

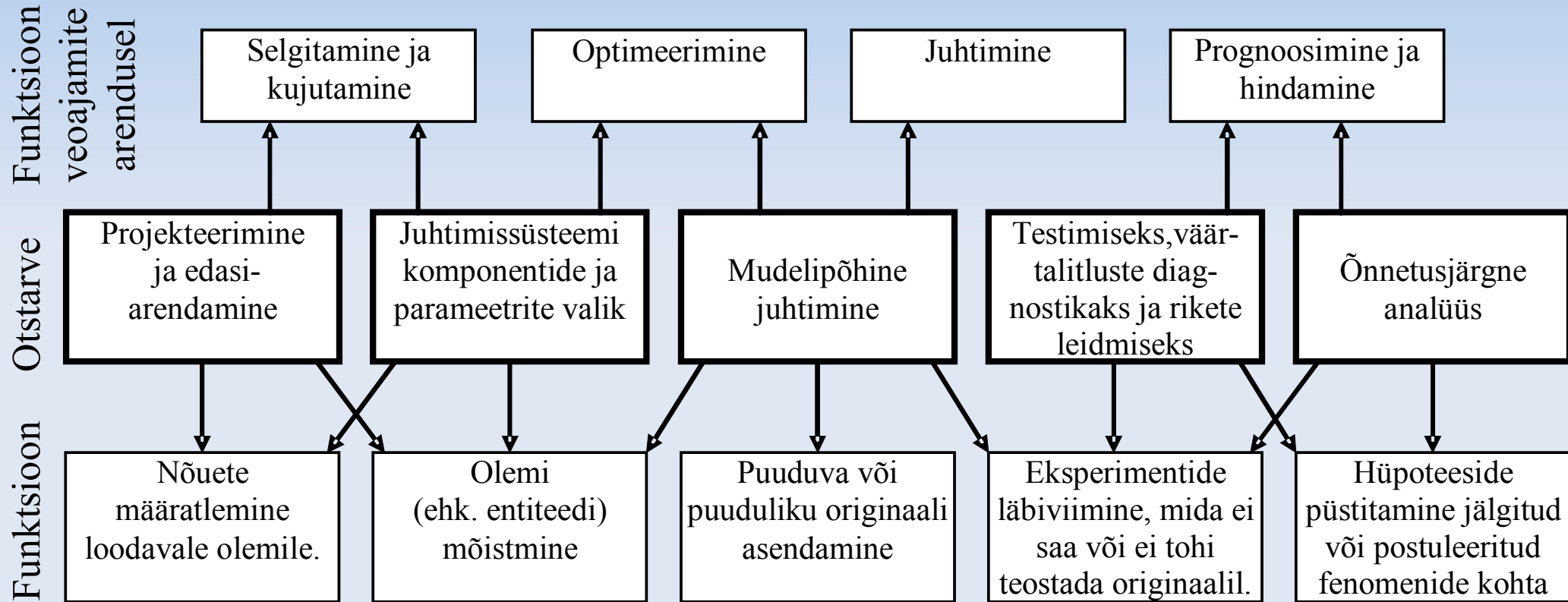
Alalisvoolumootorite arvmodelid

AAR0060

Elektriajamite mikroprotsessorjuhtimine

Madis Lehtla

Mudelite otstarve ja funktsioonid



Simulatsioonimudel

Simulatsioonimudel peab energeetiliste, tehniliste ja ajaliste piirangute tõttu olema võimalikult lihtne.

Mudeli näol on alati tegemist tegelikkuse lihtsustusega mingi eesmärgi saavutamiseks.

Simulatsioonimudeleid või liigitada ka objekti käitumise (sisendite ja väljundite vahelise seose) järgi koostatud mudeliteks ja objekti ehituse (struktuuri) järgi koostatud mudeliteks.

Mudel kirjeldab nähtuse või objekti eri aspekte valikuliselt, kusjuures mõningaid objekti omadusi ei arvestata teadlikult või kirjeldatakse osaliselt.

Kasutaja seisukohalt on empiiriliselt ebatäiuslik mudel eelistatavam mudeli puudumisele.

