelės galios dažnio keitikliui galima montuoti pasyvinį penktosios (250Hz) ir septintosios (350Hz) harmonikų filtrą. Tačiau šiuo atveju tai nebūtų teisinga, nes mažos apkrovos gali būti labai dinamiškos ir pasyvus harmonikų filtras gali nesumažinti harmonikų. Tokiu atveju geriausiai tinka aktyvūs harmonikų filtrai. Šie įrenginiai seka harmonikų sroves ir generuoja tos pačios amplitudės tik priešingas harmonikoms sroves. Tokiu būdu panaikinamos susidarančios harmonikos ir labai efektyvūs dinamiškoms apkrovoms su kintamomis harmonikų srovėmis.

- Dažnio keitikliams gali atsirasti variklio suderinamumo problemos, ypač kai dažnio keitikliai montuojami seniems varikliams. Greitas puslaidininkių junginėjimasis bei ilgas kabelis gali sukelti viršįtampių atspindžius (kitais vadinamus stovinčios bangos įtampa, ar vainikinė

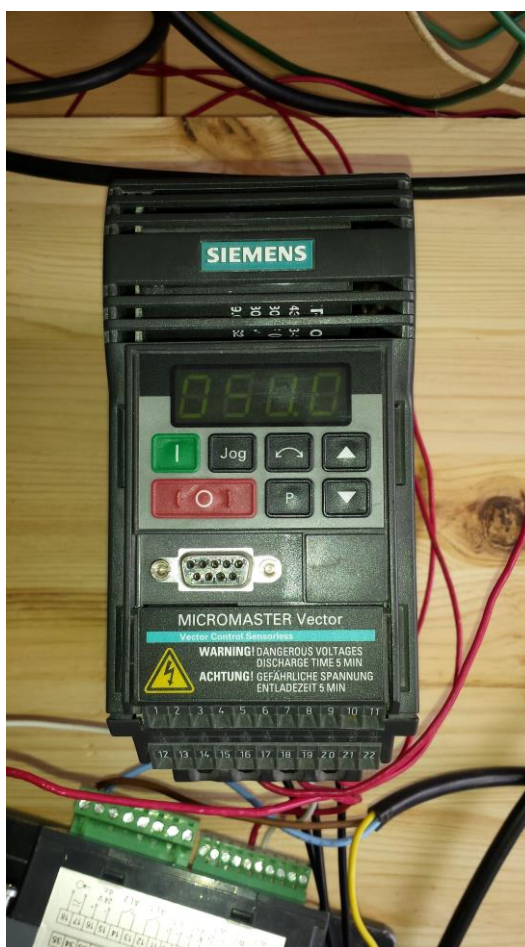
įtampa), kai įtampos pikas du - tris kartus didesnė už nuolatinės srovės sąsajos įtampą. Daugelis gamintojų deklaruoja, kad kabelio ilgis iki variklio neturi viršyti 30 m, bet kartais net tai yra per daug. Jie gali pramušti pirmųjų kelių variklio apvijų izoliaciją, galinčios sukelti ankstyvą variklio statoriaus izoliacijos pramušimą.

Darbe naudojamas SIEMENS firmos MICROMASTER Vector 420 trifazis dažnio keitiklis, 2.9 pav. Techniniai duomenys pateikti 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė

Dažnio keitiklio techniniai duomenys

Dažnio keitiklio modelis	6SE3214-0DA40 MMV150/3
Maitinimo įtampa	kintamoji 380 – 500 V +/- 10%
Maksimali prijungto variklio galia	1,5 kW
Nominali išėjimo srovė	3,7 A
Išėjimo srovė	4 A
Maksimali įėjimo srovė	2,9 A
Rekomenduojamas maitinimo saugiklis	10 A
Matmenys (plotis x aukštis x gylis)	73x175x141
Svoris	0,75 kg

