

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

Marina KOŅUHOVA

Doktora studiju programmas „Elektriskās mašīnas un aparāti” doktorante

ASIHNRONO DZINĒJU KOMPLICĒTO DINAMISKO REŽĪMU IZPĒTE, IZMANTOJOT MATEMĀTISKĀS MODELĒŠANAS METODI

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs:

Dr.sc.ing., profesors

K. KETNERS

RTU Izdevniecība

Rīga 2011

UDK 621.313.333 (043.2)

Ko 580 a

Koņuhova M. Asinhrono dzinēju komplicēto dinamisko režīmu izpēte, izmantojot matemātiskās modelēšanas metođi.

Promocijas darba kopsavilkums.-R.: RTU, 2011.-29 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Enerģētikas institūta 2011. gada 12. maija lēmumu, protokols Nr.42(77).

Šis darbs ir izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

ISBN

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽINIERZINĀTŅU DOKOTRA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2011. gada 6. jūlijā plkst. 12:30 RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1-117 telpā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr.sc.ing., asoc. profesore Anastasija Žiravecka
Rīgas Tehniskā Universitāte, Latvija

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

Dr.sc.ing., izpētes inženiere Viktorija Neimane
Wattenfall R&D, Zviedrija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts neviena citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Marina Koņuhova.....(Paraksts)

Datums.....

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, pielikumus, 92 attēlus un 10 tabulas, kopā 155 lappuses. Literatūras sarakstā ir 130 nosaukumi.

SATURS

Darba aktualitāte.....	5
Darba mērķis un uzdevumi.....	5
Pētījuma līdzekļi un metodes.....	6
Darba zinātniskā novitāte.....	6
Darba praktiskais pielietojums.....	6
Darba aprobācija.....	6
Publikācijas.....	7
Ievads.....	8
1. Asinhronā dzinēja matemātiskās modelēšanas metodika un matemātiskie modeļi.....	9
2. Ar pārslēgšanas procesiem nesaistīto asinhronā dzinēja dinamisko darbības režīmu matemātiskā modelēšana.....	13
2.1. Asinhronā dzinēja tiešā palaide.....	13
2.2. Asinhronā dzinēja tiešā palaide, ņemot vērā strāvas izspiešanu rievā.....	14
2.3. Asinhronā dzinēja darbība sprieguma nesimetrijas gadījumā modelēšanas metode.....	14
2.3.1. Asinhronā dzinēja darbība vienas fāzes pārrāvuma gadījumā.....	15
2.3.2. Asinhronā dzinēja darbība barošanas sprieguma nesimetrijas gadījumā.....	17
3. Ar pārslēgšanas procesiem saistīto asinhronā dzinēja dinamisko darbības režīmu matemātiskā modelēšana.....	17
3.1. Izskrejas režīma modelēšana.....	17
3.1.1. Asinhronā dzinēja elektrodzinējspēks brīvās izskrejas gadījumā.....	17
3.1.2. Griešanās frekvence asinhronā dzinēja brīvās izskrejas gadījumā.....	18
3.1.3. Citi procesi, kas noris dzinēja brīvās izskrejas gadījumā.....	19
3.1.4. Rotorā tinuma elektromagnētiskās laika konstantes ietekme uz paliekošā sprieguma rimšanas raksturlielumu.....	20
3.2. Asinhronā dzinēja pārslēgšanas režīmu modelēšana.....	21
3.2.1. Palaišana ar zvaigznes – trisstūra pārslēgu.....	21
3.2.2. Pētījums par asinhronās mašīnas paliekošā lauka ietekmi uz elektromagnētiskajiem procesiem ātrās pārslēgšanas gadījumā.....	21
3.3. Asinhronā dzinēja pašpalaišanas režīma modelēšana.....	22
3.3.1. Pašpalaide dziļas sprieguma pazemināšanas gadījumā.....	22
3.3.2. Pašpalaide barošanas sprieguma zuduma gadījumā.....	23

4. Eksperiments.....	24
4.1. Asinhronā dzinēja parametru noteikšana aprēķinu ceļā.....	24
4.2. Ticamu asinhronā dzinēja parametru noteikšana eksperimentālā ceļā.....	25
4.3. Modelēšanas rezultātā eksperimentālā ceļā iegūto raksturlielumu salīdzinošā analīze.....	27
Secinājumi.....	29

DARBA AKTUALITĀTE

Vispārēji izmantojamie asinhronie dzinēji (ADz) joprojām ir galvenais piedziņas veids, ko izmanto visās tautsaimniecības nozarēs. Praktiski nav tādas tehnikas un sadzīves jomas, kurā netiktu izmantoti asinhronie dzinēji. Šādiem dzinējiem ir virkne priekšrocību. Kā būtiskākās asinhrono dzinēju priekšrocības jāmin ilgstošs kalpošanas laiks, zemais trokšņa līmenis un augstais lietderības koeficients. Neskatoties uz to, ka pēdējā laikā arvien biežāk tiek izmantota regulējamā asinhronā elektropiedziņa, pašreiz lielākā daļa elektropiedziņu ir neregulējamās piedziņas ar asinhronajiem dzinējiem. Tās izmanto ūdensapgādē un siltumapgādē, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmās, kompresoru iekārtās un citās ierīcēs. Šobrīd tikai 20-25% no visām elektropiedziņām (saskaņā ar tehnoloģisko procesu prasībām) ir precīzi jāregulē ātrums un moments stacionārajos un pārejas procesos.

Spēka elektronikas un mikroprocesoru tehnikas straujā attīstība ir veicinājusi to, ka attīstās elektropiedziņas informācijas daļa un mazāk uzmanības tiek pievērsts enerģijas elektromehāniskās pārveidošanas procesiem spēka kanālā. Vienlaikus jāsaprot, ka spēka pārveidotāja izmaksas regulējamā elektropiedziņā 3-5 reizes pārsniedz elektropiedziņas vērtību.

Tādēļ, lai sasniegtu augstu asinhronā dzinēja darbības drošumu, sīkāk jāizpēta fizikālās parādības tajā, jāprecizē dzinēju parametru aprēķinu metodes, jāpēta dzinēju darbība īpašos režīmos utt.

Izpētīt elektriskās mašīnas dinamiku nozīmē atbildēt uz jautājumu – kā neatkarīgu apstākļu, kuros darbosies elektriskā mašīna, parametru maiņa ietekmē neatkarīgo mainīgo optimālos parametrus un izmaiņu raksturu.

Asinhrono dzinēju darbības dinamisko režīmu pētīšana, ņemot vērā elektromagnētisko pārejas procesu, ko rada dzinēja stāvokļa maiņa, ir aktuāls mūsdienu asinhrono piedziņu izmantošanas prakses jautājums. Asinhronais dzinējs pārejas procesos attīsta ievērojamus elektromagnētiskos momentus, kuri vairākas reizes var pārsniegt nominālo un pat maksimālo momentu. Tādēļ ir nepieciešama šo momentu izpēte, jo tieši šie momenti ir iemesls tam, ka rodas bīstami mehāniski spriegumi elektropiedziņas sistēmas kinemātiskās ķēdes elementos.

DARBA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Promocijas darba **mērķis** ir aprakstīt asinhronā dzinēja matemātiskās modelēšanas metodi, kas ļauj, balstoties uz risināmā uzdevuma nostādni, izvēlēties vienu no izstrādāto modeļu klāsta, lai modelētu un pētītu sarežģītus asinhronā dzinēja darbības režīmus. Šāda pētījuma rezultāti paaugstina energosistēmu un elektropiedziņas sistēmu kvalitāti, drošumu un darbības efektivitāti.

Šī mērķa sasniegšanai darbā tiek risināti šādi **pamatuzdevumi**:

- esošo asinhronā dzinēja matemātisko aprakstu analīze un optimālo modeļu izvēle;

- pētījuma metodoloģijas izstrāde un šim uzdevumam nepieciešamo matemātisko modeļu izstrāde;
- asinhronā dzinēja darbības matemātiskās modelēšanas metodes izmantošana barošanas sprieguma nesimetrijas gadījumā;
- asinhronā dzinēja nerimušā lauka ietekmes uz darbības režīmiem, kas saistīti ar pārslēgšanas procesiem, izpēte;
- izstrādātās asinhronā dzinēja darbības režīmu pētīšanas metodes pielietošanas jomas noteikšana. Ieteikumi tās izmantošanai;
- eksperimentālo pētījumu veikšana un iegūto rezultātu analīze.