Lihtsustused

Mootorite lihtsustatud mudelites üldjuhul ei arvestata:

- Magneetimiskõvera
- Magnetahela küllastust
- Kommutaatori mõju mootori tööle
- Libistust ja mehaanilist libisemist

Alalisvoolumootor

Eeldusel, et ergutusvoog on konstantne, kirjeldavad mootori tööd järgmised võrrandid:

$$U = i \cdot R + L \frac{di}{dt} + E;$$

$$E = k\Phi \cdot \omega;$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_s;$$

$$T_m = k\Phi \cdot i;$$

$$T_s = f(\omega);$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt},$$

kus

U - ankrupinge,

i - ankruvool,

R - ankruahela takistus,

L - ankruahela induktiivsus,

E - vastuelektromotoorjõud,

$k\Phi$ - masina konstant,

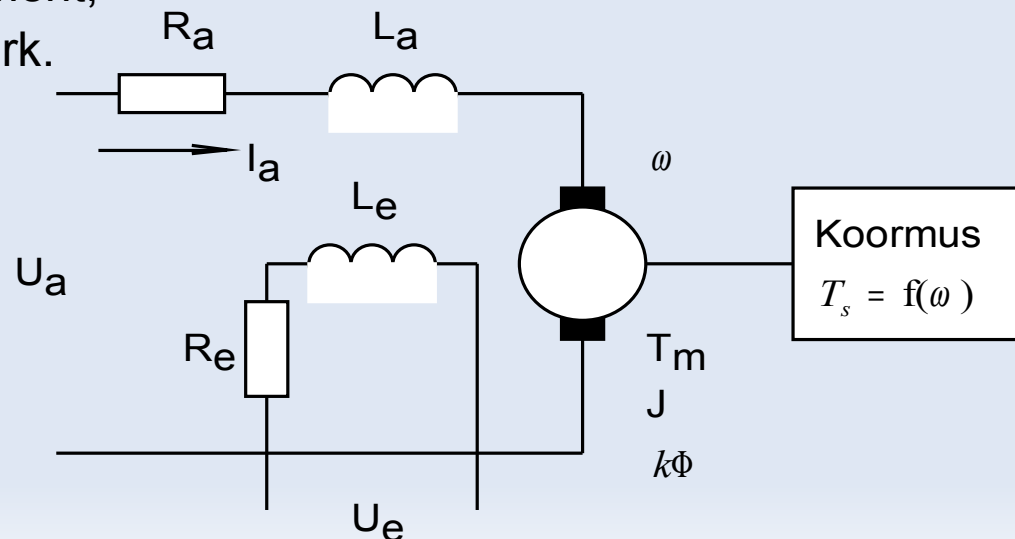
J - mootori võllile taandatud inertsimoment,

ω - pöörlemiskiirus,

T_m - mootori moment,

T_s - koormusmoment,

φ - võlli pöördenurk.



Elektriosa

Kui ajaintervall Δt on küllalt väike, siis selle kestel toimunud voolu juurdekasv on voolu endaga võrreldes samuti väike ($\Delta i \ll i$) ning avaldub võrrandist:

$$\Delta \dot{i}_i = \frac{U - k\Phi \cdot \omega_i - i \cdot R}{L} \cdot \Delta t_i,$$

kus ω_i - pöörlemiskiirus ajaintervalli Δt_i algul.

Pärast Δt_i möödumist on vool i_i kasvanud Δi_i võrra ning uus voolu väärtus leitakse võrrandist:

$$\dot{i}_{i+1} = \dot{i}_i + \Delta \dot{i}_i. \text{ NB! Integraali asemel kasutatakse summafunktsiooni!}$$

Mehaanikaosa

Analoogiliselt saab arvutada pöörlemiskiiruse ω_i juurdekasvu $\Delta\omega_i$ eeldusel, et vool i_j ning järelikut ka sellest tingitud mootori moment muutuvad ajavahemiku Δt_j jooksul vähe.

$$\Delta \omega_i = \frac{k\Phi i - T_S(\omega_i)}{J} \Delta t_i,$$

kus $k\Phi i = T_{Mi}$ - mootori moment ja $T_S(\omega_i)$ - koormusmoment ajaintervalli Δt_j algul. Pärast Δt_j möödumist on pöörlemiskiirus ω_j suurenenud juurdekasvu $\Delta\omega_j$ võrra.