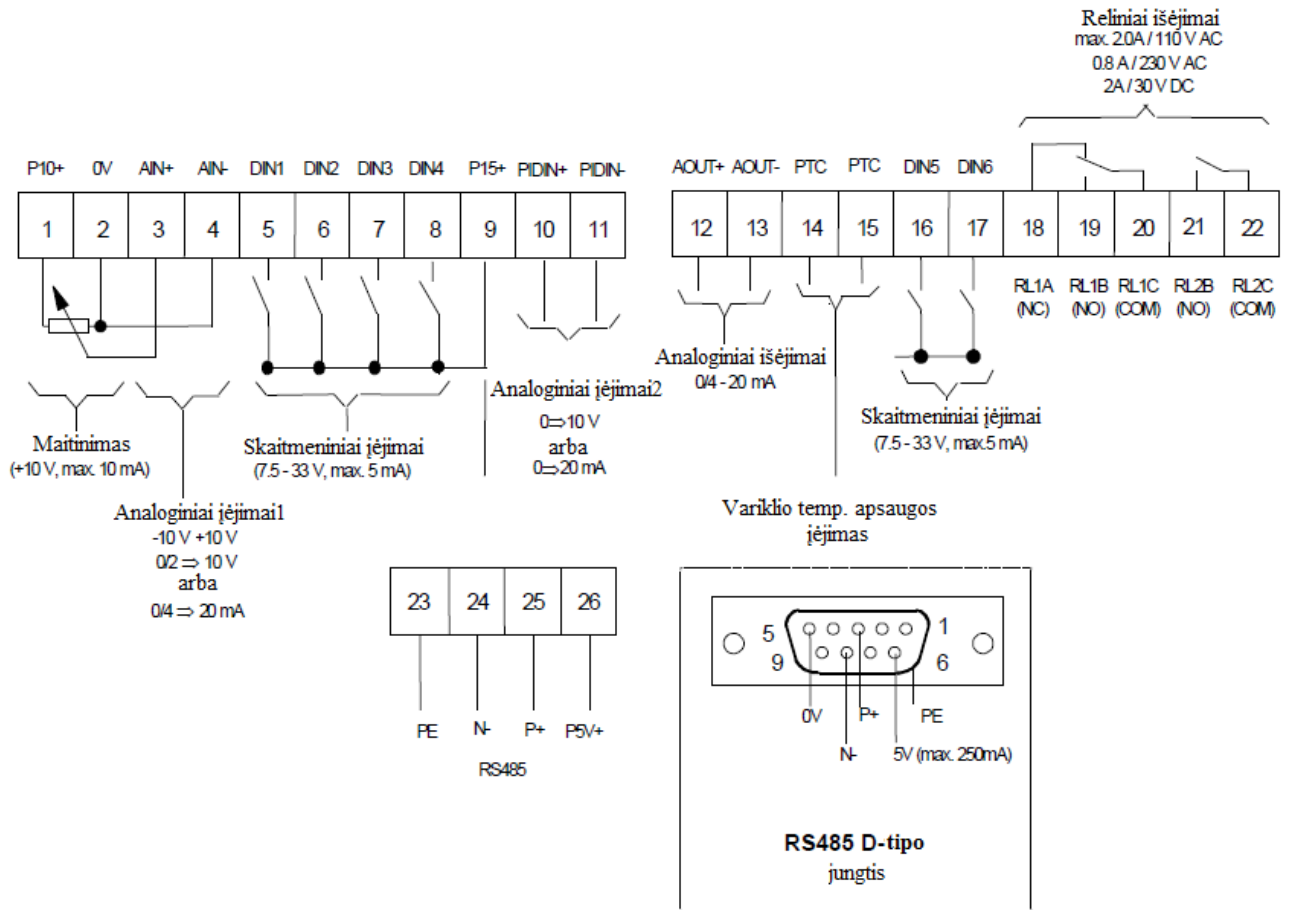


2.9 pav. Dažnio keitiklis SIEMENS Micromaster 420.

Siemens dažnio keitiklio privalumai:

- Lengva įdiegti, programuoti ir eksploatuoti.
- Atlaiko 200 % perkrovą 3 s, o 150% perkrovą 60 s.
- Didelis paleidimo momentas, tikslus variklio greičio reguliavimas.
- Eksploatavimo temperatūros diapozonas nuo 0 iki 50 °C.
- Nuotolinio valdymo galimybė per RS485 sąsaja naudojant USS protokolą, tokių būdu galima valdyti iki 31 dažnio keitiklio.
- Dažnis (variklio greitis) gali būti valdomas:
  - (1) dažnio nustatymo mygtukais valdymo skydelyje;
  - (2) didelės raiškos analoginiu nustatymu (įtampos ar srovės įėjimu);
  - (3) prie dažnio keitiklio prijungtu potenciometru;
  - (4) 8 nustatytais dažniais per skaitmeninius įėjimus;
  - (5) Sąsaja per kompiuterį.
- lengvai programuojami įsibėgėjimo ir lėtėjimo laikai.
- Turi du programuojamus relės išėjimus (13 funkcijų)
- turi programuojamą analoginį išėjimą.
- integruotas aušinimo ventiliatorius
- kelis dažnio keitiklius galima montuoti vienas prie kito nepaliekant tarpo, taip sutaupoma vietos skyde.

Micromaster420 dažnio keitiklis turi 6 parmetrizuojamus skaitmeninius įėjimus, 2 analoginius įėjimus, 1 analoginį išėjimą, 2 relinius išėjimus ir variklio temperatūros apsaugos įėjimą (PTC). Dažnio keitiklis gali būti valdomas per kompiuteį naudojan RS485 jungtį. Visi valdymo kontaktai pavaizduoti 2.10 paveikslėlyje.



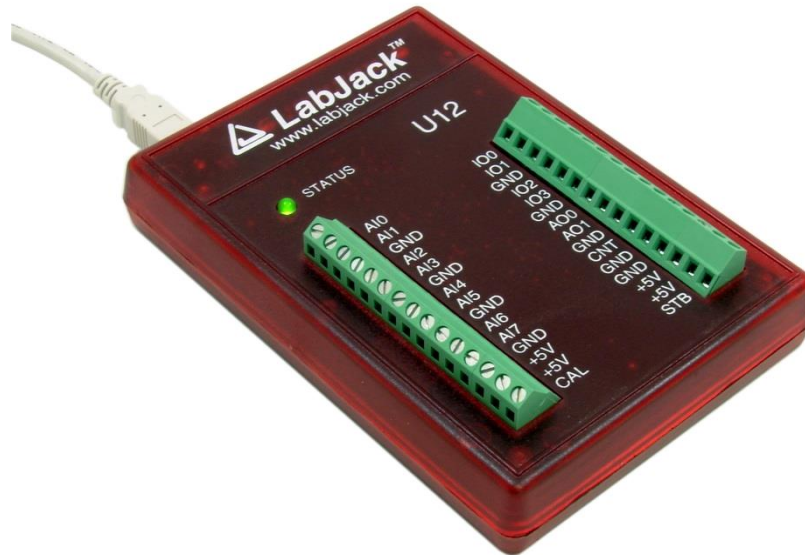
2.10 pav. Dažnio keitiklio valdymo kontaktų reikšmės.

### 2.2.2 Duomenų surinkimo plokštė LabJack U12

Dažnio keitiklio valdymui per kompiuterį panaudota daugiafunkcinė duomenų surinkimo plokštė LabJack U12, 2.11 paveikslėlis. Iš šios plokštės paduodamas valdymo signalas į dažnio keitiklio skaitmeninius, analoginius įėjimus. Techniniai parametrai:

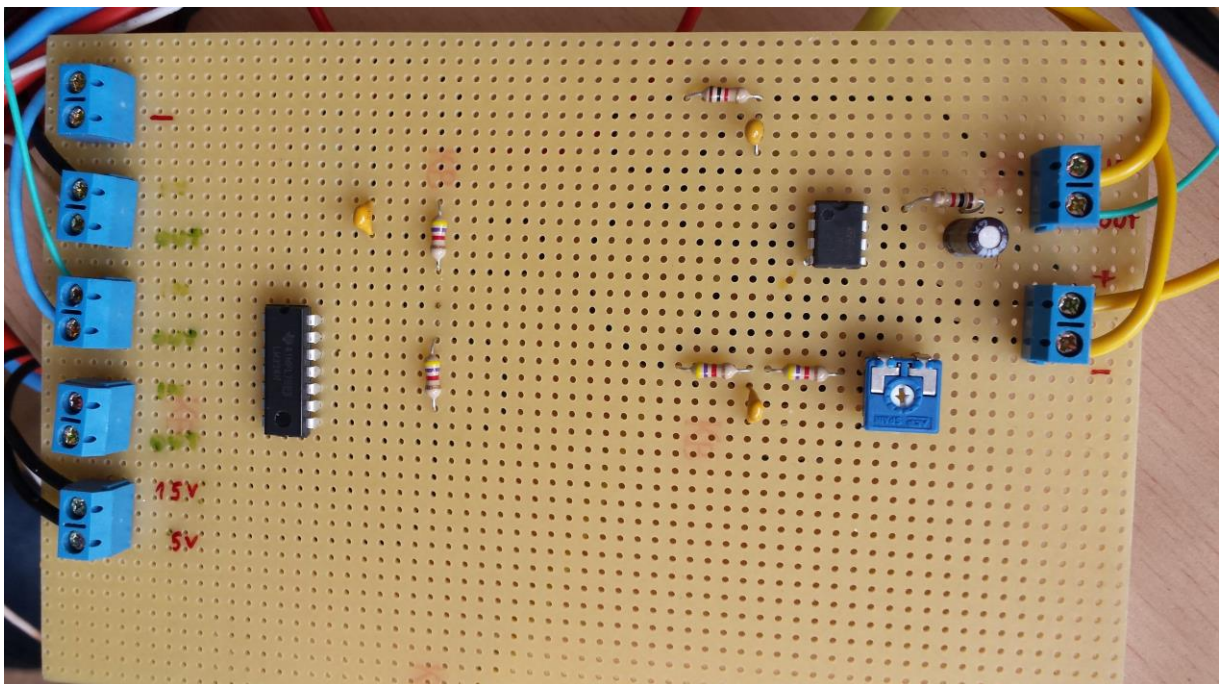
- $\pm 10$  V analoginio įėjimo diapozonas;
- du analoginiai įėjimai;
- 20 skaitmeninių įėjimų/išėjimų
- nereikalingas maitinimo šaltinis

