

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

Kristīna BĒRZIŅA

Doktora studiju programmas „Enerģētika un elektrotehnika” doktorante

**KOMPAKTO ELEKTROSTACIJU SINHRONO ĢENERATORU SINHRONIZĀCIJAS
UN PARALĒLAS DARBĪBAS ĪPATNĪBU IZPĒTE SLODZES IZMAIŅAS APSTĀKĻOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Dr.sc.ing., Asoc. Professore

E.KETNERE

Rīga 2012

UDK 621.311.016.3 (043.2)

Bē 777 k

Bērziņa K. Kompakto elektrostaciju sinhrono ģeneratoru
sinhronizācijas un paralēlas darbības īpatnību izpēte slodzes izmaiņas apstākļos.

Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2012.-30 lpp.

Iespiests saskaņā ar Enerģētikas institūta 2012.gada
29.maija lēmumu, protokols Nr.4.

Promocijas darbs tika īstenots pateicoties ESF projektam „Atbalsts RTU doktora studiju
īstenošanai”.

ISBN

PROMOCIJAS DARBS

IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.g.
..... Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē,
Kronvalda bulvārī 1, auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asoc. Profesore, Dr.sc.ing. Anastasija Žiravecka
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Asoc. Profesors, Dr.sc.ing. Aleksandrs Dolgicers
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr.sc.ing. Aleksandrs Gasparjans
Latvijas Jūras Akadēmija, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu (vai cita) doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Kristīna Bērziņa(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, slēdzienu vai secinājumus, literatūras sarakstu, 2 pielikumus, 59 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 119 lappuses. Literatūras sarakstā ir 92 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

DARBA AKTUALITĀTE	5
1. KOMPAKTO ENERĢOSISTĒMU VADĪBAS PROBLĒMAS	9
2. SINHRONO ĢENERATORU PARALĒLAS DARBĪBAS MATEMATISKĀ MODELĒŠANA	10
2.1. Kompakto enerģosistēmu matemātiskās modelēšanas īpatnības	10
2.2. Dīzeļģeneratora un tvaika turbīnas sinhronizācijas procesa stabilitātes izpēte, izmantojot matemātisko modelēšanu	10
2.3. Divu samērojamās jaudas ģeneratoru sinhronizācijas procesa stabilitātes izpēte, izmantojot matemātisko modelēšanu	19
3. SINHRONĀ ĢENERATORA SINHRONIZĀCIJAS PROCESA PRAKTISKO UN TEORETISKI IEGŪTO DATU SALĪDZINĀJUMS	23
3.1. Sinhrono ģeneratoru sinhronizācija ar UNITROL 1000 sistēmu palīdzību (eksperimentālā daļa)	23
3.2. Eksperimentālo un teorētiski iegūto datu salīdzinājums	26
DARBA GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI	29
PĒTNIECĪBAS REZULTĀTU APROBĀCIJA	30

DARBA AKTUALITĀTE

Kompakto vietējo energosistēmu atdalīšanas iespējas apstiprina virkne šo objektu funkcionalitātes īpatnības, piemēram:

- dispečerizācijas problēmas vai dispečerizācijas sistēmas trūkums, kas savukārt nav raksturīgi lielām energosistēmām;
- elektroenerģijas ģenerēšana pārsvarā notiek ar kompaktām elektrostacijām;
- pretavārijas (ārkārtas vadības) un automātikas vadības sistēmu trūkums vai nepietiekoša sistēmas analīzes iespēja;
- pārsvarā ir gaisvadu elektropārvades līnijas ar koka balstiem;
- saražotā siltumenerģijas izmantošanas iespēju trūkums, līdz ar to zems kompakto elektrostaciju (KES) lietderības koeficients.

Tādos apstākļos KES efektīvas vadības un tās uzdevumi joprojām ir pats svarīgākais. No kopējiem šo uzdevumu daudzveidības parametriem ģeneratoru sinhronizācija ir viens no svarīgākiem uzdevumiem KES sistēmu efektivitātes veicināšanai un apakšsistēmu stabilai darbībai.

Esošās sinhronizācijas sistēmas ne vienmēr var nodrošināt ātru ar pārejas procesu kvalitatīvu nodrošināšanu KES, ģeneratoru ieslēdzot paralēlā darbībā ar kopējo energosistēmu. Efektīvas sinhronizācijas uzdevumu risināšana var būt īstenota ar dažādiem paņēmieniem, piemēram, aktīvās un reaktīvās jaudas vienmērīgas vadības tehniskajām iekārtām.

Šādu līdzekļu izmantošanas interese parādās, attīstoties pārvaldāmām maiņstrāvas elektrolīnijām - „Flexible AC Transmission Systems” (FACTS)*. Šādas sistēmas aptver plašu tehnoloģiju klāstu, kas uzlabo sistēmas drošumu un elastīgu elektroenerģijas pārvades sistēmu. FACTS tīklu risinājumi ļauj elektropārvades tīklu īpašniekiem palielināt esošo pārvades tīklu pārvadāmo jaudu, vienlaikus saglabājot un uzlabojot tīkla stabilitātes darbības robežas. Tā rezultātā var nodrošināt patērētājiem lielāku jaudu ar minimālo ietekmi uz vidi, īsākos termiņos un ar mazākām investīcijām.

*-G Davis - California energy commission, 1999 - ecourses.dbnet.ntua.gr.

Kompaktā energosistēma tiek interpretēta kā neatkarīga, izolēta elektroapgādes sistēma atsevišķo personu teritorijā vai dzīvojamos rajonos, kuros ir autonomas elektrostacijas un ierobežota garuma sadales sistēmas. Šādu sistēmu jauda nepārsniedz 0,5-2 MW, retos gadījumos 5-10 MW.

Vairākos reģionos, rūpniecisko objektu un dzīvojamos rajonos elektroapgāde paredzēta vienlaicīgi ar autonomām elektrostacijām un centralizētu tīklu. Šādas situācijas dēļ parādās konkrētu jautājumu kopums attiecībā uz kompaktās energosistēmas integrētu darbību centralizētā energosistēmā.

Pastāvīgie autonomas elektroapgādes avoti, kurus izmanto kompaktās energosistēmas elektroapgādē ar dažādiem primāriem dzinējiem (dīzeļģeneratori, gāzes iekšdedzes dzinēji, gāzturbīnas dzinēji u.tml.), nenodrošina elektroenerģijas ģenerēšanu un elektroenerģijas kvalitāti atbilstoši kopējā energoapgādes tīkla normētiem parametriem.

Promocijas darbā tiek koncentrēta uzmanība uz kompakto energosistēmu elektroenerģijas inženiertehnisko parametru atbilstību, kuri nodrošina energosistēmas stabilu un efektīvu darbību. Promocijas darba izvirzīto uzdevumu risināšanai nepieciešami papildus pētījumi šādos virzienos:

- kompakto energosistēmu darbības efektivitātes paaugstināšana;
- kompakto energosistēmu un centralizētas energosistēmas efektīvas darbības paaugstināšana.

Apkopojot augstāk minēto var teikt, ka elektroenerģijas ražošanas un pārvades kompaktie kompleksi un to tehnoloģiskie parametri, kurus raksturo frekvences stabilitāte sprieguma svārstības straujas slodzes izmaiņas apstākļos un primārā energonesēja patēriņa efektivitāte, pilnā apjomā nenodrošina centralizētās energosistēmas normētās prasības.

Minētie rādītāji joprojām ir salīdzinoši zemi un ir nepieciešami ievērojami uzlabojumi. Tādējādi būtisks jautājums ir identificēt, kā attīstīt kompaktās elektroapgādes sistēmas ar paaugstinātu efektivitāti, veicot kompakto elektrostaciju ģenerējošās daļas strukturālas izmaiņas, primārā dzinēja jaunu regulēšanas metožu izveidi un pamatparametru spriegums – frekvence stabilitātes nodrošinājumu.

Minēto problēmu risinājums ļautu samazināt izmaksas elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanā, kā arī paaugstināt frekvences un sprieguma vērtību stabilitāti plašākā slodzes un darbības režīmu jomā.

ZINĀTNISKĀ DARBA MĒRĶIS

Promocijas darba mērķis ir efektīvu algoritmu un strukturālo funkcionālo shēmu izveide, kompakto energosistēmu ģeneratoru precīzas sinhronizācijas sistēmās, balstoties uz objektu automātiskas kontroles programmas teorētisko pamatu bāzi.

Lai sasniegtu šo mērķi, ir izvirzītie šādi uzdevumi:

- efektīvu uzdevumu risināšanas problēmas nostādne par ģeneratoru un kompakta energosistēmas (KES) precīzas automātiskās sinhronizācijas procesa vadību, pamatojoties uz automātiskas kontroles programmas teorētisko pamatu bāzi;
- ģeneratoru precīzās automātiskās sinhronizācijas ar kompakām energosistēmām vadības procesu algoritmu metožu sasaiste;
- ģeneratoru sinhronizācijas sistēmu un kompakto energosistēmu strukturālo un funkcionālo sistēmu komponentu sintēze.

ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Promocijas darba zinātniskā novitāte. Pirmo reizi ziņots un realizēts:

- uzdevumu identifikācija un efektīvas sintēzes risinājums sistēmās ar sinhrono ģeneratoru un KES precīzas sinhronizācijas gadījumā;
- izstrādāta kompakta energosistēmas vienādojumu sastādīšanas metode, pamatojoties uz Parka-Goreva vienādojumiem, izmantojot pētāmās sistēmas modeļu komponentu sintēzes konstruēšanas strukturālo principu;
- izstrādāta kompakta energosistēmas ar sinhrono ģeneratoru pētījumu metodika, kas balstās uz strukturālās modelēšanas metodi, izmantojot Parka-Goreva vienādojumus;

- izstrādāti kompakto energosistēmu ar sinhroniem ģeneratoriem funkcionālie modeļi, kuri apvienoti vienotā sistēmā, modelēšanu veicot relatīvo vienību sistēmā, kur izmantojamo elementu parametri izteikti savās bāzes vienībās;

- izstrādāts matemātiskais modelis ļauj pētīt sinhrono ģeneratoru un ģeneratoru slodzes parametru izmaiņu dažādos ģeneratoru darbības režīmos, ieskaitot to savstarpējo mijiedarbību.

PĒTĪJUMU METODES UN LĪDZEKĻI

Darbā izmantotas šādas pētījumu metodes:

- Vispārteorētiskā;
- Strukturālā modelēšana.

Darbā izmantotas šādas pētījumu līdzekļi:

- līdžības teorija un elektrisko mašīnu teorija elektrisko mašīnu matemātisko modeļu izstrādei;
- Parka-Goreva diferenciālvienādojumi;
- nelineāro diferenciālvienādojumu sistēmu skaitliskās integrēšanas metodes;
- datorprogramma Microsoft Excel un programmēšanas valoda FORTRAN;
- UNITROL 1000 iekārta un iekārtas vadības programma.

1. KOMPAKTO ENERGO SISTĒMU VADĪBAS PROBLĒMAS

Kompaktās energosistēmas sistēmas var iedalīt grupās atkarībā no to darbības režīmiem kā neatkarīgas vai integrētas centralizētā elektroenerģijas sistēmā.

Var izdalīt trīs grupas:

- paralēli darbojas ar centralizēto elektroenerģijas sistēmu ciešā saiknē ar pieļaujamo jaudas izeju un ieeju līdzvērtīgu pilnai kompakto energosistēmu jaudai, ieskaitot remonta režīma laikā;
- paralēli darbojas ar centralizēto elektroenerģijas sistēmu elastīgā saiknē ar pieļaujamo jaudas ieeju un izeju līdz 30 % no pilnas kompakto energosistēmas jaudas;
- autonomā darba režīmā bez savienojuma ar centralizētu elektroenerģijas sistēmu.

Katra nosacījuma grupa rada savas īpatnības un līdz ar to ekspluatācijas un uzturēšanas problēmas, kas saistītas īpaši ar kompakto energosistēmu ekspluatācijas režīmu vadību. Analizējot šo jautājumu, tiek formulēti sinhrono ģeneratoru sinhronizācijas procesa stabilitātes uzdevumi.

2. SINHRONO ĢENERATORU PARALĒLAS DARBĪBAS MATEMATISKĀ MODELĒŠANA

2.1. Kompakto energosistēmu matemātiskās modelēšanas īpatnības

Mainstrāvas sinhrono ģeneratoru matemātiskajiem modeļiem jāatspoguļo rotora ķēdes strāvu nobīdes efekts, pamatojoties uz pastāvīgo parametru sintēzi vai ekvivalentās ķēdes divu kontūru sistēmu ar mainīgiem parametriem.

Sinhrono ģeneratoru ierosmes sistēmas matemātiskos modeļos jāievēro statisko pārveidotāju pārejas procesus. Jāievēro rotora griešanās frekvenču regulēšana tvaika un gāzes turbīnās, kā arī enerģijas nesēja avota dinamiskās īpašības.

Dinamisko sistēmu matemātiskajam modelim jāparedz iespēja mainīt paredzētos apstākļus, kā arī tīkla un mašīnas parametrus.

2.2. Dīzelģeneratora un tvaika turbīnas sinhronizācijas procesa stabilitātes izpēte, izmantojot matemātisko modelēšanu

Stabilitātes pārbaudei jebkurā sinhronizācijas metodē vispirms ir jānosaka pieļaujama rotora leņķiskais ātrums, slīde un ieslēgšanas leņķa robežvērtības. Jānovērtē strāvas sinhronizācijas laikā, ģeneratora fāzes nobīdes leņķi ieslēgšanas laikā, kā arī jānosaka elektromagnētiskā momenta, rotācijas frekvences un ierosmes strāvas vērtības sinhronizācijas laikā.

Sinhronizācijas procesa novērtēšanai tiek izveidots matemātiskais modelis, kas iekļauj sevī zemāk minētās komponentes:

- sinhronā ģeneratora matemātiskais modelis;
- dzinēju diferenciālvienādojumi.

Rotējošo maiņstrāvas elektrisko ģeneratoru (sinhrono) pārējas procesu izpētei izmantosim sprieguma līdzsvara vienādojumus rotora un statora elektriskajā ķēdē un rotora kustības vienādojumu diferenciālā formā.

Visi vienādojumi pierakstīti „ X_{ad} ” sistēmā relatīvajās vienībās, kur savstarpējas mijinduktivitātes pretestības un savstarpējie magnetizējošie spēki vienādi savā starpā.

Sinhronā ģeneratora matemātiskais modelis d,q,0 asīs:

$$\left. \begin{aligned} u_d &= \frac{d\Psi_d}{d\tau} - \Psi_q \omega + i_d R; \\ u_q &= \frac{d\Psi_q}{d\tau} + \Psi_d \omega + i_q R; \\ u_f &= \frac{d\Psi_f}{d\tau} + i_f R_f; \\ 0 &= \frac{d\Psi_D}{d\tau} + i_D R_D; \\ 0 &= \frac{d\Psi_Q}{d\tau} + i_Q R_Q. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Ψ_d, Ψ_q , - pilnās magnētiskās plūsmas saķēdējuma komponentes d, q, 0 asīs;

u_d, u_q , - fāzes spriegumu momentānas komponentes d, q, 0 asīs;

i_d, i_q , - fāzes strāvu momentānas komponentes d, q, 0 asīs;

R_d, R_q , - fāžu tinumu aktīvas pretestības (statora tinuma simetrijas gadījumā $R_d = R_q = R$);

u_f, i_f, Ψ_f, R_f - ierosmes tinuma spriegumu, strāvu, plūsmas saķēdējuma komponentes, aktīvas pretestības;

$\tau = \omega t$ - laiks elektriskajos radiānos vai sinhronajās sekundēs.

Magnētiskās plūsmas saķēdējumu komponentes visiem kontūriem izteikti d, q, 0 asīs un satur tikai konstantus, no ierosināšanas laika neatkarīgus lielumus:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d &= X_d i_d + X_{ad} i_f + X_{ad} i_D; \\ \Psi_q &= X_q i_q + X_{aq} i_Q; \\ \Psi_f &= X_{ad} i_d + X_f i_f + X_{ad} i_D; \\ \Psi_D &= X_{ad} i_d + X_{ad} i_f + X_D i_D; \\ \Psi_Q &= X_{aq} i_q + X_Q i_Q. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Vienādojumi (2.1) un (2.2) ir atrisināti attiecībā pret strāvas atvasinājumiem.

Matricu formā:

$$\frac{d}{d\tau} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Q_5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_f \\ u_d \\ u_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

$$\text{vai } \frac{d}{dt} [I_{SG}] = [Q_{SG}] [U_{SG}] + [H_{SG}], \quad (2.3)$$

Matricas $[A]$ elementiem:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -R_a Q_1, & a_{12} &= X_q \omega Q_1, & a_{13} &= -R_f Q_3, & a_{14} &= -R_D Q_4, & a_{15} &= X_{aq} \omega Q_1; \\ a_{21} &= -\omega X_d Q_2, & a_{22} &= -R_a Q_2, & a_{23} &= -X_{ad} \omega Q_2, & a_{24} &= -X_{ad} \omega Q_2, & a_{25} &= -R_Q Q_5; \\ a_{31} &= -R_a Q_3, & a_{32} &= X_q \omega Q_3, & a_{33} &= -\frac{X_d X_D - X_{ad}^2}{\Delta d} R_f, & a_{34} &= \frac{X_s X_{ad}}{\Delta d} X_D, & a_{35} &= X_{aq} \omega Q_3; \\ a_{41} &= -R_a Q_4, & a_{42} &= X_q \omega Q_4, & a_{43} &= \frac{X_s X_{ad}}{\Delta d} R_f, & a_{44} &= -\frac{X_d X_B - X_{ad}^2}{\Delta d} R_D, & a_{45} &= X_{aq} \omega Q_4; \\ a_{51} &= -X_d \omega Q_5, & a_{52} &= -R_a Q_5, & a_{53} &= -X_{ad} \omega Q_5, & a_{54} &= -X_{ad} \omega Q_5, & a_{55} &= -\frac{X_q}{\Delta q} R_Q. \end{aligned}$$