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \Delta \omega_i. \quad \text{NB! Integraali asemel kasutatakse summafunktsiooni!}$$

Võlli pöördenurga juurdekasv leitakse võrrandist:

$$\Delta \varphi_i = \omega_i \cdot \Delta t_i$$

ning pöördenurk pärast ajaintervalli Δt_j möödumist

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i + \Delta \varphi_i.$$

Arvutused

Eeldusel, et Δt on küllalt väike, saab alalisvoolumootori tööd kirjeldava mitmeli-sidusa võrrandisüsteemi taandada diskreetsele järjestikulisele arvutuseeskirjale ehk algoritmile ning leida sel teel mootori tööd iseloomustavad suurused.

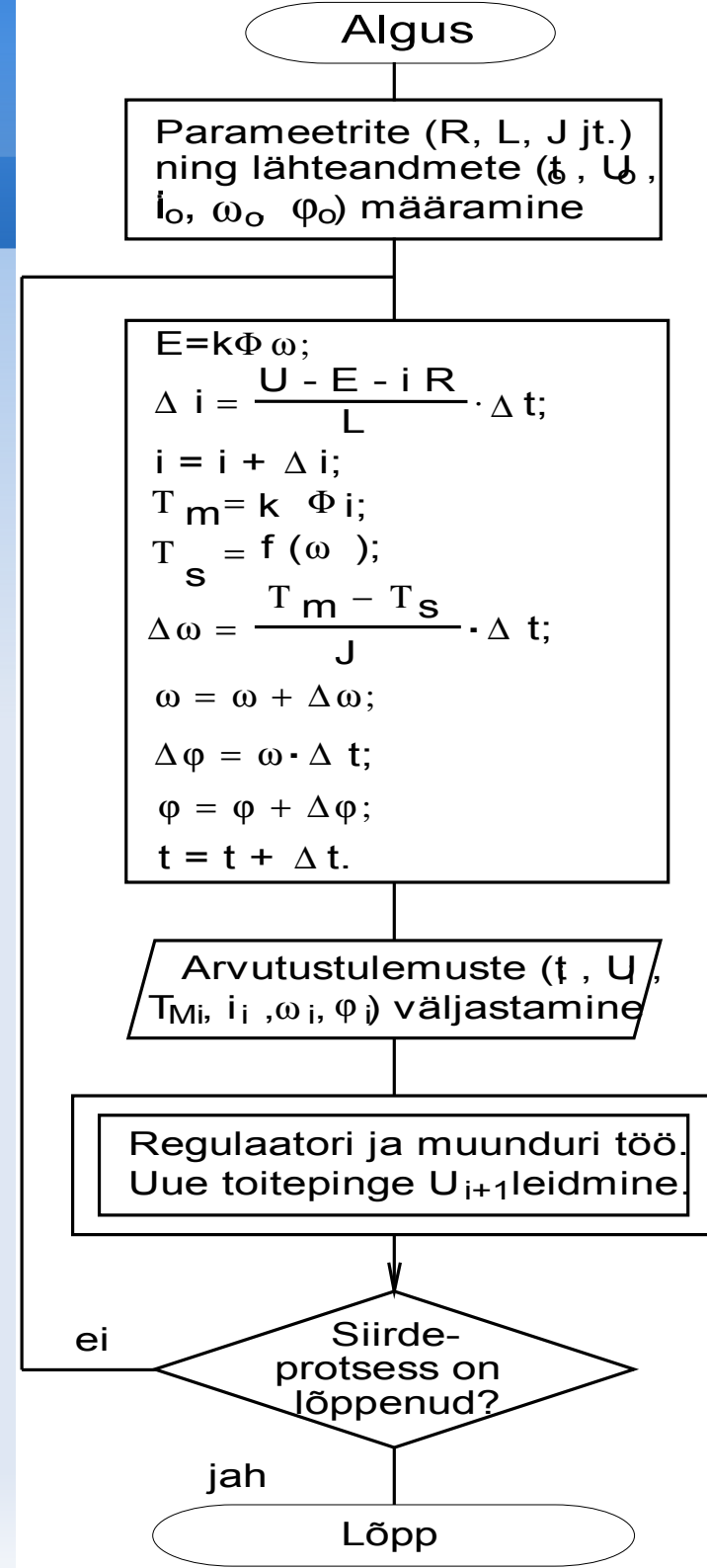
Algoritm

Algoritmi saab kasutada pingega juhitava alalisvoolumootori siirdeprotsesside arvutamiseks nii avatud kui ka suletud juhtimissüsteemi korral.