Valdiklis turi 8 analoginio signalo įėjimus (AI0-AI7). Kiekvieną iš jų galima konfiguruoti atskirai. Analoginio signalo intervalas  $\pm 10$  V. LabJack turi 20 įėjimų/išėjimų kanalų, kurie gali būti konfiguruojami kaip išėjimo arba įėjimo signalai. Keturi iš tų signalų prieinami per varžtinį kontaktą valdiklio priekyje, jie apsaugoti nuo viršįtampių ir trumpųjų jungimų, kiti 16 per DB-25 jungtį. Valdiklis turi integruotą skaitiklį, kuris skaičiavimo dažnis iki 1 MHz.



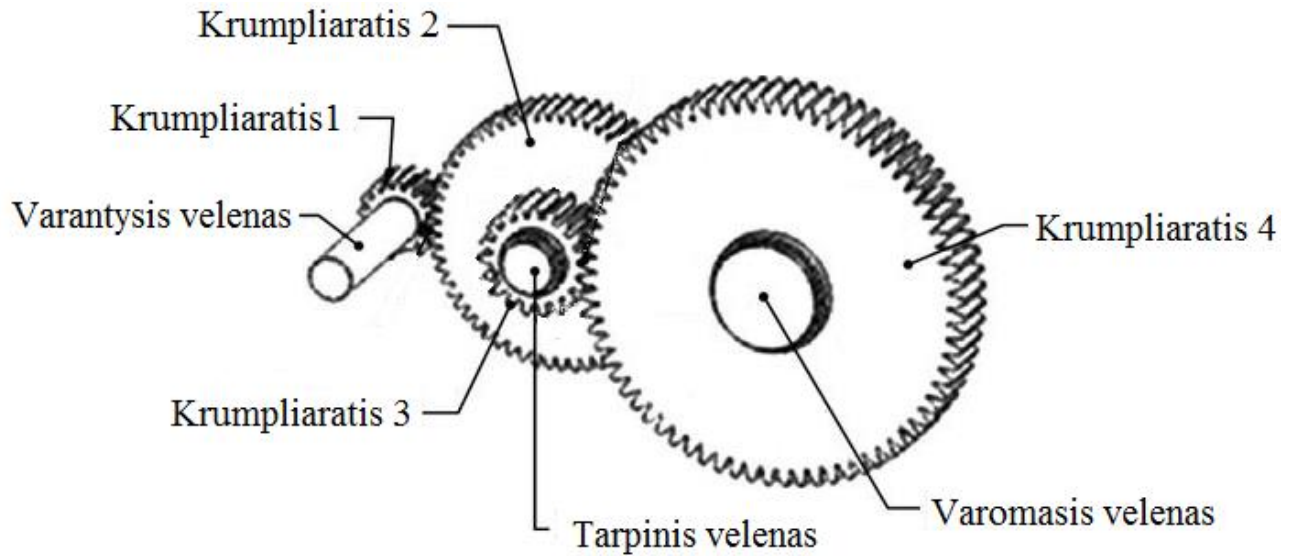
2.11 pav. Duomenų surinkimo plokštė LabJack U12.

Kadangi šiai plokštei nereikalingas papildomas maitinimo šaltinis, užsimaitina per USB jungtį, maksimalus išėjimo signalas yra tik 5V. Tokio dydžio įtampos neužtenka dažnio keitiklio įėjimams aktyvuoti. Dažnio keitiklio skaitmeninių įėjimų minimali įtampa 7,5V, o maksimali 33V. Kad išspręsti šią problemą, pagaminta signalo stiprinimo schema, 2.12 pav. Signalas pastiprinamas nuo 5V iki 12V. Taip pat pastiprinamas analoginis signalas (0-5V) iki 0-10 V. Principinės schemos pateikiamos 1 ir 2 brėžiniuose.



2.12 pav. Signalų pastiprinimo schema.





2.14 pav. Perdavimo mechanizmas iš krumpliaraičių.

Krumplinių perdavų pranašumai :

- galima naudoti plačiame greičių, galių ir perdavimo santykių diapazone;
- yra mažesnių matmenų negu diržinės pavaros;
- turi didesnę naudingumo koeficientą,
- patikimesnės, paprastesnė priežiūra.

Didžiausi krumplinių perdavų trūkumai :

- sudėtinga, didelio tikslumo krumpliaraičių gamyba;
- virpesiai ir triukšmas kai krumpliaraičiai netiksliai pagaminti;
- neapsaugo mašinos nuo perkrovų ir blogai slopina dinamines apkrovas.

Krumpliaraičių perdavimo santykis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$m_v = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{N_3}{N_4} \quad (2.1)$$

čia  $m_v$ - perdavimo santykis;

$N_1$ - pirmojo krumpliaraičio dantų skaičius;

$N_2$ - antrojo krumpliaraičio dantų skaičius;

$N_3$ - trečiojo krumpliaraičio dantų skaičius;

$N_4$ - ketvirtojo krumpliaraičio dantų skaičius.