Matricas $[Q_{SD}]$ elementiem:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{X_D X_f - X_{ad}^2}{\Delta d}; & Q_2 &= \frac{X_Q}{\Delta q}; & Q_3 &= -\frac{X_{SD} X_{ad}}{\Delta d}; & Q_4 &= -\frac{X_{sf} X_{ad}}{\Delta d}; & Q_5 &= -\frac{X_{aq}}{\Delta q}, \\ \Delta d &= X_d X_f X_D - X_{ad}^2 (X_d + X_D + X_B - 2X_{ad}), \\ \Delta q &= X_q X_Q - X_{aq}^2, \end{aligned}$$

Matricas $[B]$ elementiem:

$$B_1 = Q_3 u_B; \quad B_2 = 0; \quad B_3 = \frac{X_d X_D - X_{ad}^2}{\Delta d} u_B; \quad B_4 = -\frac{X_s X_{ad}}{\Delta d} u_B; \quad B_5 = 0.$$

Papildinām vienādojumu sistēmu (2.1.) ar kustības vienādojumu

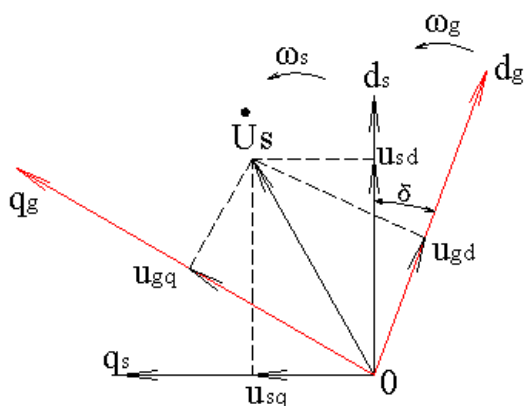
$$\frac{d\omega}{d\tau} = \frac{1}{T_M} [M_{diz} - (\Psi_q i_d - \Psi_d i_q)], \quad (2.4)$$

kur

M_{diz} - noteikts no primārā dīzeļdzinēja matemātiskā modeļa;

T_M – turbīnas laika konstante relatīvajās vienībās.

Tīkla (sistēmas) spriegumu U_{sd} , U_{sq} nepieciešams transformēt d, q, 0 asīs, rotācijas virziens sakrīt ar sinhronās mašīnas rotora rotācijas virzienu.



$$\begin{aligned} U_d &= U_{sd} \cos \delta - U_{sq} \sin \delta, \\ U_q &= U_{sd} \sin \delta + U_{sq} \cos \delta. \end{aligned} \quad (2.5)$$

2.0.att. Vektoru diagramma.

Nepieciešams ņemt vērā fāžu nobīdes leņķa izmaiņas kā funkciju no koordinātu sistēmas rotācijas frekvences un sinhronā ģeneratora rotācijas frekvences.

Sinhrono ģeneratoru automātiskie ātruma regulatori ir iebūvēti parasto regulatoru shēmās. Regulatoru tiešās darbības rotācijas ātruma novirze tiek pārveidota centrālās mehānisma kustībā un, izmantojot sviru sistēmu, tiek nodota degvielas sūkņa zobratā. Šādus regulatorus piemēro mazās un vidējās jaudas dīzeļģeneratoriem.

Vidējās un mazas jaudas kompaktās energosistēmās par avārijas elektroenerģijas avotu pārsvarā izmanto iekšdedzes dīzeļģeneratorus, jo palaišanas laiks ir pietiekoši īss un iekārta vienmēr atrodas darba gatavībā.

Automātiskās vadības sistēmas dīzeļģeneratora darba režīmu statiskās un dinamiskās īpašības tiek noteiktas ar dzinēja un automātisko ātruma regulatoru īpašību sistēmu elementu īpašībām.

Dīzeļģeneratora darbība attiecīgi ir iespējama pie enerģijas daudzuma vienādības nosacījuma, dīzeļdzinēja izstrādātas enerģijas daudzuma un enerģijas daudzuma, ko izmanto patērētājs (šajā gadījumā sinhronais ģenerators). Ja šo enerģijas vienādības nosacījumu aizstāj ar vienādojumu, tad dīzeļdzinēja - m_{diz} un ģeneratora momenta m_{em} statiskā līdzsvara nosacījumu var izteikt kā

$$m_{diz} + m_{em} = 0 \quad (2.6)$$

Tādējādi ir jāņem vērā, ka par sinhronās mašīnas pamatrežīmu darbības tiek pieņemts ģenerators režīms, un attiecīgi izveidotajā režīmā elektromagnētisko momentu raksturo ar "mīnus" zīmi.

Ja sistēmā "dīzeļdzinējs - ģenerators" ir enerģijas pārpalikums vai enerģijas trūkums, modelis nestrādās. Tādējādi visas laika izmaiņas, vai arī tikai parametri, nosaka dīzeļdzinēju vispārējo veiktspēju. Tādējādi dīzeļdzinēja - ģenerators vārpsta iegūst pozitīvu vai negatīvu paātrinājumu, un sistēma strādā nestabilā pārejas režīmā. Ja J - dīzeļdzinēja inerces rezultējošais moments un sinhronā ģenerators dinamisks līdzsvara stāvoklis, nestacionārā darba režīmā ar dīzeļdzinēju, šo režīmu vienādojumu var uzrakstīt saskaņā ar D'alambēra principu:

$$J \frac{d\omega}{dt} = m_{diz} + m_{em}, \quad (2.7)$$

jeb relatīvajās vienībās

$$T_M \frac{d\omega}{dt} = M_{diz} + M_{em}. \quad (2.8)$$

T_M – dīzeļdzinēja laika konstante;

Sakarā ar to, ka pastāv dažāda tipa dīzeļdzinēji, (tiešās un netiešās darbības, ar turbokompresoru un bez tā), salīdzinot dažāda tipa dīzeļdzinēju matemātiskus modeļus, darbā tika pieņemts dīzeļdzinējs ar turbokompresoru. Diferenciālvienādojumu sistēma, kas apraksta dīzeļdzinēja rotācijas frekvences maiņas raksturu Košī formā, ir šāda:

$$\begin{aligned} \frac{d\mu_p}{d\tau} &= k; \\ \frac{dk}{d\tau} &= -\frac{1}{T_2} [T_k k + \delta\mu_p + \delta(\mu_p - \xi) + (\omega - \omega_0)]; \\ \frac{d\xi}{d\tau} &= \frac{1}{T_i} (\mu_p - \xi). \end{aligned} \quad (2.9)$$

kur T_2'' – rotācijas frekvences regulatora jutīgā elementa laika konstante;

T_k – rotācijas frekvences regulatora berzes laika konstante;

T_i – rotācijas frekvences regulatora amortizatora laika konstante;

μ_p – rotācijas frekvences regulatora regulējošās daļas pārvietojums;

δ – rotācijas frekvences regulatora kļūdas reakcija;

δ_i – rotācijas frekvences regulatora papildus laika kļūdas reakcija;

ξ – rotācijas frekvences regulatora amortizācijas pārvietojums;

ω_0 – rotācijas frekvences regulatora iestatījums;

ω – no iekšdedzes dzinēja (dīzeļdzinējs) vadīta sinhronā ģenerators rotācijas frekvence.

Turbīnas ietekme uz dīzeļdzinēja darbību tiek ņemta vērā, izmantojot vienādojumu:

$$\frac{d\omega_T}{dt} = \frac{1}{T_T} (\mu_p - \omega_T), \quad (2.10)$$

kur T_T - turbīnas laika konstante;

ω_T - turbokompresoru turbīnas rotācijas ātrums.

Dīzeļdzinēja moments- M_{diz} , saskaņā ar vienādojumu:

$$M_{diz} = \eta_e \cdot \mu_p, \quad (2.11)$$

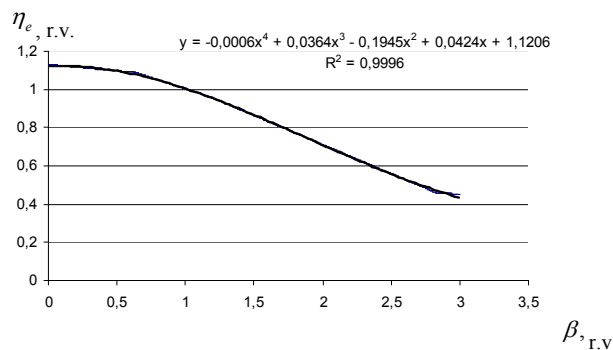
kur η_e - dīzeļdzinēja efektīvais lietderības koeficients.

Sakarība $\eta_e = f(\beta)$ ir dota 1. tabulā.

1. tabula sakarība $\eta_e = f(\beta)$.