Avatud süsteemi korral toimub tsükli kordamine kohe pärast arvutustulemuste väljastamist.

Suletud süsteemi korral tuleb lisaks mootorile modelleerida ka regulaatori ja pooljuhtmuunduri tööd ning leida igas tsüklis uus toitepinge U_{i+1} väärtus, mis on järgmise tsükli arvutuste aluseks.

Arvutus lõpetatakse tingimusel, et siirdeprotsess on lõppenud ning mootori väljundsuurused stabiliseerunud.



Lahendusmeetod

Näites on kasutatud diferentsiaalvõrrandite numbrilise lahendamise kõige lihtsamat meetodit, nn. esimest järku Runge-Kutta ehk Euleri meetodit. Võrrandi $y' = f(x, y)$ ja algtingimuse $y(x_0) = y_0$ korral saab funktsiooni järgmise väärtuse leida valemist:

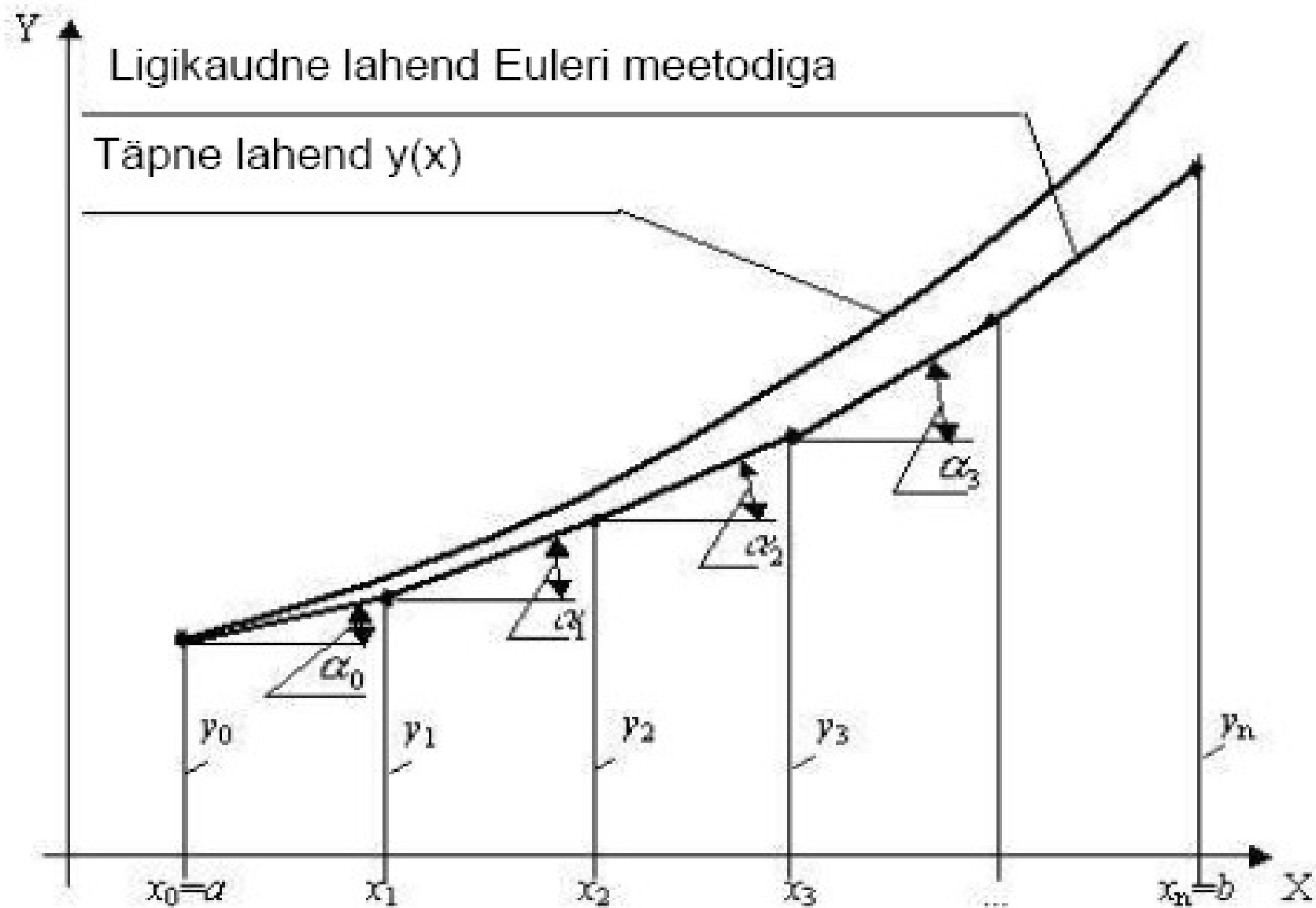
$$y_1 = y_0 + (x_1 - x_0) \cdot f(x_0, y_0).$$