### 2.2.5 Asinchroninis variklis

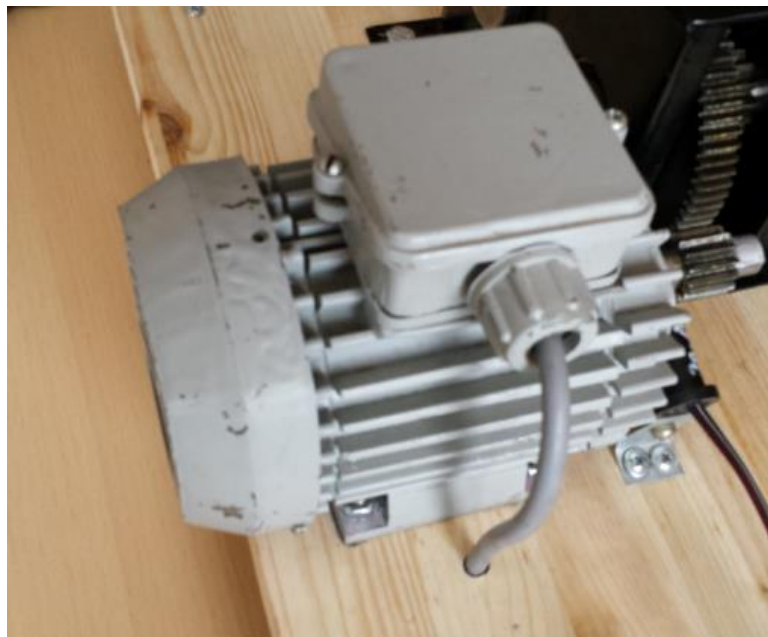
Asinchroninis variklis yra tapęs pagrindiniu pramonėje naudojamu mechaninės energijos keitikliu į elektros energiją. Tokį šios rūšies variklių paplitimą lėmė puikios jų savybės: paprasta konstrukcija, didelis patikimumas, paprasta priežiūra. Jie gaminami plataus galių diapazono, todėl pagal poreikius lengvai gali būti pritaikyti įvairiose pramonės srityse.

Mokymo stende panaudotas trifazis kintamosios srovės asinchroninis variklis, 2.15 pav. Jo parametrai pateikti 2.6 lentelėje.

2.6 lentelė

Variklio parametrai

Galia	90 W
$\cos \varphi$	0,6
Įtampa	400 V
Dažnis	50Hz
Greitis	1480 aps/min



2.15 pav. Asinchroninis variklis

### 3. PROJEK TINĖ-TAIKOMOJI DALIS

#### 3.1. Reikalavimų sistemai nustatymas ir apžvalga

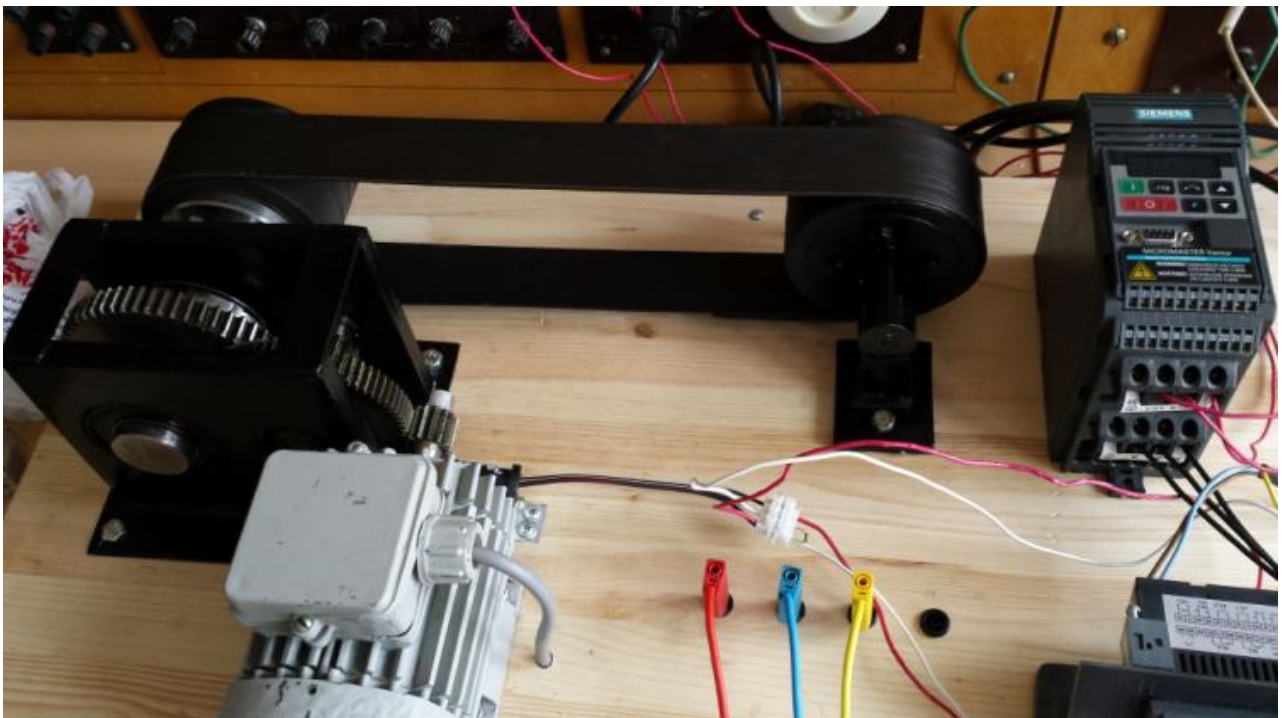
Suprojektuota elektros pavara su dažnio keitikliu skirta mokymo tikslams, todėl standas turi būti lengvai suprantamas, informatyvus, saugus naudoti. Pagrindinis tikslas, sukurti realią sistemą, kuri leistų susipažinti su elektros pavaromis.

Suprojektuoto stendo įranga turi atitikti šiuos reikalavimus:

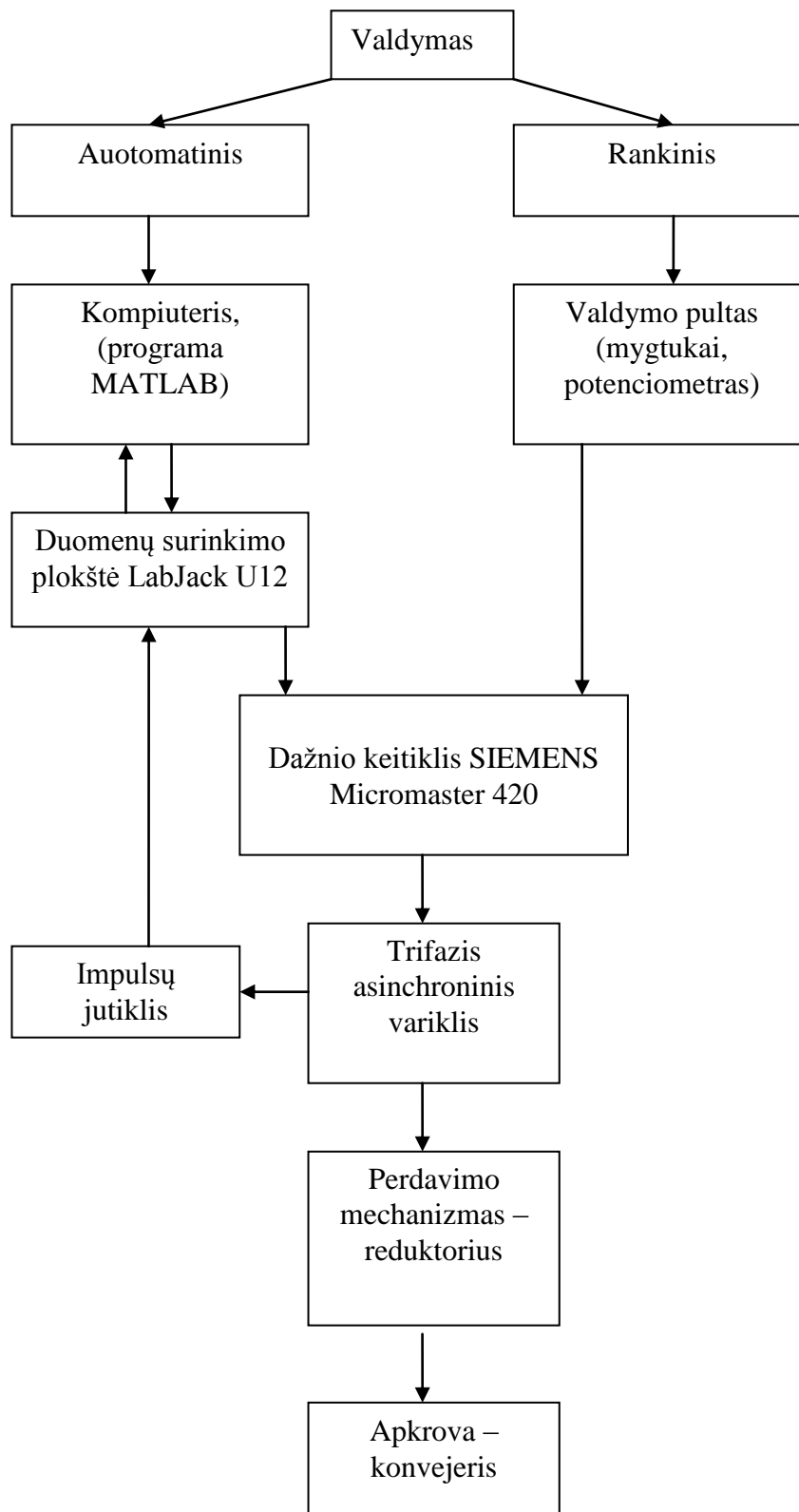
- Turi būti parinktas tirtfazis asinchroninis variklis suderintas su sistemos dažnio keitikliu,
- Asinchroninio variklio greičio reguliavimui, švelniam paleidimui ir stabdymui panaudotas dažnio keitiklis turi turėti mažiausiai du skaitmeninius jėjimus, vieną analoginį jėjimą ir analoginį išėjimą.
- Valdymas turi būti atliekamas dviem būdais, rankiniu – mygtukais, ir automatiniu – iš kompiuterio. Numatyti apsaugą, kad valdymas būtų galimas tik vienu būdu.
- Pirmu skaitmeniniu jėjimu įjungiamas variklis pagal laikrodžio rodyklę, antru skaitmeniniu jėjimu įjungiamas variklis prieš laikrodžio rodyklę. Analoginiu signalu reguliuojamas variklio greitis.
- Turi būti numatytas variklio išlėtinimo mechanizmas. Gali būti sukonstruotas diržinis, grandininis arba krumpliaratinis mechanizmas. Variklio veleno greičio sulėtinimas turėtų siekti apie 20-25 kartus.
- Išlėtintas velenas turi būti prijungtas prie konvejerio mechanizmo maketo.
- Visi įrenginiai ir jų išvestos jungtys turi turėti aiškiai matomus žymėjimus.
- Jungtys turi būti apsaugotos nuo tiesioginio sąlyčio.
- Prie variklio turi būti primontuotas realaus variklio veleno sūkių dažnio skaičiuotuvas.
- Turi būti numatyta galimybė, nesugadinant sistemos komponentų, pakeisti ją sudarančius elementus.
- Visa sistema turi būti kompaktiška, lengvai pernešama į kitą patalpą.

### 3.2. Sistemos funkcinės schemos sudarymas

Sistema sudaryta iš dažnio keitiklio, asinchroninio variklio, reduktoriaus, apkrovos mechanizmo – konvejerio, 3.1 pav. Asinchroninį variklį galima valdyti dviem būdais: automatinio ir rankiniu. Pasirinkus rankinį valdymą, variklis valdomas mygtukais, kurie sujungti su dažnio keitiklio skaitmeniniais įėjimais, taip variklis paleidžiamas norima sukimosi kryptimi ir stabdomas. Variklio greitis keičiamas potenciometru. Potenciometras prijungtas prie dažnio keitiklio analoginio signalo įėjimo, variklio greitis keičiamas nuo nulio iki maksimalaus – 1480 aps/min. Pasirinkus automatinį valdymą, asinchroninis variklis valdomas su dažnio keitikliu per kompiuterį. Kompiuteris sujungtas su duomenų apdorojimo plokšte LabJack U12 per USB jungtį. Plokštės du skaitmeniniai ir analoginis išėjimai sujungti su dažnio keitiklio atitinkamais valdymo kontaktais. Programoje Matlab sudarytame valdymo lange galima pasirinkti norimą konvejerio juostos greitį, programa apskaičiuos koks turi būti variklio greitis. Funkcinė schema pavaizduota 3.2 paveikslėlyje.



3.1 pav. Pavaros su dažnio keitiklio valdymo sistema



3.2 pav. Suprojektuotos sistemos funkcinė schema.

### 3.3. Sistemos praktinė realizacija ir bandymai

Kad sukurti automatizuotą pavaros valdymą iš kompiuterio, reikalinga žinoti visų besisukančių mechanizmų greičius, tuo tikslu buvo išmatuoti krumpliaračių mechaninio perdavimo greičiai: variklio veleno greitis, antro krumpliaračio veleno greitis, trečio krumpliaračio veleno greitis ir konvejerio juostos greitis. Rezultatai surašyti 3.1 lentelėje. Visi matavimai atlikti su greičio matuokliu TESTO 470, pavaizduotas 3.3 pav. Išmatavus greičius, apskaičiuoti reduktoriaus lėtinimo koeficientai.