PĒTĪJUMA LĪDZEKĻI

Darbā izmantoti: elektrisko mašīnu matemātiskās teorijas tēzes, metodes, kuras izmanto aprakstot dinamiskos enerģijas elektromehāniskās pārveidošanas procesus, Eilera un Runges - Kutas 4. kārtas skaitliskās metodes, matemātiskā modelēšana un programmēšana FORTRAN vidē. Teorētisko pētījumu pārbaude tika veikta, izmantojot eksperimentālās metodes.

ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Izstrādāti programmu kompleksi, kuri ļauj modelēt un pētīt dinamiskos ADz darbības režīmus.

Izstrādāta jauna metode, kura ļauj pētīt ADz darbību barošanas sprieguma nesimetrijas gadījumā, izmantojot parasto, simetrisko ADz matemātisko modeli.

Izstrādāta jauna metode, kura ļauj noteikt ADz paliekošā lauka ietekmi uz darbības režīmiem, kas saistīti ar pārslēgšanas procesiem.

Izanalizēti ticamu parametru iegūšanas paņēmieni, lai modelētu ADz dinamiskos režīmus.

DARBA PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS

Izstrādātos programmu kompleksus var izmantot ADz dinamisko darbības režīmu modelēšanai neatkarīgi no ADz tipa, konstrukcijas īpatnībām un parametriem.

Izstrādātos programmu kompleksus var izmantot inženieri un pētnieki, lai praksē pareizi izvēlētos asinhrono dzinēju automātikas, aizsardzības un vadības ierīces.

APROBĀCIJA

1. "The research into the self-starting mode of the induction motor". RTU 48. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, oktobris, 2007.
2. "Development of the model for the investigation of the induction motor under asymmetric supply modes". X International Scientific – Technical Conference Problems of Present-day Electrotechnics-2008, Kijeva, Ukraina, jūnijs, 2008.
3. "Analysis of asymmetric supply mode of the induction motor in system of d,q coordinates". RTU 49. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, oktobris, 2008.
4. "Investigation of the induction motor start up process using star-delta start". ECT 2009, 2nd International Conference on Electrical and Control Technologies, Kaunas, Lithuania, May, 2009.

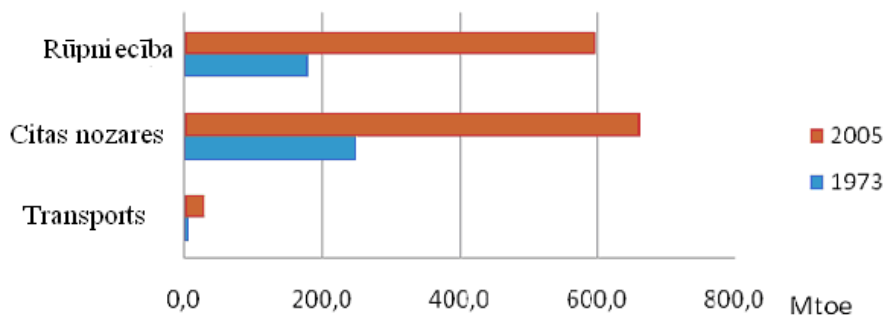
5. "Investigation of the undamped field effect to the electromagnetic processes in the induction machines". RTU 50. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, oktobris, 2009.
6. "Research of the effect of the rotor constant upon the attenuation characteristic if the induction motor residual voltage under the switching regime". XI International Scientific – Technical Conference Problems of present-day electrotechnics-2010. Kijevas, Ukraina, jūnijs, 2010.
7. "Non-overlapping concentrated windings in homopolar inductor machines". SPEEDAM-2010. Pisa, Italy, June, 2010.
8. "Mathematical modeling of induction motor transient processes during stator winding interruption". RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, oktobris, 2010.

PUBLIKĀCIJAS

1. Ketners K., Ketnere S., Klujevskā S., Konuhova M. "Research of the induction motor's self-starting mode". Scientific proceedings of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering, Riga: RTU, 2007. Vol.19. pp.124-130.
2. Ketnere E., Ketners K., Klujevskā S., Konuhova M. "The research into the self-starting mode of the induction motor". Scientific Journal of Riga Technical University, Riga: RTU, 2007. Vol. 20. pp. 136-142.
3. Konuhova M., Ketners K., Ketnere E., Klujevskā S. "Development of the model for the investigation of the induction motor under asymmetric supply modes". X International Scientific – Technical Conference PPE-2008. Ukraine, Kiev: ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА, 2008, pp.-18-22.
4. Konuhova M., Ketners K., Ketnere E., Klujevskā S. "Analysis of asymmetric supply mode of the induction motor in system of d,q coordinates". Scientific proceedings of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering, Riga: RTU, Vol. 23. pp. 135-142.
5. Konuhova M., Ketners K., Ketnere E., Klujevskā S. "Investigation of the induction motor start up process using star-delta start". Scientific proceedings of 4th International Conference on Electrical and Control Technologies of Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, May 7-8, 2009, pp.-215-218.
6. Konuhova M., Ketners K., Ketnere E., Klujevskā S. "Investigation of the undamped field effect to the electromagnetic processes in the induction machines". Scientific proceedings of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering, Riga: RTU, 2009. Vol. 25. pp. 47-50.
7. Konuhova M., Ketners K., Ketnere E., Klujevskā S. "Research of the effect of the rotor constant upon the attenuation characteristic if the induction motor residual voltage under the switching regime". XI International Scientific – Technical Conference PPE-2010. Ukraine, Kiev: ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА, 2010, pp.-152-155.
8. Konuhova M., Ketner K., Orlovskis G., Orlova S. "Motor credible parameters definition for modeling of transient processes". Scientific Journal of Riga Technical University, Riga: RTU, 2010. Vol.26, pp.136-142.
9. Orlova S., Pugachov V., Levin N., Konuhova M. "Non-overlapping concentrated windings in homopolar inductor machines". SPEEDAM-2010 Conference proceeding on CD, Pisa, Italy, 2010.
10. Konuhova M., Orlovskis G., Ketners K. "Mathematical modeling of induction motor transient processes during stator winding interruption". Scientific proceedings of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering, Riga: RTU, 2010, Vol. 27. pp. 73-76.

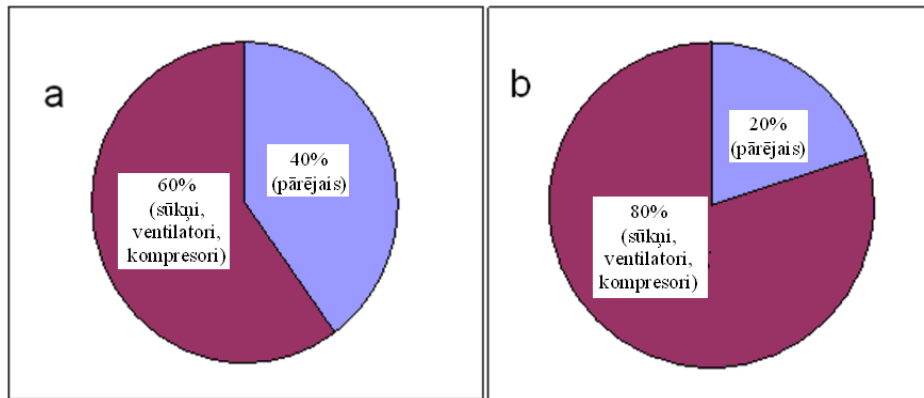
IEVADS

Elektroenerģijas patēriņa līmenis pasaulē pēdējos trīsdesmit gados ir palielinājies gandrīz trīs reizes, un elektroenerģijas patēriņš rūpnieciskajā sektorā tajā pašā laika periodā ir palielinājies par 260% (1.att.). Par to liecina Starptautiskās enerģētikas aģentūras dati [International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2007].