η_e	1,13	1,09	0,96	0,46	0,4514
β	0	0,625	1,18	2,825	3,0

Sakarība $\eta_e = f(\beta)$ ir parādīta 2.1.attēlā.



2.1.att. Sakarība $\eta_e = f(\beta)$ un tas regresijas vienādojums

Izmantojot datortehniku, saskaņā ar 1. tabulu var iegūst nelineāru regresijas vienādojumu:

$$\eta_e = -0,0006\beta^4 + 0,0364\beta^3 - 0,1645\beta^2 + 0,0424\beta + 1,1206, \quad (2.12.)$$

kur

$$\beta = \frac{q_{cikl}}{q_B} = \frac{\mu_p}{q_B}; \quad q_B = 0,8 + 0,2\omega_T;$$

q_B - kompresora gaisa patēriņš;

q_{cikl} - cikliskā degvielas padeve, μ_p dots relatīvajās vienībās.

Ierobežojumi, kurus jāievēro, iestatot frekvences regulatora regulēšanas daļas pārvietotāju:

$$-0,25 \leq \mu_p \leq 1,1.$$

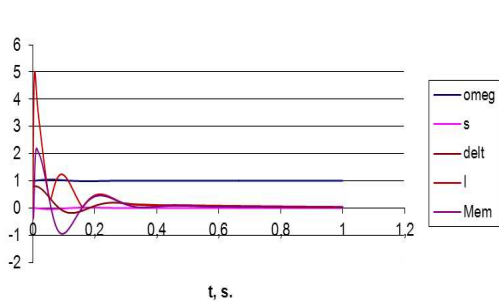
Pēc darba režīma analīzes ar matemātiskā modeļa palīdzību konstatēts, ka lielums T_2'' ir neievērojami mazs ($1 \div 5s$), tādēļ dotajos apstākļos var pieņemt, ka $T_2'' = 0$.

Ievērojot to, dīzeļģeneratora matemātiskais modelis ir:

$$\begin{aligned} \frac{d\mu_p}{dt} &= -\frac{1}{T_k} [\delta \cdot \mu_p + \delta_i (\mu_p - \xi) + (\omega - \omega_0)] \\ \frac{d\xi}{dt} &= \frac{1}{T_i} (\mu_p - \xi), \\ \frac{d\omega_T}{dt} &= \frac{1}{T_T} (\mu_p - \omega_T). \end{aligned} \quad (2.13.)$$

Lai pārlicinātos par ģeneratora un dīzeļdzinēja matemātiskā modeļa pareizu darbību un funkcionalitāti, analizēsīm sinhronizācijas procesu ar bezgalīgas jaudas centralizētu tīklu.

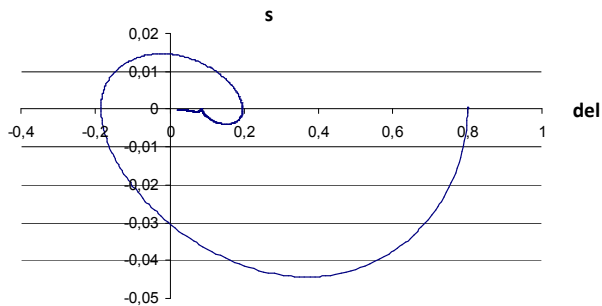
2.2. -2.3. att. doti rezultāti, ģeneratorus pieslēdzot tīklam, ja ievēroti sinhronizācijas noteikumi. Sākuma režīms ir vienāds visos gadījumos.



2.2.att. Sinhronizācijas rezultāti ar leņķa nobīdi

$\delta = +0,8 \text{ el.rad}$, moments, strāva,

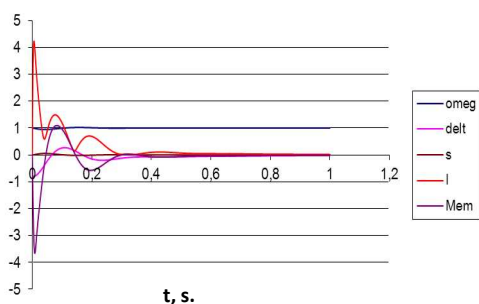
rotācijas frekvence, nobīdes leņķis laikā, s.



2.3.att. Sinhronizācijas rezultāti ar leņķa nobīdi

$\delta = +0,8 \text{ el.rad}$, fāzes trajektorija.

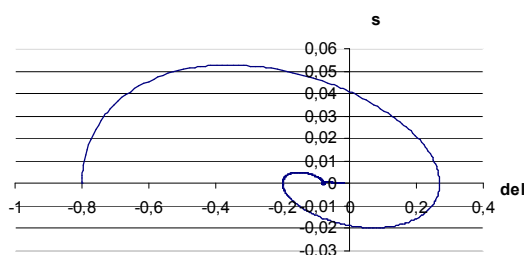
2.4.-2.5.att. doti sinhronizācijas modelēšanas rezultāti sākumnosacījumi - nobīdes leņķis $\delta = +0,8 \text{ el.rad}$ un $\delta = -0,8 \text{ el.rad}$. Pirmajā gadījumā maksimālā strāvas vērtība ir 5 r.v., un maksimālā momenta vērtība 2,07 r.v., otrajā gadījumā ir maksimāla strāvas vērtība ir 4,05 r.v. un momenta vērtība - 3,6 r.v.



2.4.att. Sinhronizācijas rezultāti ar leņķa nobīdi

$\delta = -0,8 \text{ el.rad}$, moments, strāva,

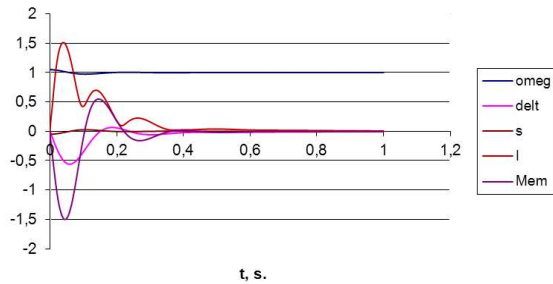
rotācijas frekvence, nobīdes leņķis laikā, s.



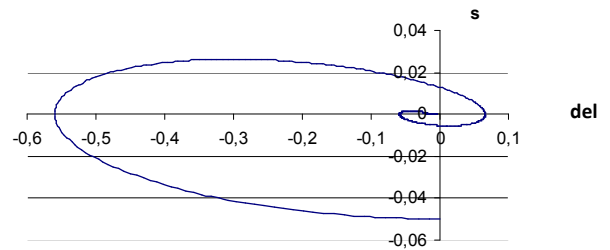
2.5.att. Sinhronizācijas rezultāti ar leņķa nobīdi

$\delta = -0,8 \text{ el.rad}$, fāzes trajektorija.

2.6.-2.7.att. aprēķinu rezultāti nesinhronā ģeneratora ieslēgšanas režīmā ar ģeneratora frekvenci lielāku nekā tīkla frekvence $\omega = 1,05$. Situācijas analīze nosaka, ka ģenerators ievilkās sinhronismā. Maksimālā strāvas vērtība ir 1,45 r.v., un maksimālā ģeneratora elektromagnētiskā momenta vērtība -1,5 r.v.



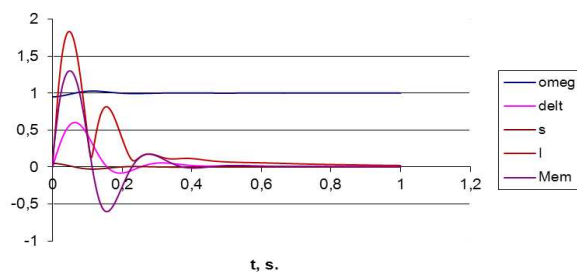
2.6. att. Sinhronizācijas rezultāti ar rotācijas frekvenci $\omega = 1,05$, moments, strāva, rotācijas frekvence, nobīdes leņķis laikā, s.



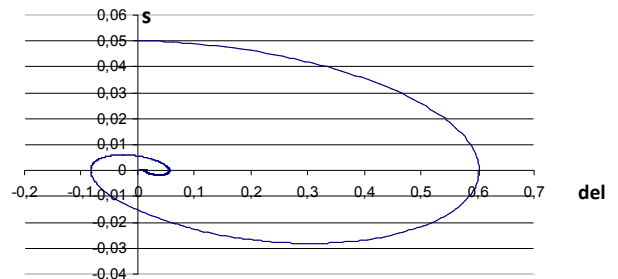
2.7.att. Sinhronizācijas rezultāti ar rotācijas frekvenci $\omega = 1,05$, fāzes trajektorija.

2.8.-2.9.att. aprēķinu rezultāti nesinhronā ģeneratora ieslēgšanas režīmā ar ģeneratora frekvenci mazāku nekā tīkla frekvence $\omega = 0,95$. Situācijas analīze nosaka, ka ģenerators arī ievilkās sinhronismā. Maksimālā strāvas vērtība ir 1,78 r.v., un maksimālā ģeneratora elektromagnētiskā momenta vērtība 1,25 r.v.