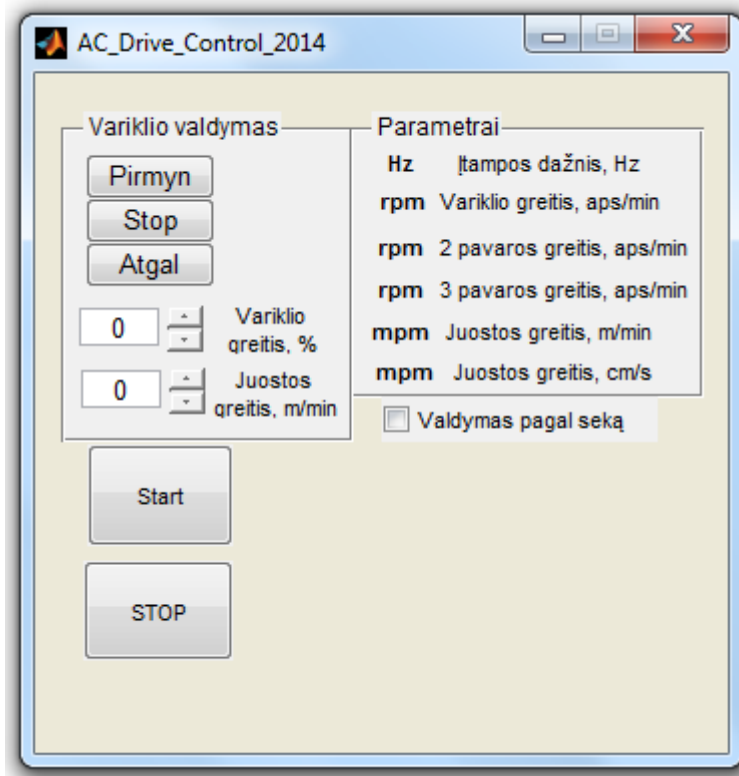
3.3 pav. Greičio matuoklis TESTO 470.

3.1 lentelė

Pavaros greičiai

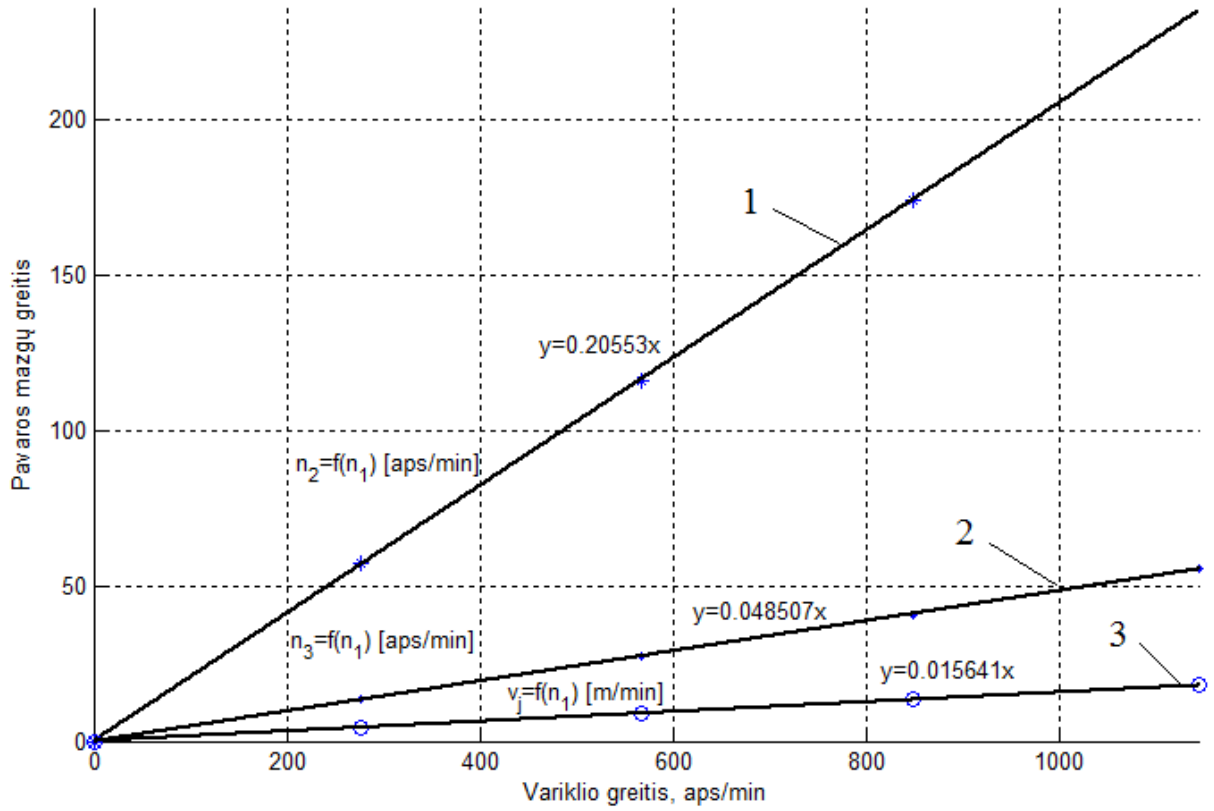
Dažnis, %	Dažnis, Hz	Greitis 1 (variklio veleno), aps/min	Greitis 2 (po pirmo išlėtinimo), aps/min	Greitis 3 (po antro išlėtinimo), aps/min	Konvejerio juostos greitis, m/min
20	10	275,6	57,44	13,30	4,34
40	20	566,9	116,1	27,14	8,87
60	30	848,8	174,6	40,98	13,24
80	40	1143	235,4	55,65	17,91
90	45	1292	266,1	62,17	20,27

Pavaros valdymui per kompiuterį, Matlab programoje, sukurtas valdymo langas, 3.4 paveikslėlis. Variklis paleidžiamas paspaudus „Pirmyn“ laukelį, išjungiamas - „Stop“ laukelį, paleidžiamas priešinga kryptimi paspaudus „Atgal“ laukelį. Atvaizduojami realūs reduktoriaus velenų greičiai: po pirmo, antro išlėtinimo, variklio greitis, juostos greitis. Šiame valdymo lange reguliuojamas variklio greitis, pasirenkamas norimas konvejerio juostos greitis, programa apskaičiuoja koks turi būti variklio greitis prie užduoto juostos greičio. Ši priklausomybė pavaizduota grafike 3.6 paveikslėlyje.

