

IDENTIFIKUOTINOS SISTEMOS MATEMATINIO MODELIO
SUDARYMAS IR TYRIMAS

Robertas Janickas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: robertas.janickas@el.vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjama sukurta valdymo ir duomenų surinkimo, apdorojimo, atvaizdavimo schema, kuri gali būti taikoma tiriant ir nagrinėjant identifikavimo problemas. Pateikiamas įtaiso aprašymas, funkcionalumas ir pritaikymo galimybės. Aptariamas eksperimentinis modelis, jo charakteristikos ir gaunami matavimo, valdymo rezultatai naudojant tokį modelį. Pateikiamos sistemos ir sistema tiriamo nuolatinės srovės variklio tyrimo išvados.

Reikšminiai žodžiai: identifikavimas, kompiuterinis valdymas, impulsų pločio moduliacija.

Įvadas

Šiuolaikines valdymo sistemas sudaro daug elementų, kurių dalis gali būti netiesiniai ar diskretieji. Tiriant tokias sistemas, dažniausiai naudojami skaitinio imitavimo metodai, tačiau norint juos panaudoti, reikalingi matematiniai sistemų modeliai. Be paties matematinio modelio sudarymo problemos iškyla ir jo parametrų nustatymo problemos. Matematinio modelio parametrų nustatymo procedūra vadinama sistemos identifikavimu.

Identifikavimas plačiai naudojamas pavarų elektrotechnikoje. Čia dažniausiai identifikuojami pavaros parametrai, tokie kaip variklio apvijų varžos ir induktyvumai, apkrovos charakteristikos ir pan. Pvz., moderniaame dažnio keitiklyje *Siemens Simovert Master-drives* esanti programinė įranga automatiškai nustato variklio vektoriniam valdymui reikalingas variklio charakteristikas ir pagal jas, taikydama matematinį variklio modelį, formuoja valdymo signalus (Identification Systems 2011).

Identifikavimas

Identifikavimas gali vykti įvairiais būdais. Paprastai identifikuojant tiriamas sistemos atsakas į testinius signalus. Jei yra galimybė gauti analizinę sistemos atsako į testinio signalo išraišką, galima naudoti paieškinės optimizacijos metodus (Dambrauskas 2003). Taikant šiuos metodus, modelio parametrai pasirinktu dėsnio varijuojami tol, kol modelio išėjime gaunamas signalas reikiamu tikslumu sutampa su realios sistemos išėjime matuojamu signalu.

Tokios sistemos identifikavimo pavyzdys aprašytas (Rinkevičienė *et al.* 2009). Identifikuoti galima ir pagal lygtis. Šiuo atveju lygtys skaitiniais metodais integruojamos ir gaunamas sprendinys lyginamas su matuojamu sprendiniu. Kaip nurodo Isserman (2005), minėti metodai pasižymi paprastumu, tačiau pasiekiamas nedidelis tikslumas. Praktiškai jie yra tinkami naudoti tik pirmosios ir antrosios eilės diferencialinėmis lygtimis aprašomiems objektams identifikuoti. Norint pasiekti didesnę tikslumą, naudojamas sistemų tyrimas dažnio srityje, adaptyvieji stebikliai bei dirbtinio intelekto metodai (Isserman 2005).

Identifikacinio eksperimentinio stendo sukūrimui pasirinktas paprastas nuolatinės srovės variklis. Kaip nurodoma (Smilgevičius 2005) nuolatinės srovės variklis aprašomas lygtimis:

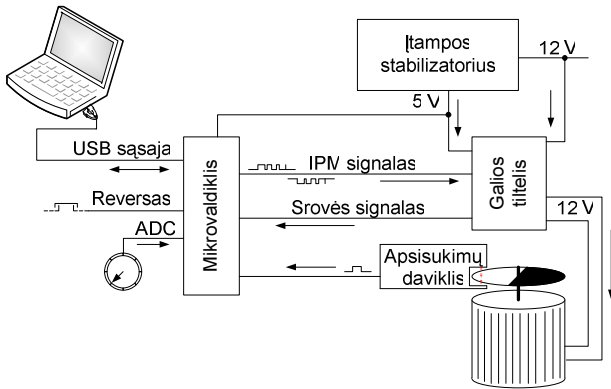
$$\begin{aligned}U_m &= E_m + R_m \cdot I_m, \\U_m &= c\Phi_z \cdot \omega + R_m \cdot I_m, \\ \omega &= \frac{U_m + R_m \cdot I_m}{c\Phi_z},\end{aligned}\tag{1}$$

čia: E_m – inkaro elektrovara; U_m – inkaro įtampa; ω – sukimosi greitis; R_m – inkaro varža; Φ_z – žadinimo srautas; c – konstanta.