1. att. Diagramma „Elektroenerģijas patēriņš pasaulē”

Saskaņā ar statistikas datiem asinhronā elektropiedziņa patērē aptuveni 60% no elektroenerģijas ES rūpniecībā [International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2007] (2.att.). No iepriekš teiktā viegli var secināt, ka ADz ir pats izplatītākais elektrisko mašīnu tips ražošanā.



2.att. Elektropiedziņu elektroenerģijas patēriņš Eiropas savienībā: a) rūpnieciskais sektors, b) komercsektors

Asinhronie dzinēji ar īsslēgtu rotoru ir pats izplatītākais dzinēju tips. Tie ir nosacīt lēti un parasti tiem ir nelielas ekspluatācijas izmaksas. ADz tiek plaši izmantoti metālapstrādes, kokapstrādes un citu veidu darbagaldu, kalšanas-presēšanas, aušanas, šūšanas, kravu celšanas, zemes rakšanas mašīnu, ventilatoru, sūkņu, kompresoru un centrifūgu piedziņās, liftos, rokas elektroinstrumentos, sadzīves ierīcēs utt. Praktiski nav tādas tehnikas un sadzīves jomas, kurā netiktu izmantoti asinhronie dzinēji.

Tā kā asinhronajai elektropiedziņai ir tik ievērojama loma rūpniecībā, tai tiek izvirzīta virkne konkrētu prasību, no kurām galvenās ir: augsta ražīguma un nepārtrauktas darbības nodrošināšana; apkalpošanas drošība; remonta un ekspluatācijas vienkāršums. Savukārt, lai nodrošinātu šādas prasības ir skaidri jāizprot fizikālās parādības, kas notiek elektriskās mašīnās pārejas procesu laikā. Jāmāk veikt strāvu, spriegumu, momentu lielumu izmaiņu kvantitatīvais vērtējums. Iespēja prognozēt elektrisko mašīnu uzvedību tādos režīmos kā

slodzes uzņemšana un noņemšana ir nepieciešami mūsdienu inženieriem, lai racionāli projektētu tādas elektriskās mašīnas, kuras ir drošas jebkurā darba režīmā un iztur avārijas situācijas.

Pārejas procesu ilgums parasti nav liels. Tomēr radušies pārejas procesi būtiski ietekmē kā pašu elektrisko mašīnu darbu, tā arī energosistēmas un visas elektropiedziņas sistēmas kopumā darbību.

Pārejas procesi ir daudzveidīgāki un sarežģītāki nekā stacionārie procesi, kuri vispārējā veidā ir atsevišķs pārejas procesu gadījums. Pārejas procesi elektriskajās mašīnās notiek, mainoties spriegumiem un frekvencei mašīnas izvados, mainot slodzi uz vārpstu, ieslēdzot mašīnu tīklā un atslēdzot no tā, reversa, īsslēgumu gadījumā, mainot mašīnas parametrus un tml. Reālos apstākļos pārejas procesi noris, vienlaikus mainot vairākus faktorus. Faktoru kombinācijas, kas ietekmē dinamiku, var būt visai daudzveidīgas (sprieguma, frekvences, aizvietošanas shēmu parametru un slodzes utt. maiņa), tādēļ, veicot pētījumus, jāmeko izvēlēties „galvenais” un bez nepieciešamības nav jā sarežģī uzdevumus.

1. ASINHRONĀ DZINĒJA MATEMĀTISKĀS MODELĒŠANAS METODIKA UN MATEMĀTISKIE MODEĻI

Svarīgs un bieži vien noteicošais faktors, lai analizētu ADz darbību pārejas režīmos, ir elektriskā dzinēja matemātiskā modeļa izvēle. Efektīva šādu uzdevumu risināšanai ir matemātisko modeļu izmantošana ortogonālajās koordinātēs, kur kā sākuma mainīgos izmanto elektriskās mašīnas ortogonālos spriegumus un strāvas.

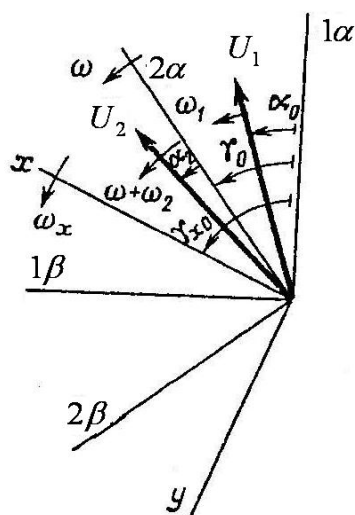
Analizējot ADz dinamiskos darbības režīmus pirmajā modelēšanas etapā tradicionāli tiek izmantoti vispārpieņemtie pieņēmumi, kuri ļauj reālās elektriskās mašīnas vietā aplūkot idealizētu mašīnu.

Idealizētu mašīnu raksturo:

- 1) nav magnētiskās ķēdes piesātinājuma, histerēzes, zudumu tēraudā;
- 2) nav strāvas izspiešanas tinumu varā;
- 3) magnētisko indukciju magnetizējošo spēku (MS) līkņu sinusoidāls sadalījums telpā;
- 4) tinumu izkliedes inductīvo pretestību neatkarība no rotora stāvokļa;
- 5) pilnīga tinumu simetrija.

Norādītie pieņēmumi, kuri idealizē mašīnu, tomēr ļauj saglabāt reālajā mašīnā notiekošo procesu atainojumu pieļaujamo noviržu robežās. Vienlaikus idealizētajai mašīnai izdodas iegūt pietiekami precīzus vienādojumus, kuriem ir pilnībā pieņemama precizitāte inženieraprēķinu veikšanai.

Veiktā esošo ADz matemātisko modeļu analīze parādīja, ka matemātiskā modeļa izmantošana trīs fāžu koordinātu sistēmā ir apgrūtināta, jo vienādojumu sistēma, kas apraksta pārejas procesus trīs fāžu asinhronajā mašīnā ietver daudzus nezināmos, kā arī vienādojumu sistēmā ir iekļautas starp statora un rotora fāzēm periodiski mainošās savstarpējās induktivitātes. Tādēļ priekšroka tiek dota div fāžu ADz matemātiskajiem modeļiem. Šādus modeļus iegūst no vispārinātas elektriskās mašīnas vienādojumiem, dažādās koordinātu sistēmās, izmantojot „attēlotājvektora” jēdzienu.



1.1.att. Koordinātu sistēmas un spriegumu attēlotājvektori

Pārveidojot vispārinātās elektriskās mašīnas vienādojumus koordinātu sistēmai x, y , kas kopēji statoram un rotoram un griežas ar brīvu griešanās frekvenci ω_x , tika iegūti spriegumu līdzsvara vienādojumi asīs x, y (1.1. att.):

$$U_{1x} = \frac{d\psi_{1x}}{dt} - \omega_x \psi_{1y} + R_1 i_{1x} \quad (1.1)$$

$$U_{1y} = \frac{d\psi_{1y}}{dt} - \omega_x \psi_{1x} + R_1 i_{1y} \quad (1.2)$$

$$U_{2x} = \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega - \omega_x) \psi_{2y} + R_2 i_{2x} \quad (1.3)$$

$$U_{2y} = \frac{d\psi_{2y}}{dt} - (\omega - \omega_x) \psi_{2x} + R_2 i_{2y} \quad (1.4)$$

kur $U_{1x}, U_{1y}, U_{2x}, U_{2y}$ - statora un rotora sprieguma komponentes x, y koordinātu sistēmā;

$i_{1x}, i_{1y}, i_{2x}, i_{2y}$ - statora un rotora strāvu komponentes x, y koordinātu sistēmā;

$\psi_{1x}, \psi_{1y}, \psi_{2x}, \psi_{2y}$ - statora un rotora plūsmu saķēdējuma komponentes x, y koordinātu sistēmā;

R_1, R_2 - statora un rotora aktīvas pretestības;

ω_x, ω - koordinātu sistēmas un rotora griešanās leņķiskā frekvences.