Valemi viga on võrdeline argumendi juurdekasvu ruuduga

$$(x_1 - x_0)^2.$$

Diferentsiaalvõrrandite numbriliseks lahendamiseks võib kasutada ka kõrgema järku Runge- Kutta meetodeid, mis tagavad arvutuste suurema täpsuse. Arvutusvalemid on aga sel juhul keerukamad (Vt. M.Levin, S. Ulm, Arvutusmeetodite käsiraamat, lk. 178-180.).

Täpsus



MatLAB SIMULINK keskkonna lahendusmeetodid

- Süsteemide juhtimiseks saab kasutada püsiva arvutussammuga lahendusmeetodeid.

Nendeks on:

Discrete – ei teosta integreerimist ja sobib seetõttu vaid olekuta st. hetkelise toimega ja mudelite puhul, mille puhul signaali nulliläbimise määramine pole oluline.

Ode1 - Euleri meetod

Ode2 - Heuni meetod, parandatud Euleri valem


Ode3 - püsisammuga Bogacki-Shampine'i valemi variant

Ode4 - neljandat järku Runge-Kutta valem (RK4)

Ode5 - püsisammuga Dormand-Prince'i valemi variant

ODE - ordinary differential equations
(diferentsiaalvõrrandite numbrilise lahendamise meetodid)

SIMULINK

 Configuration Parameters: untitled/Configuration

Select:

- Solver
- Data Import/Export
- Optimization
- Diagnostics
 - Sample Time
 - Data Validity
 - Type Conversion
 - Connectivity
 - Compatibility
 - Model Referencing
- Hardware Implementation
- Model Referencing
- Real-Time Workshop
 - Comments
 - Symbols
 - Custom Code
 - Debug
 - Interface

Simulation time

Start time: Stop time:

Solver options

Type: Solver:

Periodic sample time constraint:

Fixed-step size (fundamental sample time):

Tasking mode for periodic sample times:

☐ Higher priority value indicates higher task priority

☐ Automatically handle data transfers between tasks

discrete (no continuous states)
ode5 (Dormand-Prince)
ode4 (Runge-Kutta)
ode3 (Bogacki-Shampine)
ode2 (Heun)
ode1 (Euler)
ode14x (extrapolation)