Iš formulės (1) matyti, kad sistemos įėjimo kintamaisiais galima pasirinkti sukimosi greitį ω ir inkaro srovę I_m , o išėjimo signalas yra inkaro įtampa U_m .

Sistemos aprašymas

Norint atlikti identifikavimo procesą, pirmiausia reikia turėti duomenų surinkimo ir apdorojimo sistemą. Šio bandymo metu buvo sukurta, iširta ir panaudota valdymo ir duomenų surinkimo sistema, kuri pateikta 1 pav.

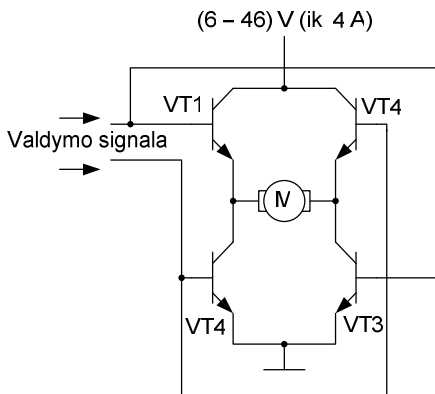


1 pav. Valdymo ir duomenų surinkimo sistema
Fig. 1. Control and data acquisition system

Pateikta sistema sudaryta iš nuolatinės srovės variklio, galios tiltelio, atskiriančio valdymo ir galios grandinės, bei įtampos stabilizatoriaus, tiekiančio stabilizuotą įtampą mikrovaldikliui.

Visa schema maitinama iš 12 V įtampos šaltinio. Mikrovaldiklio ir periferinių įrenginių maitinimui reikalinga 5 V įtampa gaunama įtampos stabilizatoriuje. Pastarasis sukonstruotas pagal įtampą mažinančio impulsinio stabilizatoriaus schemą. Taip sumažėja galios nuostoliai.

Galios tiltelis sukonstruotas L289N grandyno pagrindu. Galios grandinės maitinamos 12 V šaltinio, valdymo – 5 V įtampa. Struktūrinė grandyno schema pateikta 2 pav. Joje VT1–VT4 – valdomi raktai, maitinantys variklį M.



2 pav. Galios tiltelio struktūrinė schema
Fig. 2. Power bridge structure schematic

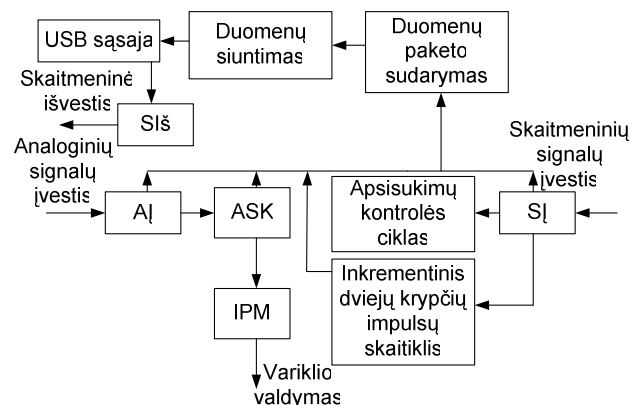
Identifikavimui naudojamas mažos galios 2,5 W, 12 V variklis. Sistemos įėjimo signalas yra įėjimo įtampa. Nors tokia galia diapazone galima nesunkiai sukonstruoti ir analoginį įtampos reguliatorių, tačiau sistemoje įtampos keitimui naudojamas impulso pločio moduliacijos (IPM) metodas. Šis metodas pagrįstas vidutinės įtampos vertės per periodą keitimu keičiant stačiakampių impulsų užpildomumo koeficientą. Valdymui naudojamas mikrovaldiklis turi integruotą IPM signalų generato-

rių, todėl valdymo signalą galima efektyviai keisti skaitmeninėmis priemonėmis.