Ievietojot frekvenču vērtības $\omega_1, \omega_2, \omega, \omega_x$ var aplūkot asinhrono mašīnu jebkurā koordinātu sistēmā.

Iegūtā modeļa atšķirība – tajos ir iekļauti griezes elektrodzinējspēki: $\omega_x \psi_{1y}$; $\omega_x \psi_{1x}$; $(\omega - \omega_x) \psi_{2y}$; $(\omega - \omega_x) \psi_{2x}$.

ADz dinamisko darbības režīmu modelēšanai no vienādojumiem (1.1)-(1.4), veicot virkni matemātisku pārveidojumu, tika izstrādāti četri ADz matemātiskie modeļi.

Pirmais ADz modelis koordinātu sistēmā α, β (apzīmēsim kā **model I**) tiek attēlots ar vienādojumiem (1.5)-(1.7):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1\alpha}}{d\tau} &= U_m \cdot \cos(\tau) - R_1 \cdot i_{1\alpha} \\ \frac{d\psi_{1\beta}}{d\tau} &= U_m \cdot \sin(\tau) - R_1 \cdot i_{1\beta} \\ \frac{d\psi_{2\alpha}}{d\tau} &= -R_2 \cdot i_{2\alpha} + \omega\psi_{2\beta} \\ \frac{d\psi_{2\beta}}{d\tau} &= -R_2 \cdot i_{2\beta} - \omega\psi_{2\alpha} \end{aligned} \right\}, \quad (1.5)$$

$$\frac{d\omega}{d\tau} = (M_{em} - M_l) / T_M, \quad (1.6)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{1\alpha} &= (X_2 \cdot \psi_{1\alpha} - X_{ad} \cdot \psi_{2\alpha}) / del \\ i_{1\beta} &= (X_2 \cdot \psi_{1\beta} - X_{ad} \cdot \psi_{2\beta}) / del \\ i_{2\alpha} &= (X_1 \cdot \psi_{2\alpha} - X_{ad} \cdot \psi_{1\alpha}) / del \\ i_{2\beta} &= (X_1 \cdot \psi_{2\beta} - X_{ad} \cdot \psi_{1\beta}) / del \end{aligned} \right\}, \quad (1.7)$$

kur $del = X_1 \cdot X_2 - X_{ad} \cdot X_{ad}$;

$M_{em} = X_{ad} (i_{1\alpha} i_{2\beta} - i_{1\beta} i_{2\alpha})$;

$M_l = SM \cdot \omega_2^2 + SMK$;

SM - proporcionālā griešanas frekvencei statiskā momenta vērtība;

SMK - neatkarīgā no griešanas frekvences statiskā momenta vērtība;

$\psi_{1\beta}, \psi_{1\alpha}, \psi_{2\beta}, \psi_{2\alpha}$ - statora un rotora plūsmu saķēdējuma komponentes α, β koordinātu sistēmā;

$i_{1\alpha}, i_{1\beta}, i_{2\alpha}, i_{2\beta}$ - statora un rotora strāvu komponentes α, β koordinātu sistēmā;

$U_m \cos(\tau), -U_m \sin(\tau)$ - statoram pieliktais spriegums;

$R_1, R_2, X_1, X_2, X_{ad}$ - asinhronā dzinēja parametri relatīvajās vienībās;

M_{em}, M_l - elektromagnētiskais un slodzes momenti;

T_M - mašīnas laika konstante elektriskajos radiānos.

Šeit vienādojums (1.6) ir rotora kustības vienādojums, bet strāvu vērtības - (1.7), iegūtas no plūsmu saķēdējumu izteiksmēm. Šis ADz modelis koordinātu sistēmā α, β ļauj bez papildus pārveidojumiem salīdzināt vienas fāzes rezultātus ar eksperimentālajiem datiem.

Otrais ADz modelis ir atrisināts attiecībā pret strāvām koordinātu sistēmā d, q (apzīmēsim kā **model II**) un ir attēlots matricu formā:

$$\begin{bmatrix} u_{1d} \\ u_{1q} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \\ i_{2d} \\ i_{2q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\omega_x \psi_{1q} \\ \omega_x \psi_{1d} \\ -(\omega_x - \omega) \psi_{2q} \\ (\omega_x - \omega) \psi_{2d} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_{1d} \\ \psi_{1q} \\ \psi_{2d} \\ \psi_{2q} \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = [X_{ad} (i_{2d} i_{1q} - i_{2q} i_{1d}) - M_l], \quad (1.9)$$

kur plūsmu saķēdējumu vērtības var nomainīt sekojoši:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \\ i_{2d} \\ i_{2q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -C_1 R_1 & +C_1 f_1 & +C_1 X_{ad} & +C_1 X_{ad} \omega \\ -C_1 f_1 & -C_1 R_1 & -C_1 X_{ad} \omega & +C_2 X_{ad} \\ C_3 R_1 & -X_1 f_2 & -C_2 X_1 & -f_3 \\ X_1 f_2 & +C_3 R_1 & +f_3 & -C_2 X_1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \\ i_{2d} \\ i_{2q} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \\ U_{2d} \\ U_{2q} \end{pmatrix}, \quad (1.10)$$

kur u_{1d}, u_{1q} - statoram pieliktā spriegums;

$i_{1d}, i_{1q}, i_{2d}, i_{2q}$ - statora un rotora strāvu komponentes d, q koordinātu sistēmā;

$\psi_{1\beta}, \psi_{1\alpha}, \psi_{2\beta}, \psi_{2\alpha}$ - statora un rotora plūsmu saķēdējuma komponentes d, q koordinātu sistēmā;

koeficientu vērtības modelim tiek aprēķinātas saskaņā ar sekojošām izteiksmēm:

$$C_1 = \frac{1}{X_d} = \frac{1}{X_1 - \frac{X_{ad}^2}{X_2}}; \quad C_2 = \frac{R_2}{X_2} \cdot C_1; \quad C_3 = \frac{X_{ad}}{X_2} \cdot C_1;$$

$$f_1 = \left(X_1 - \frac{X_{ad}^2}{X_2} \right) \omega_x + \frac{X_{ad}^2}{X_2}; \quad f_2 = \omega \cdot C_3; \quad f_3 = (C_1 X_1 (\omega - \omega_x)).$$

Šis ADz modelis koordinātu sistēmā d, q ir izteikts strāvās, kas ļauj iekļaut matemātisko modeli tādos pētījumos, kas nosaka kā dzinēja darbība ietekmē energosistēmu.

Trešais ADz modelis ir atrisināts attiecībā pret plūsmu saķēdējumiem koordinātu sistēmā d, q (apzīmēsim kā **model III**) un ir attēlots ar vienādojumiem (1.11)-(1.13):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1d}}{dt} &= U_{1d} - R_1 i_d + \omega \psi_{1q} \\ \frac{d\psi_{1q}}{dt} &= U_{1q} - R_1 i_q - \omega \psi_{1d} \\ \frac{d\psi_{2d}}{dt} &= -R_2 i_{2d} + (\omega_x - \omega) \psi_{2d} \\ \frac{d\psi_{2q}}{dt} &= -R_2 i_{2q} - (\omega_x - \omega) \psi_{2d} \end{aligned} \right\}, \quad (1.11)$$

$$T_M \frac{d\omega}{dt} = [M_{em} - M_l], \quad (1.12)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{1d} &= (X_2 \psi_{1d} - X_{ad} \psi_{2d}) / \text{del} \\ i_{1q} &= (X_2 \psi_{1q} - X_{ad} \psi_{2q}) / \text{del} \\ i_{2d} &= (X_1 \psi_{2d} - X_{ad} \psi_{1q}) / \text{del} \\ i_{2q} &= (X_1 \psi_{2q} - X_{ad} \psi_{1d}) / \text{del} \end{aligned} \right\}. \quad (1.13)$$

Šeit vienādojums (1.12) ir rotora kustības vienādojums, bet strāvu vērtības (1.13), iegūtas no plūsmu saķēdējumu izteiksmēm. Šis ADz modelis koordinātu sistēmā d, q ir izteikts plūsmas saķēdējumos, kas ļauj analizēt dzinēja autonomās darbības režīmus, kad tas strādā autonomi no bezgalīgas jaudas tīkla.