OK Cancel Help Apply

Real Time Workshop

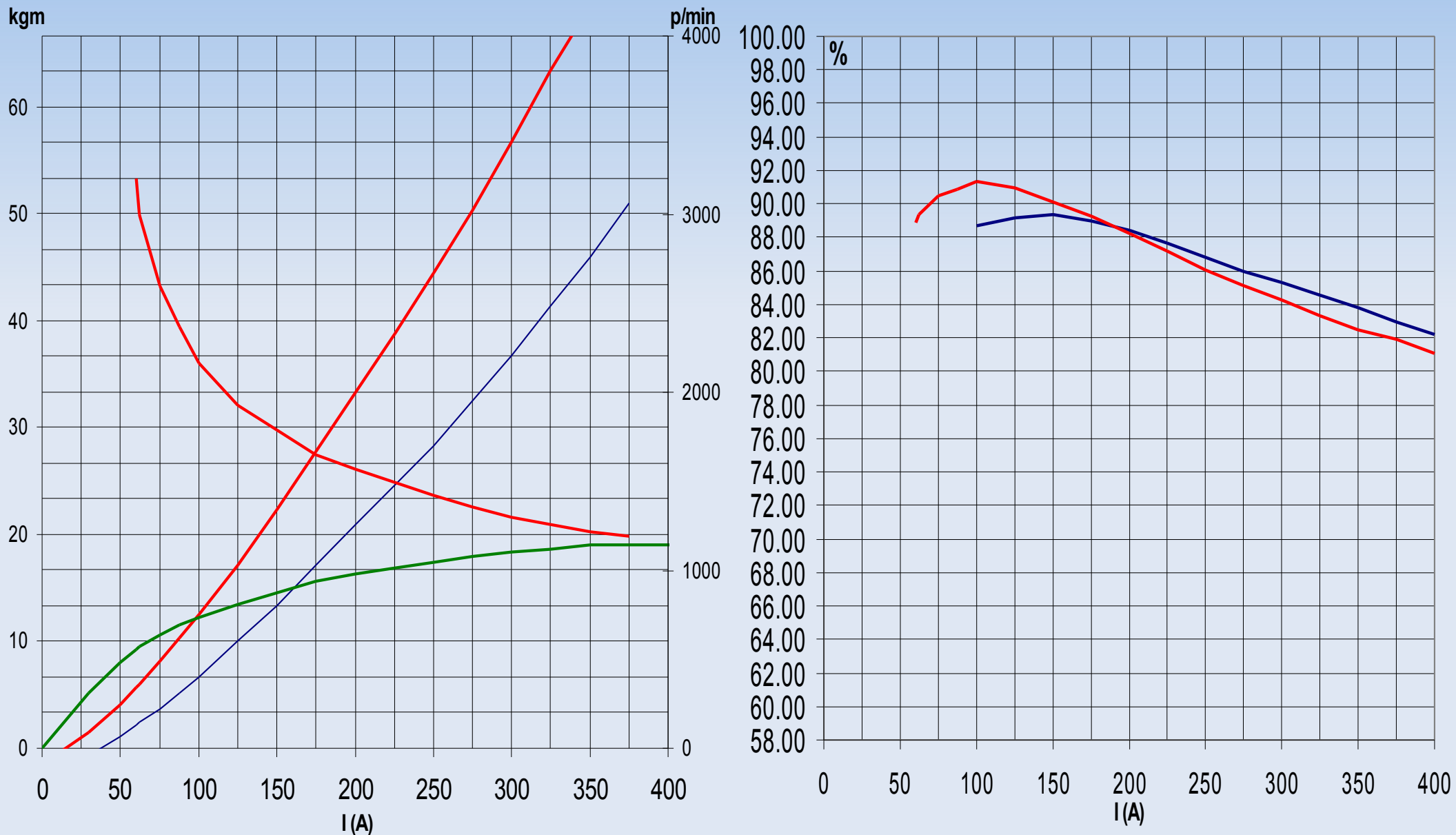
Real Time Workshop on vahend MatLAB SIMULINK plokk skeemide kiireks teisendamiseks C-keelseteks reaalaaja programmideks.

Süsteemi kasutamiseks kindla protsessori või mikrokontrolleriga on vaja välisseadmete ohjureid (*driver*). Ohjurid on programmimoodulid, mis seadistavad ja vahetavad infot välisseadmete liidestega (näiteks mõõtekanalid, pulsilaiusmodulaatori väljundid jms.).