Visos izpētītajos gadījumos sinhronais ģenerators nonāk sinhronismā.



2.8.att. Sinhronizācijas rezultāti ar rotācijas frekvenci $\omega = 0,95$, moments, strāva, rotācijas frekvence, nobīdes leņķis laikā, s.



2.9.att. Sinhronizācijas rezultāti ar rotācijas frekvenci $\omega = 0,95$, fāzes trajektorija.

Ir pierādīta modeļa funkcionālā izmantojamība.

Uz izveidotā matemātiskā modeļa pamata ar augstu ticamības pakāpi ir iespējams noteikt dažādu sinhrono ģeneratoru sinhronizācijas nosacījumus ar primāro dzinēju - iekšdedzes dzinējs. Var noteikt rotācijas frekvences un fāžu nobīdes leņķa robežvērtības, kā arī noteikt statora strāvas un elektromagnētiska momenta vērtība.

2.3. Divu samērojamas jaudas ģeneratoru sinhronizācijas procesa stabilitātes izpēte, izmantojot matemātisko modelēšanu

Interesantāk ir sinhrono ģeneratoru sinhronizācijas process ar ierobežotu enerģijas sistēmu. Promocijas darbā daļā, piedāvāts elektroenerģijas sistēmas modelis, kas satur divus līdzvērtīgas jaudas sinhronus ģeneratorus ar primārajiem dzinējiem.

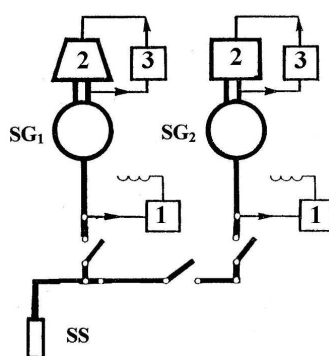
Sistēmas modelēšana, kurā darbojās ar statistisku aktīvi - induktīvu slodzi, dota 2.10.att.

Sinhronizācijas procesa matemātiskā modelēšana sastāv no divām pakāpeniskām daļām:

- pirmais solis - SG1 ģenerators stacionāras aktīvas - induktīvas slodzes nosacījuma aprēķins;
- otrais solis - SG2 ģenerators pieslēgums pie sistēmas, turklāt neievērojot sinhronizācijas nosacījumus.

Matemātiskais modelis izveidots, lai novērtēt situācijas un sistēmas sinhronizācijas procesa stabilitāti. Sistēmas modelis ietver sevī sinhrono ģeneratoru modeļa komponentes ar iespēju izmantot pilnu diferenciālo Parka-Goreva vienādojumu un statistiski aktīvo - indukcijas slodzes vienādojumu komponentes.

Sinhronā ģenerators matemātiskais modelis izveidots, balstoties uz Parka-Goreva diferenciālvienādojumiem un aktīvi-induktīvās slodzes vienādojumiem d, q, 0 asīs.



2.10.att. Matemātiskā modeļa shēma. (1.- ierosme; 2.- primārais dzinējs 3.- dzinēja vadības iekārta; SS - slodze).

Sinhronā ģenerators matemātiskais modelis d, q, 0 asīs:

$$\left. \begin{aligned}
 u_d &= \frac{d\Psi_d}{d\tau} - \Psi_q \omega + i_d R, \\
 u_q &= \frac{d\Psi_q}{d\tau} + \Psi_d \omega + i_q R, \\
 u_f &= \frac{d\Psi_f}{d\tau} + i_f R_f, \\
 0 &= \frac{d\Psi_D}{d\tau} + i_D R_D, \\
 0 &= \frac{d\Psi_Q}{d\tau} + i_Q R_Q, \\
 T_M \frac{d\omega}{d\tau} &= M_T - (\Psi_q i_d - \Psi_d i_q).
 \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

kur

$$\begin{aligned}
 \Psi_d &= X_d i_d + X_{ad} i_f + X_{ad} i_D; \\
 \Psi_q &= X_q i_q + X_{aq} i_Q; \\
 \Psi_f &= X_{ad} i_d + X_f i_f + X_{ad} i_D; \\
 \Psi_D &= X_{ad} i_d + X_{ad} i_f + X_D i_D; \\
 \Psi_Q &= X_{aq} i_q + X_Q i_Q;
 \end{aligned}$$

Vienādojumi (2.14) pārveidoti matricu formā, kā parādīts vienādojumā (2.3.), izņemot kustības vienādojumu.

$$[u_1] = -[L_{StL}] \frac{d}{dt} [I_{StL}] - [Z_{StL}] \times [I_{StL}], \quad (2.15)$$

kur:

$$[u_1] = - \begin{bmatrix} u_{d1} \\ u_{g1} \end{bmatrix}; \quad [L_{StL}] = \begin{bmatrix} X_{StL} & 0 \\ 0 & X_{StL} \end{bmatrix}; \quad [Z_{StL}] = \begin{bmatrix} R_{StL} & -X_{StL} \\ X_{StL} & R_{StL} \end{bmatrix}.$$

Piemērojot visiem sistēmas elementiem (2.16), iegūstam sinhronā ģenerators statora vienādojumu sistēmu.

Izmantojot Kirhofa likumu vienādojumus, var izteikt:

$$[I_{SG1}] + [I_{SG2}] = [I_{StL}] \quad (2.16)$$

Matemātiskajam modelim ir sinhrono ģenerators pilnie vienādojumi, tādēļ ģenerators strāvas izteiktas diferenciālās funkcijās un vienādojumos (2.16.) jādiferencē.

$$\frac{d[I_{SG1}]}{dt} + \frac{d[I_{SG2}]}{dt} = \frac{d[I_{StL}]}{dt} \quad (2.17.)$$

Statora strāvas vienādojumi (2.3), pamata izteiksmes formā:

$$\frac{d[I_{SGi}]}{dt} = [Q_{SGi}] \times [U_1] + [H_{SGi}] \quad (2.18)$$

Vienādojumā (2.15.) $\frac{d[I_{SL}]}{dt}$ vietā tiek izmantots (2.17.) vienādojums.

$$[U_1] = -[L_{SL}] \times [m_{SG1} Q_{SG1} + m_{SG2} Q_{SG2}] \times [U_1] - [L_{SL}] \times [m_{SG1} H_{SG1} + m_{SG2} H_{SG2}] - [Z_{SL}] \times [m_{SG1} I_{SG1} + m_{SG2} I_{SG2}] \quad (2.19)$$

Pēc pārveidošanas iegūstam:

$$([1] + [L_{SL}] \times [m_{SG1} Q_{SG1} + m_{SG2} Q_{SG2}]) \times [U_1] = -[L_{SL}] \times [m_{SG1} H_{SG1} + m_{SG2} H_{SG2}] - [Z_{SL}] \times [m_{SG1} I_{SG1} + m_{SG2} I_{SG2}] \quad (2.20)$$

(2.20) vienādojumu atrisinot attiecībā pret $[U_1]$, iegūstam sinhrono ģeneratoru matemātiskā modeļa mainīgo spriegumu vienādojumu sistēmas.

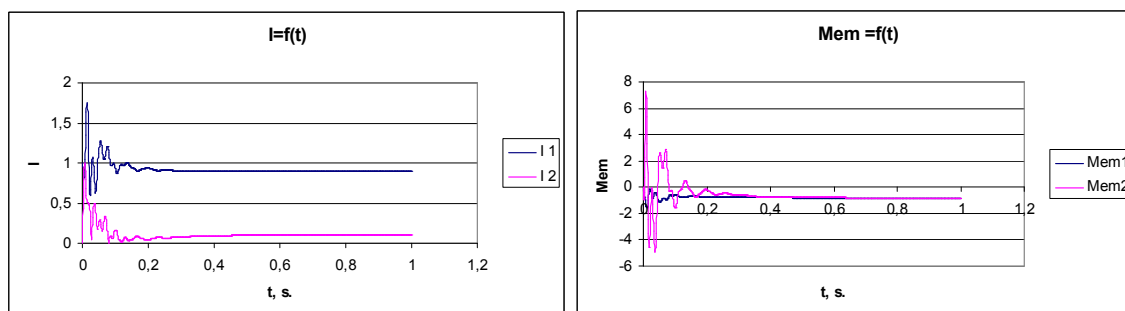
$$[U_1] = ([1] + [L_{SL}] \times [m_{SG1} Q_{SG1} + m_{SG2} Q_{SG2}])^{-1} \times (-[L_{SL}] \times [m_{SG1} H_{SG1} + m_{SG2} H_{SG2}] - [Z_{SL}] \times [m_{SG1} I_{SG1} + m_{SG2} I_{SG2}]) \quad (2.21)$$

Sinhrono ģeneratoru parametru modelēšanā tiek izmantoti parametri relatīvajās vienībās (r.v.).

$$\sum m_{SGi} = 1 \quad \text{Tas ir} \quad m_{SG1} + m_{SG2} = 1 \quad (2.22)$$

Ja pirmais ģenerators SG1 atrodas zem slodzes, $m_{SG1} = 1.0$;

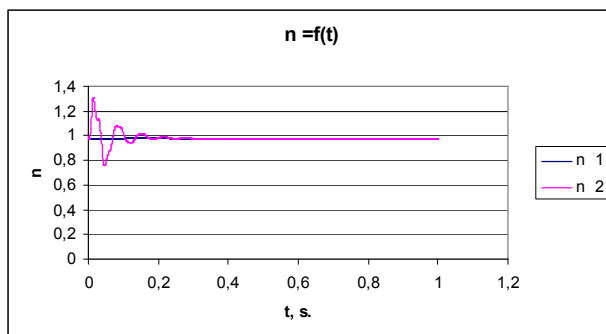
Ja otrā ģeneratora SG2 ieslēgšanas laikā pirmais ģenerators atrodas zem slodzes, ja $m_{SG1} = 0.9$, un $m_{SG2} = 0.1$ (pieņemts kalkulācijas procesā), tad sinhronizācijas process tiek atspoguļots. 2.12. - 2.14att.