Variklio greitis yra matuojamas skaičiuojant apsisukimus. Apsisukimai įvertinami ant variklio veleno primontavus optiškai nevienalytį diską ir optiniuose jutikliuose tuos nevienalytiškumus fiksuojant. Tokiu atveju optinio jutiklio išėjimo signalo dažnis yra proporcingas variklio veleno sukimosi dažniui.

Duomenų variklio valdymui, duomenų surinkimui ir perdavimui į kompiuterį naudojamas mikrovaldiklis. Jis turi apie 20 skaitmeninių įėjimų / išėjimų, 5 analoginius įėjimus ir 2 „analoginius“ išėjimus (IPM) (priklausomai nuo įdiegtos programos). Mikrovaldiklio periferiją sudaro: potenciomėtras, užduodantis greičio nuostatą, skaitmeninis mygtukas, kurio signalas naudojamas variklio reversui, apsisukimų daviklis, teikiantis skaitmeninį signalą, srovės jutiklis, matuojantis variklio naudojamą srovę ir universaliosios jungties (USB – angl. *Universal Serial Bus*) sąsaja, naudojama duomenų protokoliniams mainams su kompiuteriu.

Mikrovaldiklio programos struktūra pateikta 3 pav., čia: SIŠ – skaitmeninė išvestis; AI – analoginė įvestis; SI – skaitmeninė įvestis; ASK – analoginis-skaitmeninis keitiklis. Mikrovaldiklio programos struktūra parašyta funkcijų pagrindu ir priklausomai nuo poreikio iškviečiamos tam tikros funkcijos duomenų apdorojimui, duomenų mainams, signalų konvertavimui, signalų atpažinimo, periferijos stebėjimo ar matematinių veiksmų atlikimui.

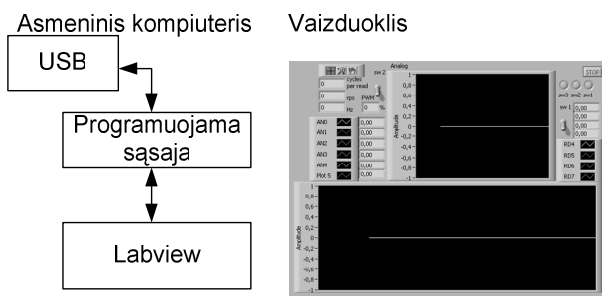


3 pav. Mikrovaldiklio programos struktūrinė schema
Fig. 3. Microcontroller code structure

Vienas didžiausių ir ilgiausiai truncančių veiksmų – USB sąsajos duomenų mainai. Be pačių duomenų surinkimo į paketą ir siuntimo yra vykdoma daug USB sąsaja aptarnaujančių funkcijų (Gutleber *et al.* 2002).

Kompiuteryje duomenims per USB sąsają priimti naudojama speciali biblioteka, kuri yra iškviečiama iš

LabVIEW programinio paketo (4 pav.). LabVIEW programoje vykdomas duomenų apdorojimas, perskaičiavimas ir pateikimas vartotojui skaitine ar grafine formomis, taip pat duomenys gali būti išsaugomi archyvo byloje.



4 pav. Kompiuterio duomenų pateikimo struktūra
Fig. 4. Computer data visualization structure (HMI)

Tyrimo rezultatai

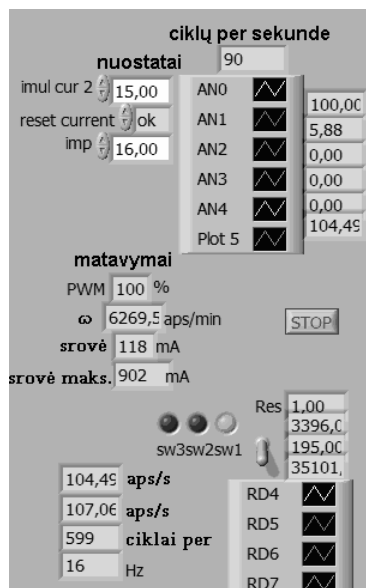
Valdymo sistema pateikia įvairiais būdais apdorotus duomenis, pvz., atvaizduojami duomenų vidurkiai arba akimirkinės, vienodu intervalu matuojamos vertės. Todėl galima lyginti ir naudoti optimaliai tinkamą duomenų apdorojimo metodą.