Ceturtais ADz modelis plūsmu saķēdējumiem ar rotora tinuma elektromagnētisko laika konstanti koordinātu sistēmā d, q (apzīmēsim kā **model IV**) ir attēlots ar vienādojumiem (1.14)-(1.16):

$$\left. \begin{aligned} U_d &= \frac{d\psi_{1d}}{dt} - \omega\psi_{1q} + R_1 i_d \\ U_q &= \frac{d\psi_{1q}}{dt} + \omega\psi_{1d} + R_1 i_q \\ 0 &= -\frac{d\psi_{2d}}{dt} - \frac{\psi_{1d}}{T_r} - \frac{X_{ad}}{T_r} i_d + \psi_{2q}(\omega_x - \omega) \\ 0 &= -\frac{d\psi_{2q}}{dt} - \frac{\psi_{1q}}{T_r} + \frac{X_{ad}}{T_r} i_q - \psi_{2d}(\omega_x - \omega) \end{aligned} \right\}, \quad (1.14)$$

$$T_M \frac{d\omega}{dt} = M_{em} - M_l, \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} i_{1d} &= (X_2 \cdot \psi_{1d} - X_{ad}\psi_{2d}) / (X_1 \cdot X_2 - X_{ad}^2) \\ i_{1q} &= (X_2 \cdot \psi_{1q} - X_{ad}\psi_{2q}) / (X_1 \cdot X_2 - X_{ad}^2) \\ i_{2d} &= (X_1 \cdot \psi_{2d} - X_{ad}\psi_{1d}) / (X_1 \cdot X_2 - X_{ad}^2) \\ i_{2q} &= (X_1 \cdot \psi_{2q} - X_{ad}\psi_{1q}) / (X_1 \cdot X_2 - X_{ad}^2), \end{aligned} \quad (1.16)$$

kur $T_r = \frac{X_2}{R_2}$ - rotora tinuma elektromagnētiskā laika konstante.

Šis ADz modelis ir izteikts plūsmas saķēdējumos ar rotora tinuma elektromagnētisko laika konstanti. Šāds modelis ļauj analizēt dzinēja parametru maiņu izskrejas režīmā, lai noskaidrotu, kāda ir atkarība no rotora tinuma laika elektromagnētiskās konstantes.

Izmantojot izstrādātos četrus ADz modeļus (**model I, model II, model III, model IV**), rodas iespēja modelēt virkni dinamisko darbības režīmu.

2. AR PĀRSLĒGŠANAS PROCESIEM NESAIŠTĪTO ASINHRONĀ DZINĒJA DINAMISKO DARBĪBAS REŽĪMU MODELĒŠANA

Otrajā darba daļā tiek modelēti un pētīti sekojoši ADz dinamiskie darbības režīmi: tiešā palaide, palaide, ņemot vērā strāvas izspiešanu rievā, un ADz darbība barošanas sprieguma nesimetrijas gadījumā, precīzāk, ADz darbība vienas fāzes pārrāvuma gadījumā.

2.1. ASINHRONĀ DZINĒJA TIEŠĀ PALAIDE

4A90L2Y3 tipa ADz palaišanas režīma matemātiskā modelēšana saskaņā ar darba 1. nodaļā dotajiem matemātiskajiem modeļiem parādīja, ka neatkarīgi no koordinātu sistēmas izvēles un no tā vai ADz matemātiskais modelis tiek atrisināts attiecībā pret strāvām, plūsmu saķēdējumiem vai plūsmu saķēdējumiem ar rotora tinuma elektromagnētisko laika konstanti, modelēšanas rezultāti ir identiski un pilnībā atbilst īstenībai, jo strāvu, griešanās frekvences un elektromagnētiskā momenta vērtības, kas iegūtas, izmantojot četrus modeļus, vienā un tajā pašā laika momentā sakrīt, tātad ADz dinamisko darbības režīmu modelēšanai var izmantot jebkuru no tiem.

Izmantojot darba 1. nodaļā dotos ADz modeļus, rodas iespēja modelēt palaišanas režīmu jebkuras jaudas ADz, ar dažādiem slodzes raksturlielumiem un dažādiem pretestības momentiem, kā arī modelēt virkni citu ADz dinamisko darbības režīmu.

2.2. ASINHRONĀ DZINĒJA TIEŠĀ PALAIDE, ŅEMOT VĒRĀ STRĀVAS IZSPIEŠANU RIEVĀ

Izmantojot ADz matemātisko modeli *model I*, tika modelēts palaišanas režīms, ņemot vērā strāvas izspiešanu rievā. Iegūtie modelēšanas rezultāti tika salīdzināti ar raksturlielumiem, kas tika iegūti neņemot vērā strāvas izspiešanu rievā.

ADz strāvas raksturlielumu salīdzinājums parādīja, ka gadījumā, kad tiek ņemta vērā strāvas izspiešana rievā, ADz palaišanas strāvas pirmais un otrais lēcieni sakrīt ar pirmo un otro palaišanas strāvas lēcieni, ja netika ņemta vērā strāvas izspiešana rievā, bet trešās palaišanas strāvas lēciena vērtība ir ievērojami mazāka, nekā palaišanai, kur netika ņemta vērā strāvas izspiešana. Kopumā palaišanas strāvas raksturlielumam, kurā ņemta vērā strāvas izspiešana rievā, ir ātrāks risināšanas raksturs, nekā raksturlielumam, kas iegūts, ja netika ņemta vērā strāvas izspiešana. Bet stacionārajā režīmā raksturlielumi pilnībā sakrīt.

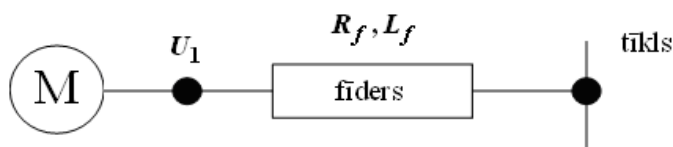
No ADz griešanās frekvences palaišanas raksturlieluma tika secināts, ka, ADz palaižot, ja ņem vērā strāvas izspiešanu rievā, tas ātrāk iziet uz stacionāro režīmu nekā, ja palaišana notiek, neņemot vērā strāvas izspiešanu rievā.

Elektromagnētiskā momenta raksturlielumu salīdzināšana parādīja, ka gadījumā, kad palaišana tiek modelēta, ņemot vērā strāvas izspiešanu rievā, momenta pirmais lēcienis būtiski pārsniedz vērtību, kas iegūta, modelējot ADz palaišanu, neņemot vērā strāvas izspiešanu rievā.

Tātad veiktais pētījums parādīja, ka strāvas izspiešanas rievā uzskaitē ietekmē ADz strāvas, griešanās frekvences un elektromagnētiskā momenta palaišanas raksturlielumus, bet neietekmē stacionāro režīmu.

2.3. ASINHRONĀ DZINĒJA DARBĪBA SPRIEGUMA NESIMETRIJAS GADĪJUMĀ MODELEŠANAS METODE

Lai modelētu barošanas sprieguma nesimetriju, tiek piedāvāts nesimetrijas nosacījumus noteikt, izmantojot trīsfāžu fīdera, kas savieno ADz ar bezgalīgi lielas jaudas tīklu, parametrus, kas ļauj imitēt nesimetriskus bojājumus uz ADz izvadiem (2.1.att.).



2.1.att. Modeļa shēma

Lai modelētu barošanas sprieguma nesimetriju, tika izmantots ADz matemātiskais modelis *model II*.

Sākotnējos statiskās aktīvās – induktīvās slodzes (2.1.b att.) vienādojumus fāžu koordinātēs var izteikt sekojoši:

$$\begin{pmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_a & 0 & 0 \\ 0 & L_b & 0 \\ 0 & 0 & L_c \end{pmatrix} \times \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

kur $U_{a,b,c}$ – fāžu spriegumi;

$i_{a,b,c}$ – fāžu strāvas;

$R_{a,b,c}$ – fāžu aktīvās pretestības;

$L_{a,b,c}$ – fāžu induktivitātes.