2.11. att. Divu sistēmā ieslēgto ģeneratoru
sinhronizācijas rezultāti laikā vienībās:

I1- pirmā ģeneratora strāva, r.v.;

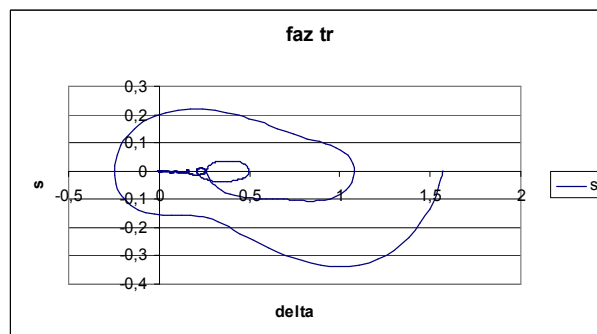
I2- otrā ģeneratora strāva, r.v.



2.12. att. Divu sistēmā ieslēgto ģeneratoru
sinhronizācijas rezultāti laikā vienībās:

Mem1- pirmā ģeneratora moments;

Mem2- otrā ģeneratora moments.



2.13. att. Divu sistēmā ieslēgto ģeneratoru
sinhronizācijas rezultāti frekvences laikā vienībās:

n1 – pirmā ģeneratora frekvence;

n2 – otrā ģeneratora frekvence.

2.14. att. Divu sistēmā ieslēgto ģeneratoru
sinhronizācijas rezultāti – fāžu trajektorija.

Sinhronizācijas rezultāti parāda matemātisko modeļu funkcionālo izmantojamību.

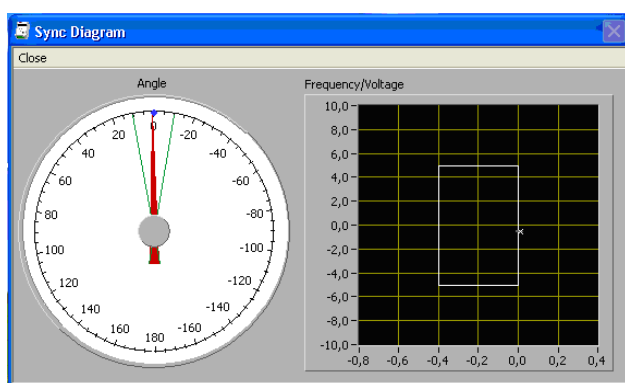
Uz izveidotā matemātiskā modeļa pamata ar augstu ticamības pakāpi ir iespējams noteikt dažāda skaita sinhrono ģeneratoru sistēmas sinhronizācijas nosacījumus. Var noteikt rotācijas frekvences un nobīdes leņķa robežvērtības, kā arī noteikt statora strāvas un elektromagnētiska momenta vērtība.

3. SINHRONĀ ĢENERATORA SINHRONIZĀCIJAS PROCESA PRAKTISKO UN TEORETISKI IEGŪTO DATU SALĪDZINĀJUMS

3.1. Sinhro ģeneratoru sinhronizācija ar UNITROL 1000 sistēmu

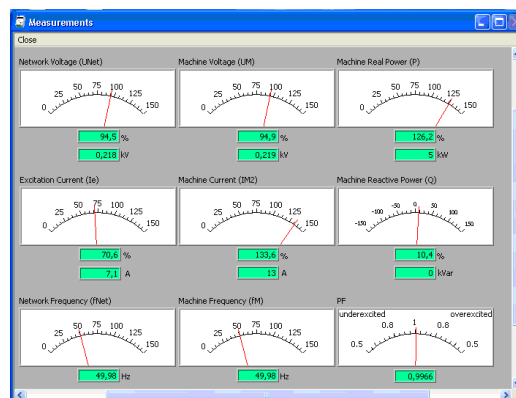
UNITROL 1000 ir automātiskais sprieguma regulators sinhro ģeneratoru un sinhro mašīnu modeļu modernizācijai. Regulators ietver integrētu „macroprocessing” tehnoloģiju uz pusvadītāju bāzes elementiem.

Iekārtas norādītie parametri ļauj uzraudzīt ģeneratoru un tīklu datu variācijas gan sinhronizācijas brīdī, gan arī noteiktā izvēlētajā laika periodā. UNITROL 1000 iebūvētas oscilogrāfā funkcijas.



3.1. att. Sinhronizācijas diagramma.

Iekārtas vadības logs.



3.2. att. Reālā laikā izmērītas vērtības.

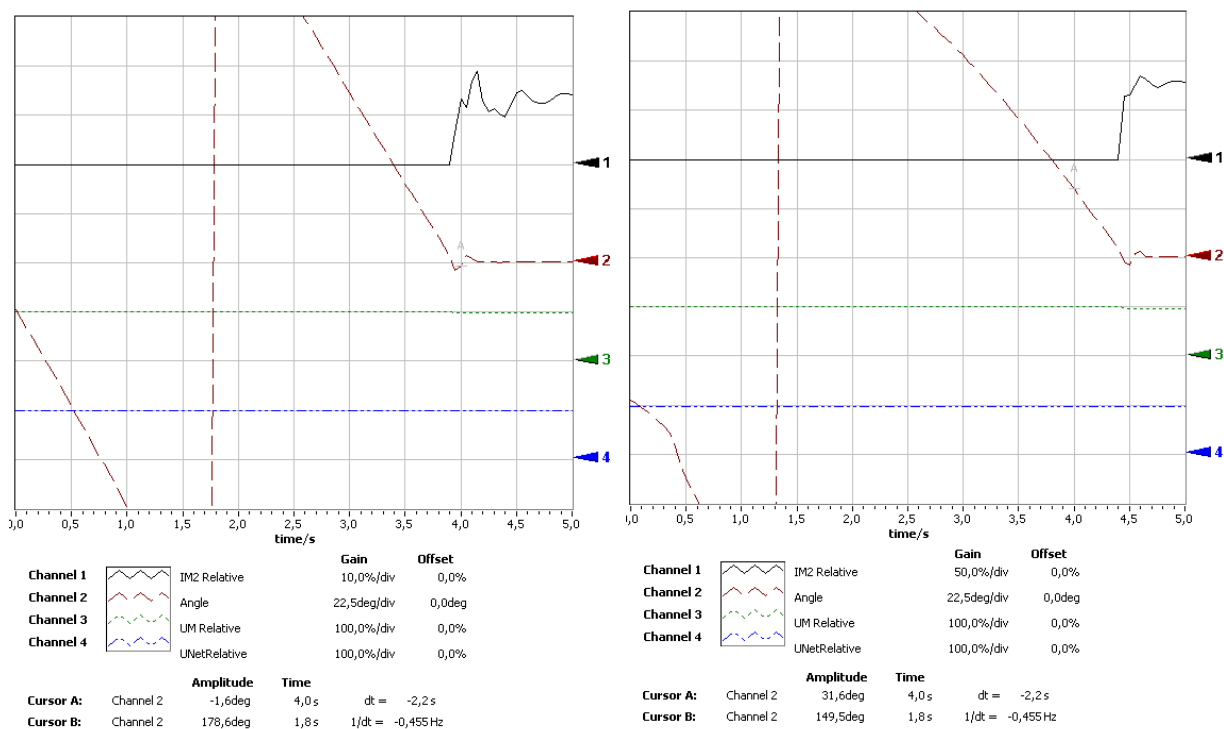
Iekārtas vadības logs.

3.2. attēlā redzami reālā laikā izmērītie parametri: tīkla spriegums; ģeneratora spriegums, aktīvā jauda, reaktīvā jauda, ierosmes strāva, ģeneratora strāva, tīkla frekvence, ģeneratora frekvence, fāžu novirzes leņķis.

3.3.-3.5.att. tiek dotas UNITROL 1000 sinhronizācijas mērījumi programmas vizualizācijas rezultāti.