Valdymo ir duomenų atvaizdavimo aplinkoje (5 pav.) atliekami bandomojo stendo nustatymai. Kadangi naudojama ne standartizuota įranga, o ji kuriama, tai reikia nustatyti impulsų skaičių per apsisukimą tam, kad galima būtų apskaičiuoti sukimosi greitį. Tai padeda aiškiau matyti pokyčius. Taip pat sistema pateikia tiek skaitinę, tiek grafinę signalų išraišką. Ši atvaizdavimo versija pateikia analoginio įėjimo (potenciometro nustatoma) procentinę išraišką nuo maksimalios varikliui tiekiamos įtampos vidutinės vertės. Sukimosi greitis pateikiamas apsisukimais per minutę, srovė – akimirkine verte. Trys indikacinės lemputės, iš kurių vidurinė atvaizduoja nustatytą (fizinio mygtuko) sukimosi kryptį.

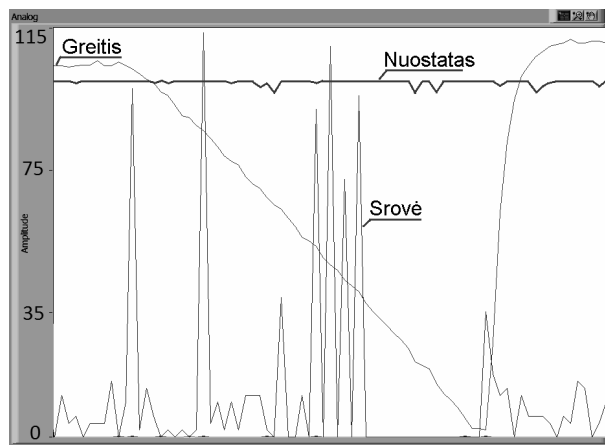
Norint pritaikyti identifikavimo metodus, reikia nuskaityti variklio paleidimo pereinamojo proceso kreives. Testiniu signalu pasirinkus vienetinę Hevisaido funkciją variklis nuliniu laiko momentu tiesiog prijungiamas prie nuolatinės įtampos šaltinio.

Kaip matyti iš 6 pav. pateiktų kreivių, variklio išvystomas greitis nedaug skiriasi, priklausomai nuo sukimosi krypties. Variklis stabdomas tolydžiai mažinant jo įtampą. Reverso metu matomos iki 1,2 A padidėjusios srovės. Srovės yra miliamperinės eilės, tačiau vaizdingumo dėlei jos padaugintos iš 5. Paleidimo momentu srovė padidėja ir laikui bėgant eksponentiškai mažėja iki nusistovėjusios, greitis po paleidimo proceso taip pat nusisto-

vi ties maksimaliu apsisukimų skaičiumi, priklausomai nuo sukimosi krypties.



5 pav. Valdymo ir duomenų atvaizdavimo aplinka
Fig. 5. Control and data visualization screen