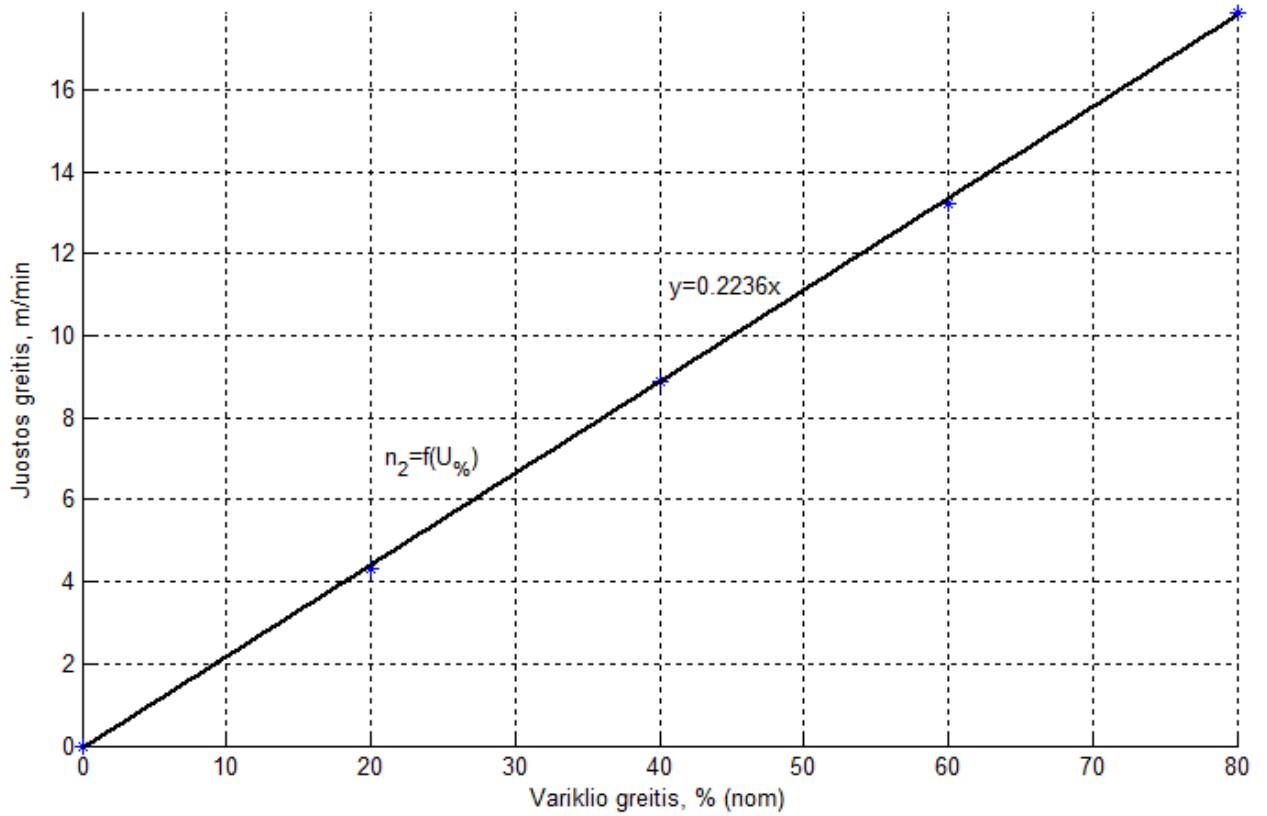


3.4 pav. Sistemos valdymo langas.

3.5 paveikslėlyje pavaizduotos priklausomybės tarp variklio greičio ir pavaros mazgų greičių. Visos priklausomybės tiesinės. 1 – linija vaizduoja priklausomybę tarp variklio greičio ir pirmo reduktoriaus veleno greičio, 2 – linija vaizduoja priklausomybę tarp variklio greičio ir antro reduktoriaus veleno greičio, 3 – linija vaizduoja priklausomybę tarp variklio greičio ir konvejerio juostos greičio.

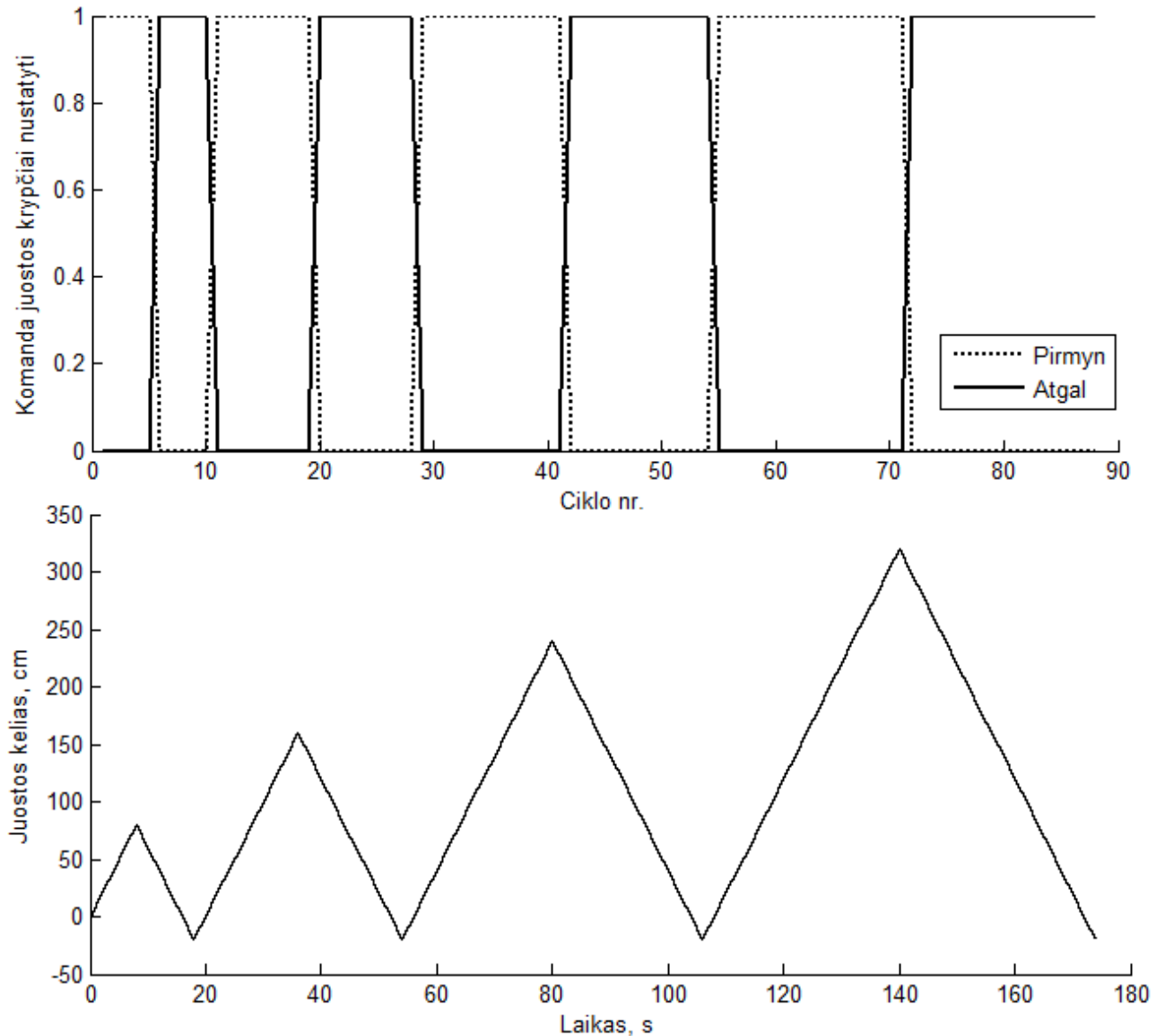


3.5 pav. Geičių priklausomybių grafikas



3.6 pav. Variklio greičio ir juostos greičio priklausomybė.