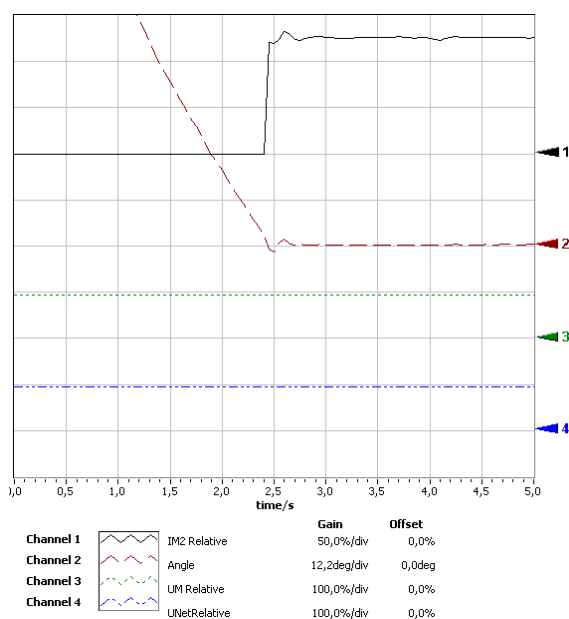
Lai parādītu ģeneratora sinhronizācijas procesa modeļa analīzi veiksīm izmēģinājumu sinhronizācijas režīmā ar bezgalīgu elektroenerģijas sistēmu dažādiem nosacījumiem: ģenerators- tīkls, ģenerators- slodze, ģenerators- dubultā slodze.

3.3. – 3.5.att. doti rezultāti parastos gadījumos kad sinhronais ģenerators nonāk sinhronā darbā pie novirzīšanās no sinhronizācijas nosacījumiem ģenerators-tīkls un ģenerators - slodze (2,2 A) un ģenerators-dubultā slodze, (4,4 A).



3.3.att. Sinhronizācijas momenta iegūtie rezultāti nosacījumam ģenerators- tīkls.

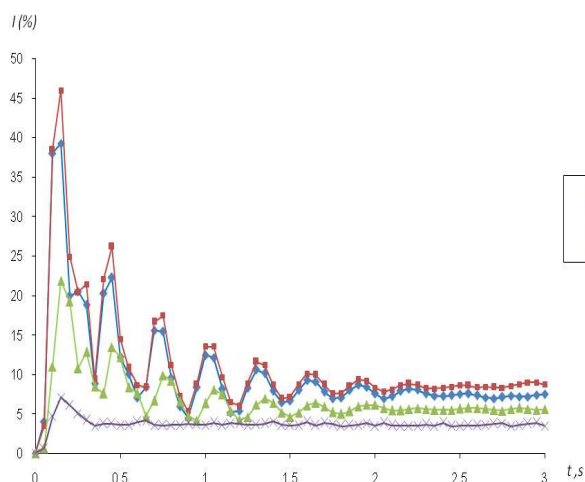
3.4.att. Sinhronizācijas momenta iegūtie rezultāti nosacījumam ģenerators- slodze.



3.5.att. Sinhronizācijas momenta iegūtie rezultāti nosacījumam ģenerators- dubultā slodze.

Pamatojoties uz UNITROL 1000, iespējams definēt dažādu sinhrono ģeneratoru sinhronizācijas apstākļus. Lai noteiktu iespējamās novirzes robežvērtības - rotācijas frekvence un nobīdes leņķa precīzās sinhronizācijas gadījumā. Ar ierīces palīdzību tika salīdzinātas tīklu un ģenerators strāvas un spriegumu vērtības relatīvās vienībās, reālajā laikā.

3.6. attēlā atspoguļoti sinhronizācijas rezultāti (faktiskās strāvas vērtības r.v. atkarībā no laika) pie sinhronizācijas nosacījuma ģenerators-tīkls ar dažādu frekvenci.



$$1 - I(f_{\text{net}} < f_g, \Delta f = 0,75\text{Hz});$$

$$2 - I(f_{\text{net}} < f_g, \Delta f = 0,1\text{Hz});$$

$$3 - I(f_{\text{net}} < f_g, \Delta f = 0,5\text{Hz});$$

$$4 - I(f_{\text{net}} = f_g);$$

f_{net} - tīkla frekvence;

f_g - ģenerators frekvence;

Δf - frekvenču starpība;

U_{net} - tīkla spriegums;

U_g - ģenerators spriegums;

δ - fāžu nobīdes leņķis.

3.6.att. Sinhronizācijas rezultāti pie sinhronizācijas nosacījuma ģenerators-tīkls (bez slodzes) ar dažādām frekvencēm. $I=f(t)$, ($U_{\text{net}}=U_g$, $\delta=0$).

No 3.6. attēla var lielā mērā izsekot, kā parametra maiņa ietekmē regulatora vispārējo darbību, atsaucoties uz elektroapgādes diagrammu un osciloskopa funkciju. Tas nozīmē, ka optimālie iestatījumi atrodas nelielā laika intervālā.

Tika izvēlēti četri signāli grafisko displeju parametru atspoguļošanai un diagrammas, informāciju var saglabāt arī skaitliskā formā, lai vēlāk veikt analīzi, osciloskopa izšķirtspēja ir 50 ms un kopā ir 20 kanāli.

Promocijas darbā tika atklāti ārkārtas situācijas rezultāti gadījumos, kad sinhronais ģenerators nonāk sinhronismā, ja ir novirzes no sinhronizācijas noteikumiem ģenerators-tīkls, ģenerators slodze un ģenerators - slodze, kad ģenerators darbība uzsākta dzinēja režīmā.

Ar UNITROL 1000 iekārtas palīdzību ir iespēja vadīt, analizēt un salīdzināt teorētiskās strāvas, jaudas, nobīdes leņķa vērtības, kas iegūtas no matemātiskajiem modeļiem ar praktiski iegūtiem rezultātiem. Tādēļ ir iespēja pārbaudīt, vai matemātiskais modelis un tā aprēķinu rezultāti ir pareizi.

3.2. Eksperimentālo un teorētisko iegūto datu salīdzinājums

Sinhronā ģenerators matemātiskais modelis pārbaudīts ar sinhronā ģenerators sinhronizācijā iegūto praktiski datu salīdzinājumu, izmantojot iepriekš aprakstīto sistēmu UNITROL 1000.

Promocijas darba rezultātos ir vizualizēti sinhrono ģenerators palaišanas un sinhronizācijas ar tīklu, ar slodzi, ar divkāršu slodzi dati.

Matemātiskais modelis tika konstruēts saskaņā ar principu, kas aprakstīts iepriekš ar augstāk minēto vienādojumu sistēmu.

Ir nepieciešams izteikt strāvas vērtības i_d un I_Q atkarībā no piesātinājuma mijindukcijas saķēdējuma pretestības, kas nosaka mašīnu magnetizēšanas līknes atkarībā no plūsmas saikni ar mašīnas gaisa klīrensu : $x_m = f(\Psi\delta)$.

Mašīnas tukšgaitas raksturlīknes iegūšanai tiek izmantotas 3.1. – 3.3. tabulas normālā tukšgaitas raksturlīkne un raksturlīknes, ko iegūst sinhronajai mašīnai ar eksperimentālo metodi.

3.1. tabula. Normālās ģenerators tukšgaitas raksturlīknes dati

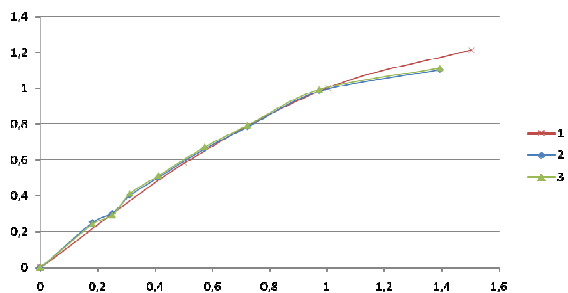
i_f , r.v.	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
E_0 , r.v.	0,58	1,0	1,21	1,33	1,4	1,46	1,51

3.2. tabula. Aprēķinātās ģenerators tukšgaitas raksturlīknes dati

i_f , r.v.	0,18	0,25	0,309	0,41	0,57	0,72	0,97	1,39
E_0 , r.v.	0,24	0,29	0,41	0,53	0,56	0,74	0,99	1,11

3.3. tabula. Praktiski iegūtie ģenerators tukšgaitas raksturlīknes dati

i_f , r.v.	0,18	0,25	0,309	0,41	0,57	0,72	0,97	1,39
E_0 , r.v.	0,25	0,3	0,4	0,53	0,55	0,73	0,98	1,1

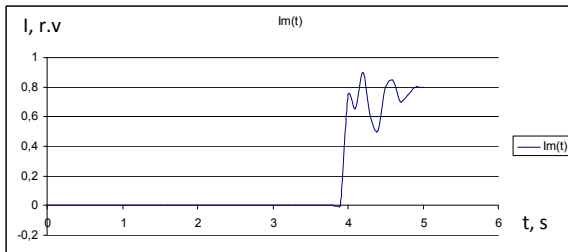


3.7.att. Normālā(1) praktiski iegūta (3) un aprēķināta(2)

ģenerators- tukšgaitas raksturlīkne.