Pēc virknes matemātisku pārveidojumu spriegumu uz ADz spailēm (statora tinumi) var izteikt kā tīkla sprieguma un sprieguma krituma uz aktīvi-induktīvās pretestības starpību, bet, tā kā statora tinumu savienojumam nav neitrāles, tad vienādojumu sistēma, ar kuru modelēt ADz barošanas nesimetriju, iegūst sekojošu veidu:

$$\begin{vmatrix} U_d \\ U_q \end{vmatrix} = |R| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} + |L| \times \frac{d}{dt} \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} + |X| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix}. \quad (2.2)$$

Ņemot vērā, ka ADz un aktīvi – induktīvās pretestības strāvas un strāvu atvasinājumi ir vienādi, tad vienādojumā (2.2) var ievietot ADz statora strāvu matricu izteiksmes.

Tad statoru strāvu vienādojumus var pierakstīt sekojošā veidā:

$$\frac{d}{dt} \begin{vmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Q_1 & 0 \\ 0 & Q_2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} H_1 \\ H_2 \end{vmatrix}, \quad (2.3)$$

$$\begin{vmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U_{dtikls} \\ U_{qtikls} \end{vmatrix} - \left\{ |R| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} + |L| \times \left[\begin{vmatrix} Q_1 & 0 \\ 0 & Q_2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} H_1 \\ H_2 \end{vmatrix} \right] + |X| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} \right\}, \quad (2.4)$$

$$\text{kur } \begin{vmatrix} H_1 \\ H_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \end{vmatrix}, \quad Q_1 = Q_2 = \frac{1}{X'_d}, \quad a_{11} = -\frac{R_1}{X'_d}, \quad a_{12} = \left(\omega_x + \frac{X_{ad}^2 \omega}{X_2 X'_d} \right),$$

$$a_{21} = -\left(\omega_x + \frac{X_{ad}^2 \omega}{X_2 X'_d} \right), \quad a_{22} = -\frac{R_1}{X'_d}.$$

Atrisinot (2.4) attiecībā pret $\begin{vmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \end{vmatrix}$, iegūsim:

$$\left\{ \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} + |L| \times |Q| \right\} \times \begin{vmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U_{dtikls} \\ U_{qtikls} \end{vmatrix} - |R| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} - |L| \times |H| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix}$$

Rezultējošais spriegums uz ADz:

$$\begin{vmatrix} U_{1d} \\ U_{1q} \end{vmatrix} = \left\{ \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} + |L| \times |Q| \right\}^{-1} \times \left\{ \begin{vmatrix} U_{dtikls} \\ U_{qtikls} \end{vmatrix} - |R| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} - |L| \times |H| \times \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} \right\} \quad (2.5)$$

Tādā veidā nosakot R_a, R_b, R_c ; X_a, X_b, X_c vērtības, rodas iespēja imitēt nesimetrisku asinhronā dzinēja barošanu, izmantojot parasto simetrisko ADz modeli.

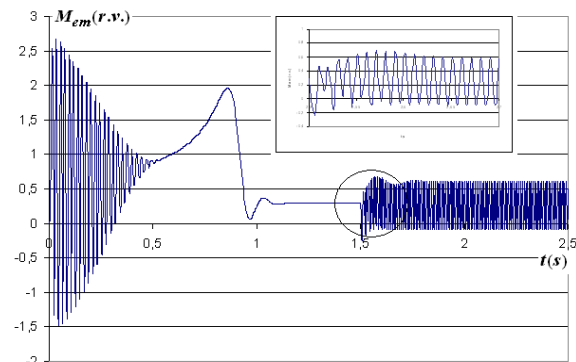
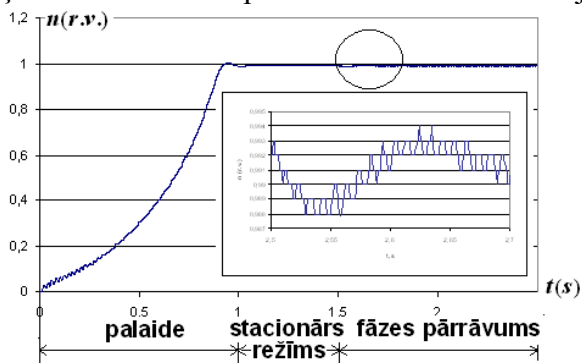
2.3.1. ASINHRONĀ DZINĒJA DARBĪBA VIENAS FĀZES PĀRRĀVUMA GADĪJUMĀ

Nosakot aktīvi – induktīvo pretestību vērtības (2.1.b att.), var imitēt ADz darbības režīmu vienas fāzes pārrāvuma gadījumā, izmantojot parasto simetrisko ADz modeli koordinātu sistēmā d, q - **model II**.

Kā modelēšanas objekts tika izmantots ADz ar sekojošiem parametriem (relatīvās vienībās): $P_{2N} = 250$ kW; $R_1 = 0,013$; $R_2' = 0,011$; $X_1 = 0,091$; $X_2' = 0,1$; $X_{ad} = 5,7$.

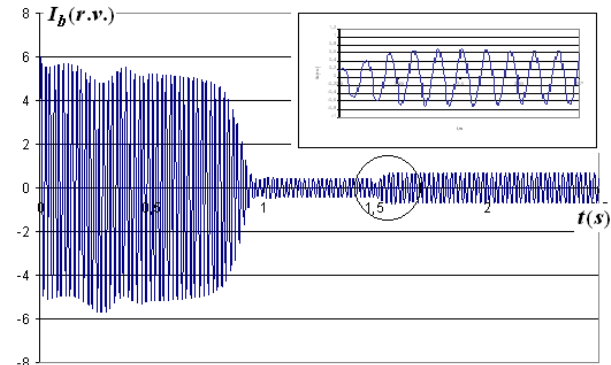
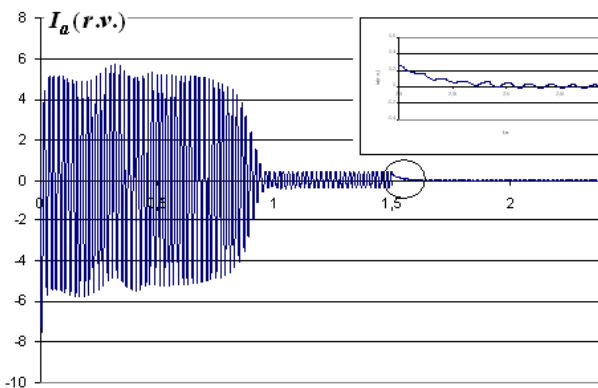
Sākotnēji notiek ADz palaide, pēc ieskrējiena dzinējs kādu brīdi darbojas stacionārajā režīmā, pēc tam notiek A fāzes pārrāvums.

Griešanās ātruma, elektromagnētiskā momenta izmaiņu grafiki, gadījumā, kad statora ķēdes vienas fāzes pārrāvums ir noticis dzinēja darbības laikā, ir doti 2.2 un 2.3 attēlā.



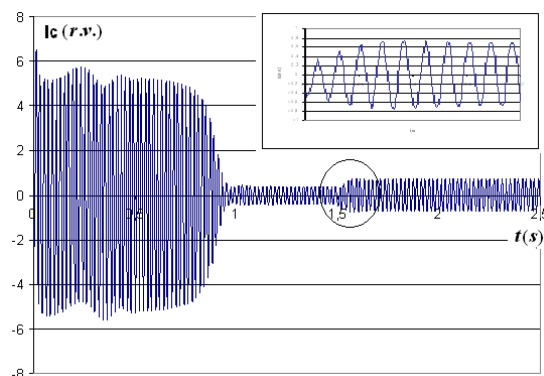
2.2.att. ADz griešanās ātruma izmaiņu grafiks A fāzes pārrāvuma gadījumā

2.3.att. ADz elektromagnētiskā momenta izmaiņu grafiks A fāzes pārrāvuma gadījumā



2.4.att. Strāvas izmaiņu A fāzē grafiks ADz A fāzes pārrāvuma gadījumā

2.5.att. Strāvas izmaiņu B fāzē grafiks ADz A fāzes pārrāvuma gadījumā



2.6.att. Strāvas izmaiņu C fāzē grafiks ADz A fāzes pārrāvuma gadījumā

No ADz griešanās frekvences izmaiņu grafika (2.2. att.) redzams, ka, tā kā maksimālais moments, ko attīsta ADz, ir lielāks par pretestības momentu, tad dzinējs neapstājas, bet turpina griezties.