Valdymo lange galima pasirinkti funkciją „Valdymas pagal seką“ žr. pav. 3.4. Pasirinkus šį būdą variklis valdomas pagal užduotą trajektoriją. Reikia užduoti programos ciklų skaičių pirmyn, atgal. Kuo daugiau ciklų, tuo konvejerio juosta nuvažiuos didesnę atstumą. Taip galima valdyti konvejerio sukimosi kryptį bei nuvažiuojamą kelią, pritaikant kokiam nors konkrečiam technologiniam procesui. Paveikslėlyje 3.7 pavaizduotas grafikas rodo kada konvejeris juda pirmyn (taškuota linija, kai reikšmė ant 1) ir kada atgal (vientisa linija, kai reikšmė ant 0), bei juostos nuvažiuotą kelią.



3.7. pav. Juostos nuvažiuotas atstumas priklausoai nuo ciklų skiačiaus.

### 3.4. Laboratorinių darbų metodiniai nurodymai

Šiame skyriuje pateikiami laboratorinių darbų pavyzdžiai, kurie gali būti atlikti su suprojektuotu mokymo stendu. Pirmas laboratorinis darbas skirtas susipažinti su pavaros elementais ir dažnio keitiklio parametrizavimu. Antrame laboratoriniame darbe reikia sujungti schemą, valdyti išoriniais signalais.

#### 1 laboratorinis darbas

#### Dažnio keitiklio parametrizavimas

Darbo tikslas: susipažinti su dažnio keitiklio valdymu, parametrizavimu.

Dažnio keitiklio SIEMENS Micromatster (3.8 pav.) parametrizavimas atliekamas trimis mygtukais:

- P** – parametrizavimo mygtukas, paspaudus parodamas parametų sąrašas.
- Δ** – mygtukas naudojamas parametrizavime, keičia parametų skaičius didinant jų reikšmes.
- ▽** – mygtukas naudojamas parametrizavime, keičia parametų skaičius mažinant jų reikšmes.



3.8 pav. Dažnio keitiklio valdymo skydelis.

Darbo eiga:

1. Pirmiausia parametrizuoti variklio techninius duomenis. Parametrai nuo P080 iki P085, reikšmės surašytos 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė

Variklio duomenys parametrizavimui

Dažnio keitiklio parametras	Paaiškinimas, vertė
P080	Galio koeficientas, $\cos\varphi=0,6$
P081	Dažnis, 50 Hz
P082	Greitis, 1480 aps/min
P083	Srovė, 0,535 A
P084	Įtampa, 400V
P085	Galia, 0,09 kW

2. Nustatyti norimą dažnį: paspausti parametrizavimo mygtuką, spausti mygtuką „Δ“ iki parametro P005, tada su mygtukais „Δ“ ir „∇“ nustatyti norimą dažnį (pvz. 20 Hz), nustačius su mygtuku „∇“ grįžti į P000 ir paspausti „P“, kad išeiti iš parametrizavimo funkcijos. Variklis bus visada paleižiamas tokiu nustatytu dažniu.

3. Išbandyti variklį įvairiais greičiais.

## 2 laboratorinis darbas

### Skaitmeninis, analoginis valdymas

Darbo tikslas: išmokti valdyti dažnio keitiklį išoriniais signalais per skaitmeninius ir analoginius įėjimus.

Darbo eiga:

1. Sujungti pavaros valdymo grandines pagal elektrinę principinę schemą, kuri pateikta trečiame brėžinyje.

2. Išbandyti valdymą, įjungti, išjungti, paleisti kita kryptimi. Keisti variklio greitį potenciometru.

## IŠVADOS

1. Pagamintas laboratorinių darbų stendas, kuriuo galės naudotis elektros inžinerijos studentai studijuodami elektros pavaras, aparatus, valdiklius.
2. Sistema kompaktiška, lengvai pernešama į kitas patalpas.
3. Pagamintas variklio veleno išlėtinimo mechanizmas, susidedantis iš krumpliaračių. Variklis suka konvejerį. Išmatuoti pavaros greičiai.
4. Variklį galima valdyti mygtukais (įjungti, išjungti, greitis reguliuojamas potenciometru) ir kompiuteryje (sudarytame valdymo lange).

## LITERATŪRA

1. Techninis katalogas „SIEMENS Micromaster vector Midimaster vector operating instructions“
2. Kiškis A. Elektros pavarų valdymo sistemų elementai. Klaipėda, 2009. 122 psl. [žiūrėta 2014-04-20]. <[http://elektra-ku.lt/attachments/File/Studentams/PVSE\\_konspektas.pdf](http://elektra-ku.lt/attachments/File/Studentams/PVSE_konspektas.pdf)>
3. Algirdas Baškys „Dažnio keitikliai elektros variklių valdymas“ [žiūrėta 2014-04-20] Prieiga per internetą <neris.mii.lt/mt/straipsniai/200611/daz.doc>
4. Basics for practical operation Motor starting. [žiūrėta 2014-04-24]. Prieiga per internetą: <[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/icg-wp002\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/icg-wp002_en-p.pdf) >
5. Training Systems for Drive Technology, Power Electronics & Electrical Machines [žiūrėta 2014-05-05]. Prieiga per internetą: <http://www.technovolt.ro/catalogue/lucas%20nuelle/MASINI%20ELECTRICE%20SI%20AC TIONARI.pdf>
6. FESTO. Electrical drives. [žiūrėta 2024-05-05]. Prieiga per internetą:< [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/h\\_teciam\\_30\\_electrical\\_drives\\_web.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/h_teciam_30_electrical_drives_web.pdf)>
7. S. Masiokas. „Elektrotechnika“. Kaunas „Candela“ 1994 - 432p.
8. Geleževičius V. Kriščiūnas K. Kubilius V. „Elektros pavarų valdymo sistemos“. Vilnius „Mokslas“ 1990 – 357p.
9. Technologijos fakulteto studijų darbų parengimos tvarka/ Z. Ramonas, V. Petronis, D. Čikotienė. Šiauliai, 2004. 43 psl.