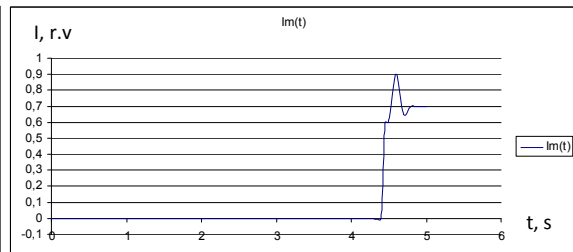
3.9. attēlā parādīta ģenerators- slodze. ģenerators- slodze.

Aplūkosim ģeneratoram iegūtās vienas fāzes strāvas raksturlīknes. 3.8. attēlā parādīta ģenerators- slodze. ģenerators- slodze.



3.8.att. Ģenerators- slodze. Ģenerators- slodze.

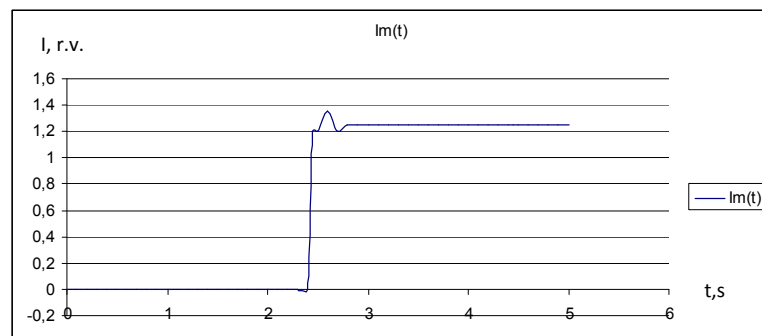
Pie nosacījuma ģenerators- tīkls.



3.9. att. Ģenerators- slodze. Ģenerators- slodze.

Pie nosacījuma ģenerators- slodze.

3.10. attēlā parādīta ģenerators- dubultā slodze. ģenerators- dubultā slodze.



3.10. att. Ģenerators- dubultā slodze. Ģenerators- dubultā slodze.

Tādējādi iegūtie matemātiskās modelēšanas rezultāti salīdzinājumā ar praktisko metodi iegūtajiem raksturlielumiem pierāda modeļa rezultātu precizitāti.

Kompakto energosistēmu ar sinhrono ģeneratoru matemātiskais modelis ir darbināms un iegūti rezultāti ir tuvu praktiski iegūtiem rezultātiem. Sinhrono ģeneratoru, kā kompakto energosistēmu daļas, sinhronizācija dažādos apstākļos ir iespējama ar izstrādāto modeli un tā ļauj novērtēt un analizēt sistēmas parametrus.

DARBA GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Kompakto energosistēmu attīstības tendences paredz ģeneratoru sinhronizācijas un ģeneratoru un sistēmu sinhronizācijas vadības metožu izpēti un analīzi nepieciešamību, kā vienu no aktuālām problēmām kompakto energosistēmu darbības efektivitātes paaugstināšanai. Teorētiskā izpēti bāzē nepieciešams pamatot sistēmas atsevišķo tehnisko objektu matemātisko metožu atbilstību sinhrono ģeneratoru un kompakto energosistēmu sinhronizācijas uzdevumiem. Pēdējā laikā energosistēmu vadības uzdevumu risināšana, izmantojot elastīgo kontroles un vadības iekārtu, ļauj apskatīt kompakto energosistēmas tiešās sinhronizācijas problēmas no jaunām pozīcijām.

Pētījumu galvenie rezultāti darba mērķa sasniegšanai apkopoti promocijas darba secinājumu daļā. Galvenie pētījumu rezultāti:

1. Izstrādāta kompakto energosistēmas ar sinhrono ģeneratoru pētījumu metodika, kas balstās uz strukturālās modelēšanas metodi, izmantojot Parka-Goreva elementu vienādojumus;
2. Piedāvāti kompakto energosistēmu ar sinhroniem ģeneratoriem funkcionālie modeļi, kuri apvienoti vienotā sistēmā. Piedāvāts veikt modelēšanu relatīvo vienību sistēmā, kur izmantojamo elementu parametri izteikti savās bāzes vienībās. Sinhrono ģeneratoru matemātiskais modelis ļauj pētīt sinhrono ģeneratoru parametru izmaiņu dažādos ģeneratoru darbības režīmos, ieskaitot savstarpējo mijiedarbību;
3. Pamatojoties uz sinhrono ģeneratoru un statiskās slodzes matemātiskajiem modeļiem izstrādāti atsevišķi programmas moduļi, kurus var izmantot darba režīmu analīzei un mašīnas režīmu parametru noteikšanai;
4. Pārejas procesu pētīšanas laikā, izmantojot piedāvāto matemātisko modeli, var būt izteiktas vērtības, kuras ir nepieciešamas elektrisko mašīnu projektēšanas un ekspluatācijas laikā, lai izvēlētos releja aizsardzības un automātiskas aparātus un to pareizus iestatījumus;
5. Izstrādāto matemātisko modeli var izmantot kā vienu kompakto energosistēmas sastāvdaļu no kopējā energosistēmas matemātiskā modeļa;
6. Ir noteiktas kompakto energosistēmu parametru robežvērtības stabilai un efektīvai komponentu paralēlai darbībai fāžu nobīdes leņķis starp ģeneratoru un tīklu var būt robežās no -10^0 līdz 10^0 ģenerators - tīkls nosacījumā (kompakto energosistēmu pieslēgšana pie centralizētas energoapgādes sistēmas);
7. Kompaktās sistēmas lokālā darbībā ar diviem un vairāk sinhroniem ģeneratoriem ģeneratoru momentu robežvērtībās no 0,75 līdz 0,95 relatīvās vienībās;

Matemātiskās modelēšanas rezultātu un praktiski iegūto rezultātu salīdzinājums pierāda matemātiskā modeļa precizitāti.

Izstrādātais modelis ļauj analizēt sinhrono ģeneratoru sinhronizācijas parametrus dažādos apstākļos. Tādējādi, nākotnē sinhronizatoru izveidošanā, izmantojot šos principus, būs iespējams vadīt kustības procesus līdz pilnīgai precīzas sinhronizācijas noteikumu izpildei.

PĒTNIECĪBAS REZULTĀTU APROBĀCIJA

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

Darba saturs atspoguļots 6 publikācijās:

1. Berziņa K., Ketnere E. The research of mathematical models of local power supply systems with synchronous generator. // Scientific Journal of RTU. 4. series., Energētika un elektrotehnika. - vol. (2012), (*pieņemts publicēšanai*).
2. Bērziņa K., Ketnere E. Simulation of Gas-Turbine Driven Device // Scientific Journal of RTU. 4. series., Energētika un elektrotehnika. - 25. vol. (2009), pp 27-30.
3. Mesņajevs A., Ketnere E., Bērziņa K., Orlovskis G. The Research of Stability of Synchronization Process with Unitrol 1000 Application // Scientific Journal of RTU. 4. series., Energētika un elektrotehnika. - 25. vol. (2009), pp 81-86.
4. Ketners K., Ketnere E., Bērziņa K., Latve-Sļesarenoka I. The Research of Stability of Synchronization Process with Mathematical Model's Application of Two Generators // Scientific Journal of RTU. 4. series., Energētika un elektrotehnika. - 20. vol. (2007), pp 115-121.
5. Ketners K., Ketnere E., Bērziņa K. Modelling of Stability of Synchronization Process with Various Primary Engines // Scientific Journal of RTU. 4. series., Energētika un elektrotehnika. - 19 vol. (2007), pp 115-121
6. Berzina K., Ketnere E., Ketners K. The Research of Stability of Synchronization Process with Mathematical Model's Application. // Scientific Proceedings of RTU. 4. series. Energētika un elektrotehnika 18. vol. (2006), pp 10-18.

KONFERENCES

Darba saturs prezentēts 5 konferencēs

1. Ketner K., Berzina K., Ketnere E. The Research of Stability of Synchronization Process with Mathematical Model's Application. 2005. y. Latvija, Rīga. 46th International Scientific Conference Power and Electrical Engineering. RTU;
2. Berzina K., Ketnere E. Modeling of stability of synchronization process with various primary engines. 2006. y. Latvija, Rīga. 47th International Scientific Conference Power and Electrical Engineering; RTU;
3. Berzina K., Ketnere E. The Research of Stability of Synchronization Process with Mathematical Model's Application of turbogenerator and Diesel engine. 2007. y. Latvija, Rīga. 48th International Scientific Conference Power and Electrical Engineering. RTU;
4. Berzina K., Ketnere E. The research of stability of synchronization process with Unitrol 1000 application. 2008.y. Latvija, Rīga. 49th International Scientific Conference Power and Electrical Engineering. RTU;
5. Bērziņa K., Ketnere E. Simulation of gas-turbine driver device. 2008. y. Latvija Rīga. 50th International Scientific Conference Power and Electrical Engineering. RTU.