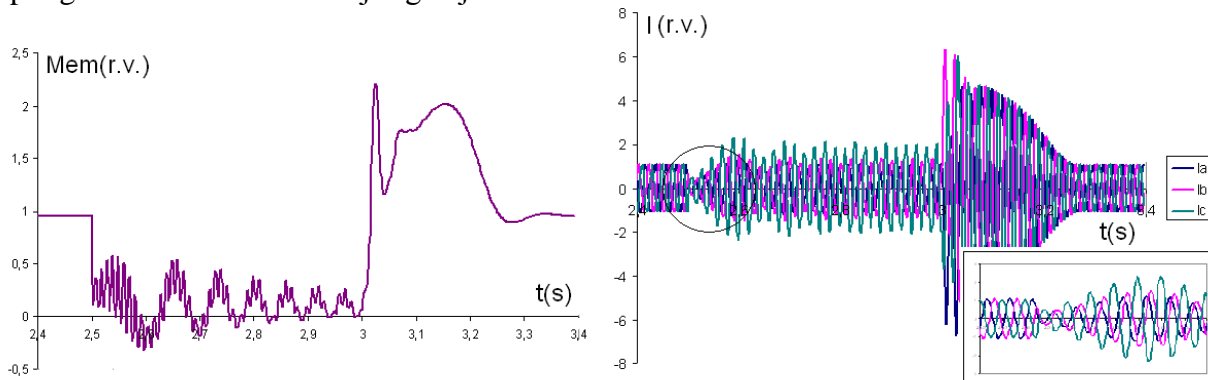
Aplūkojot strāvu grafikus pa fāzēm (2.4-2.6 att.), skaidri redzams, ka A fāzē strāva vienāda ar nulli, bet divās citās fāzēs (B un C) strāvas palielinās par 50%, kas apstiprina teoriju. Tādā veidā izstrādātais modelis tiešām ļauj modelēt ADz darbības režīmus nesimetriska sprieguma gadījumā.

2.3.2. ASINHRONĀ DZINĒJA DARBĪBA BAROŠANAS SPRIEGUMA NESIMETRIJAS GADĪJUMĀ

Nosakot aktīvi-induktīvo pretestību vērtības (2.1. att.), tika imitēta ADz divfāžu nesimetriskā barošana.

Lai modelētu ADz darbību divfāžu nesimetrijas gadījumā, tika izmantots ADz ar sekojošiem parametriem (relatīvās vienībās): $P_{2Nom} = 250$ kW; $R_1 = 0,013$; $R_2' = 0,011$; $X_1 = 0,091$; $X_2' = 0,1$; $X_{ad} = 5,7$.

Elektromagnētiskā momenta un strāvu (pa fāzēm) izmaiņu grafiki īslaicīgas barošanas sprieguma divfāžu nesimetrijas gadījumā ir doti 2.7 un 2.8 attēlā.



2.7.att. ADz elektromagnētiskā momenta izmaiņu grafiks

2.8.att. ADz strāvu izmaiņu grafiks

No grafikiem, kas iegūti, modelējot ADz barošanas divfāžu nesimetriju, var secināt, ka dzinēja rotējošais elektromagnētiskais moments ir proporcionāls strāvai un magnētiskajai plūsmai. Samazinot spriegumu, mašīnas magnētiskā plūsma samazinās, kā rezultātā samazinās arī dzinēja griezes moments. Tā kā darba mašīnas pretestības moments kļūst lielāks par dzinēja momentu, notiek bremzēšanās, rotora griešanās ātrums samazinās. Vienlaikus strāva rotorā un statorā pieaug līdz tādām lielumiem, pie kura atjaunojas zaudētais līdzsvars. Tādā veidā, neskatoties uz sprieguma pazemināšanos, dzinēja strāva pieaug.

3. AR PĀRSLĒGŠANAS PROCESIEM SAISTĪTO ASINHRONĀ DZINĒJA DINAMISKO DARBĪBAS REŽĪMU MODELĒŠANA

Trešajā darba daļā tiek modelēti un pētīti sekojoši ADz dinamiskie darbības režīmi: izskreja, pārslēgšana un pašpalaide.

3.1. IZSKREJAS REŽĪMA MODELĒŠANA

3.1.1. ASINHRONĀ DZINĒJA ELEKTRODZINĒJSPĒKS BRĪVĀS IZSKREJAS GADĪJUMĀ

Lai iegūtu ADz paliekošā sprieguma raksturlielumus pēc tā atslēgšanas, tika izmantots ADz matemātiskais modelis *model I* un modelēts ADz palāides režīms. Lai modelētu ADz izskrejas režīmu, brīdī, kad ADz tiek atslēgts no tīkla, apzīmēsim parametrus kā

$$\psi_{2\alpha 0}; \psi_{2\beta 0}; \omega_0; i_{2\alpha 0}; i_{2\beta 0}.$$

Bet, pēc ADz atslēgšanas no tīkla, apzīmēsim parametrus kā

$$\psi_{2\alpha 1}; \psi_{2\beta 1}; \omega_1; i_{2\alpha 1}; i_{2\beta 1}.$$

ADz atslēgšanas brīdī no tīkla, statora strāva kļūst vienāda ar nulli:

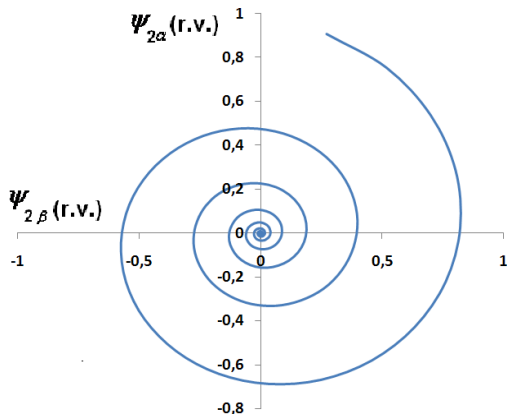
$$i_{1\alpha 1} = 0; i_{1\beta 1} = 0. \quad (3.1)$$

Tādā viedā izskrejas procesā ADz uzvedību nosaka sekojoša diferenciālvienādojumu sistēma:

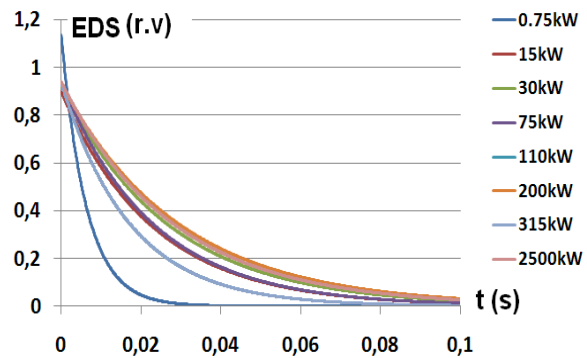
$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{2\alpha 1}}{d\tau} &= -R_2 \cdot i_{2\alpha 1} + \omega \psi_{2\beta 1} \\ \frac{d\psi_{2\beta 1}}{d\tau} &= -R_2 \cdot i_{2\beta 1} + \omega \psi_{2\alpha 1} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

$$\frac{d\omega}{d\tau} = (M_{em} - M_l) / T_M. \quad (3.3)$$

3.1. attēlā ir parādīts ADz paliekošā sprieguma hodogrāfs, brīdī, kad tas tiek atslēgts no tīkla.