Alalisvoolumootorite keerukamad mudelid

- Arvestavad momendi, kiiruse, kasuteguri kõveraid
- Magnetahelate vastasmõju ja magneetimiskõveraid

Momendi-, kiiruse- ja kasuteguri- kõverad ning magneetimiskõver



Poolused ja ankrumähis

Lisapoolus

Ergutuspoolus

Ergutuspoolus

Ankur



Elektriline võimsus ja nimivõimsus

Mootorite TE022 ja TE022H elektriline võimsus nimivoolul ja nimipingel:

$$P_1 = U_n \cdot I_n = 300 \cdot 150 = 45kW$$

Kasutegur (TE022 ja TE022H kohta)

$$\eta = \frac{P_n}{P_1} = \frac{40kW}{45kW} = 0.889$$

Nimimoment

- Nimimoment nimivõimsuse ja nimikiiruse põhjal:

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{40000W \cdot 60}{1750 \cdot 2\pi} = 218.4Nm$$

- Mootori tehaseandmete lisas olevatelt tunnusjoontelt

$$T_n = 22,3kgm = 218,7Nm$$

- Nimimoment nimivoolu kaudu

$$T_n = I_n \cdot k_M \cdot \Phi_n \qquad T_n = I_n \cdot k_M \cdot I_n \cdot k_{mag} = k_M \cdot k_{mag} \cdot I_n^2$$

Mähiste takistused

Mootori TE022 mähiste takistused

- Ankrumähise takistus temperatuuril 20°C
$$R_{rootor} = 0,0545 \, \Omega$$
- Lisapooluste (4tk, 22keerdu, ristlõikega 2x18mm) takistus temperatuuril 20°C
$$R_{lisapoolus} = 0,0245 \, \Omega$$
- Ergutuspooluste (4tk, 20keerdu, ristlõikega 2x18mm) takistus temperatuuril 20°C
$$R_{ergutus} = 0,026 \, \Omega$$
- Mootorisisesed juhtmed: TE022 mootoritel on lattühendused 2x18 mm kogupikkusega 22cm+22cm+16cm
- Harjad

Takistuse sõltuvus temperatuurist

- Takistust teisendatakse valemiga:

$$R_{\vartheta} = R_{20} \left(1 + 0,004 \cdot \Delta \vartheta \right)$$

Masinakonstandid

- Mootori TE022 korral:

$$k_M = k_m \cdot k_{mag} = \frac{T_n}{I_n^2} = 0,009706$$

- Juhul kui on teada magnetvoo nimiväärtus

$$k_{mag} = \frac{\Phi_n}{I_n}$$

- Nimimomendi ja nimikiiruse põhjal

$$k_M \cdot \Phi_n = \frac{T_n}{I_n} = \frac{218,38}{150} = 1,456$$

- Ankruahela takistuse järgi

$$k_M \cdot \Phi_n = \frac{U_n - I_n \cdot R_n}{\omega_n} = \frac{300 - 150 \cdot R_n}{\omega_n} = 1,55$$

R_n on jadaergutusega mootori kogutakistus (staatori ja rootorimähiste takistus kokku)

Elektrilised kaod

- Kaod ankruahelas (20 °C)

$$I_a^2 \cdot R_a = 150^2 \cdot 0,0545 = 1,23 \text{ kW}$$

seega 100 °C juures on elektrilised kaod 1,6 kW

- Kaod ergutusahelas (20 °C)

saab arvutada sarnaselt ankruahela kadudega

Mehaanilised kaod

- Elektriline moment

$$T_{nel} = I_n \cdot k_M \Phi_n = 150 \cdot 1,55 = 232.5 \text{ Nm}$$

- Momendikadu

$$\Delta T = T_{nel} - T = \left(I_n \cdot k_M \cdot \Phi \right) - \frac{P_n}{\omega_n} = 14,12 \text{ Nm}$$

- Mehaanilised kaod nimikiirusel

$$\Delta P = \Delta T \cdot \omega_n = 2,59 \text{ kW}$$

- Mehaanilised ja elektrilised kaod kokku

$$U_n I_n - P_n = 45 \text{ kW} - 40 \text{ kW} = 5 \text{ kW}$$