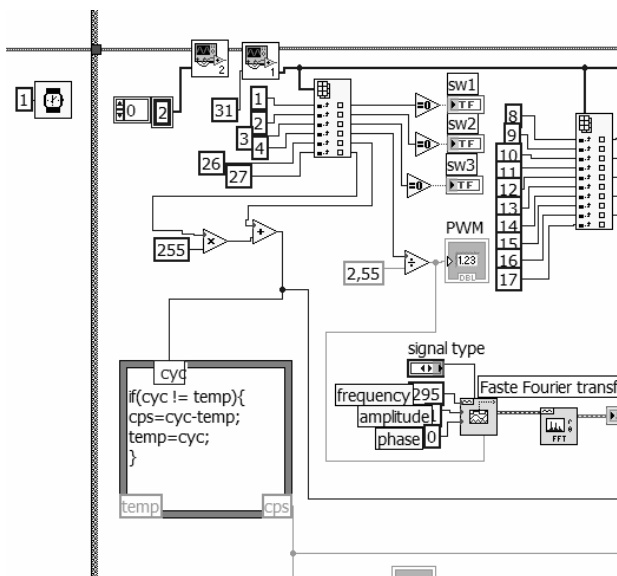


6 pav. Variklio reversas tiesiogine kryptimi
Fig. 6. Drive forward reverses

Kaip ir visos sistemos, ši sistema turi trūkumų. Tai duomenų nestabilumas. Sistemos schemoje yra keletas impulsinių elementų. Tai 12 V maitinimo šaltinis, įtampos stabilizatorius, variklį maitinanti galios dalis, valdymo signalas taip pat yra impulsinis. Visi šie veiksniai įtakoja sistemos maitinimo nestabilumą, todėl net nedaug pakitus atstojamajai (mikrovaldiklio maitinimo) įtampai, tai įtakoja į matavimų rezultatus. Iš 6 pav. matyti, kad net stabiliai nustatytas IPM signalas matuojant kinta, nes analoginio signalo keitimas skaitmeniniu signalu yra vykdomas jį lyginant su atstojamuoju, maitinimo įtampos signalu. Greičio signalas yra skaitmeninis ir todėl yra atsparesnis sistemos maitinimo trikdžiams. Jis gaunamas skaičiuojant apsisukimų impulsus tarp duomenų perda-

vimų į atvaizdavimo langą. Todėl jo tikslumas tiesiogiai priklauso nuo optinio tachometro tipo. Tai ypač pastebima esant mažiems apsisukimams.

Duomenų apdorojimo ir pateikimo vartotojo lygmens programa yra sudaryta iš funkcinių blokų (FBD – angl. *functional block diagram*), todėl yra lengvai suprantama ir papildoma naujomis reikiamomis funkcijomis. Duomenų pateikimo lango programos dalis pateikta 7 pav.



7 pav. FBD atvaizdavimo programos pavyzdys
Fig. 7. Example of visualization FBD program

Išvados

1. Sukurta duomenų surinkimo ir pateikimo sistema, turinti saviagnostikos galimybes. Tokia sistema gali būti pritaikoma varikliams tirti ir valdyti.
2. Atlikta sistemos analizė leido nustatyti duomenų perdavimo ir apdorojimo spartą naudojant USB jungtį – duomenys persiunčiami 16 kartų per sekundę. Laiko tarp duomenų persiuntimų pakanka duomenims apdoroti.

3. Norint gauti stabilesnius duomenis ir sumažinti trikdžius variklio maitinimo bei valdymo grandinėse, reikia naudoti maitinimo filtrus.
4. Variklio konstrukcija pritaikoma velenui sukstis tam tikra kryptimi, todėl nuolatinės srovės variklis išvysto skirtingą apsisukimų skaičių. Priklausomai nuo sukimosi krypties, jis yra 6 300 aps./min. arba 6 660 aps./min.
5. Identifikavimui reikalingas didesnis duomenų kiekis. Tai leistų tiksliau integruoti. Norint gauti mažesnę identifikavimo paklaidą, reikia mažiausiai 128 matavimų per sekundę.
6. Reverso metu srovė padidėja iki 6 kartų.

Literatūra

- Dambrauskas, A. 2003. *Automatinių valdymo sistemų optimizavimas*. Vilnius: Technika. 300 p.
- Gutleber, J.; Orsini, L. 2002. Software architecture for processing clusters based on i2o, *Cluster Computing* 5(1): 55–64. doi:10.1023/A:1012744721976
- Identification Systems*. 2011 [interaktyvus], [žiūrėta 2010 10 27]. Prieiga per internetą: <www.automation.siemens.com>.
- Iserman, R. 2005. *Mechatronic Systems Fundamentals*. Londra, Anglija: Springer, 400–620.
- Rinkevičienė, R.; Petrovas, A.; Lissauskas, S. 2009. Parameter estimation of induction motor at locked rotor, in *Proceedings of the 4th international conference on Electrical and Control Technologies ECT-2009*, May 7–8: 111–115.
- Smilgevičius, A. 2005. *Automatikos mikromašinos*. Vilnius: Technika. 330 p.

CONSTRUCTION AND RESEARCH OF SYSTEM IDENTIFIABLE MATHEMATICAL MODELS

R. Janickas

Abstract

Paper discusses about control and data acquisition, processing, visualization, which must be adapted to the investigation and examination of identification process. A description of the device, the functionality and customization possibilities are presented. The relevant experimental model and its characteristics are obtained for measurement, control results using this model.

Keywords: identification, computer based drive control, pulse width modulation.