3.1. att. Rotorā sprieguma hodogrāfs



3.2. att. Asinhrono dzinēju (ar jaudu 0,75-2500 kW) paliekošā sprieguma raksturlielumi

Izmantojot ADz matemātisko modeli **model I**, tika modelēts izkrejas režīms astoņiem ADz ar jaudas diapazonu no 0,75 kW līdz 2500 kW. 3.2. attēlā ir sniegti paliekošā sprieguma rimšanas raksturlielumi visiem šiem dzinējiem.

Modelēšana parādīja, ka paliekošā sprieguma rimšanas process statora tinumā ir tieši atkarīgs no ADz jaudas, kā arī, to, ka laika sprīdī, kas vienāds ar 0,005 s paliekošā sprieguma vērtība ir tuva tīkla sprieguma vērtībai. Šī paliekošā sprieguma vērtības esamība ADz atkārtotas ieslēgšanas gadījumā pilnā tīkla spriegumā var izraisīt būtiskus paša dzinēja bojājumus un, precīzāk, radīt ievērojamas tinuma termiskās pārslodzes, kā rezultātā var notikt priekšlaicīga izolācijas novecošanās, tās bojājums, un rezultātā var notikt starpvijumu išslēgums.

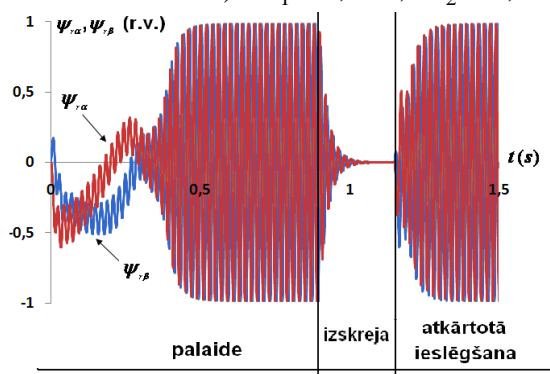
3.1.2. GRIEŠANĀS FREKVENCE ASINHRONĀ DZINĒJA BRĪVĀS IZSKREJAS GADĪJUMĀ

Lai matemātiski modelētu ADz griešanās frekvences raksturlielumus brīvas izskrejas režīmā, var izmantot vienādojumus no iepriekšējās nodaļas, t.i. vienādojumus (3.2)-(3.3), bet iepriekš jāmodelē ADz palaides režīms, izmantojot ADz modeli **model I**. Veiktās

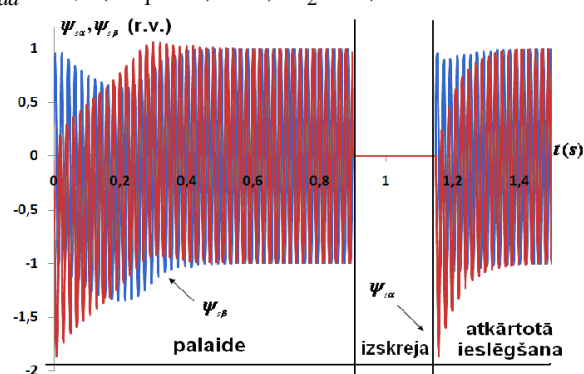
modelēšanas rezultātā tika iegūti ADz griešanās frekvences raksturlielumi izskrejas režīmam: ar statistisko momentu un dažādiem noslodzes koeficientiem, ar statistisko momentu proporcionālu griešanās frekvencei kvadrātā un dažādiem noslodzes koeficientiem, kā arī griešanās frekvences izmaiņu raksturlielumi dažādas jaudas ADz, kuriem ir vienāds statistiskais moments.

3.1.3. CITI PROCESI, KAS NORIS ASIHNRONĀ DZINĒJA BRĪVĀS IZSKREJAS GADĪJUMĀ

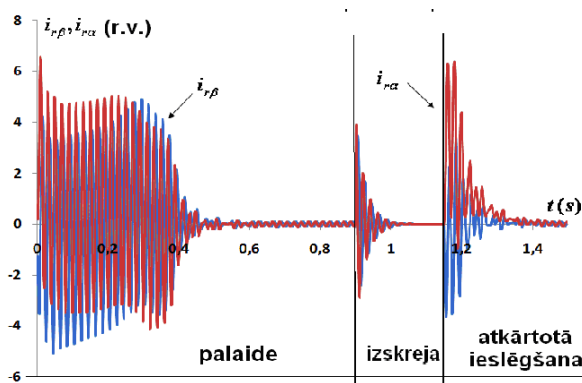
Izmantojot ADz matemātisko modeli *model I* un vienādojumus (3.2) –(3.3) tika modelēti ADz palaides, izskrejas un atkārtotas ieslēgšanas režīms ar sekojošiem parametriem (relatīvās vienībās): $X_1 = 5,799$, $X_2 = 5,84$, $X_{ad} = 5,7$, $R_1 = 0,012$, $R_2 = 0,027$.



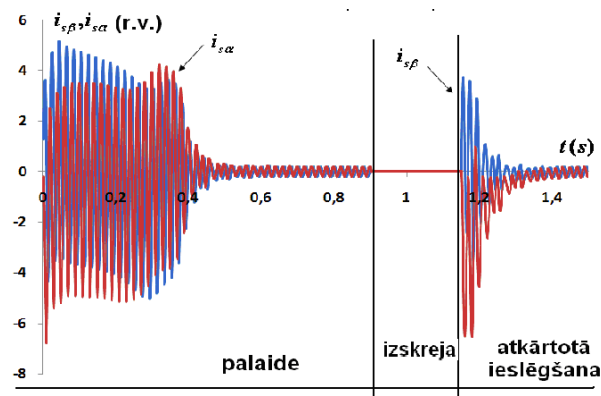
3.3.att. Rotora plūsmas saķēdējumu izmaiņu raksturlielumi ADz palaides, izskrejas un atkārtotas ieslēgšanas gadījumā



3.4.att. Statora plūsmas saķēdējumu izmaiņu raksturlielumi ADz palaides, izskrejas un atkārtotas ieslēgšanas gadījumā



3.5.att. Rotora strāvu izmaiņu raksturlielumi ADz palaides, izskrejas un atkārtotas ieslēgšanas gadījumā



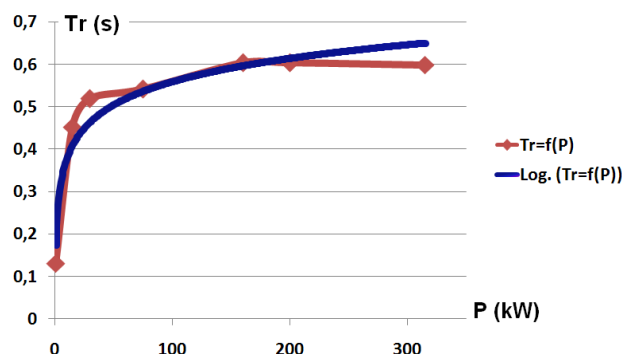
3.6.att. Statora strāvu izmaiņu raksturlielumi ADz palaides, izskrejas un atkārtotas ieslēgšanas gadījumā

Pētot izskrejas režīmu, izrādījās, ka rotora ķēdē ADz atslēgšanas (no barošanas avota) brīdī rotora strāva mainās lēcienveidīgi (3.5 att.) atšķirībā no strāvas statora ķēdē, kurā tā krīt līdz nullei (3.6 att.). Rotora plūsmas saķēdējumiem ADz atslēgšanas (no barošanas avota) brīdī piemīt rimstošs (laikā) raksturs, bet statora plūsmas saķēdējumi nokrīt līdz nulles vērtībai (3.3. un 3.4. att.) uzreiz.

Tā kā izskrejas procesa laikā ADz atslēgšanas (no barošanas avota) brīdī rotora strāva rotora ķēdē strauji pieaug, tad, šo strāvu izmaiņu dēļ, inducējas EDS, kura fāze un vērtība kopā ar tīkla spriegumu var negatīvi ietekmēt ADz, ja to ātri ieslēdz atkārtoti.

3.1.4. ROTORA TINUMA ELEKTROMAGNĒTISKĀS LAIKA KONSTANTES IETEKME UZ PALIEKOŠĀ SPRIEGUMA RIMŠANAS RAKSTURLIELUMU

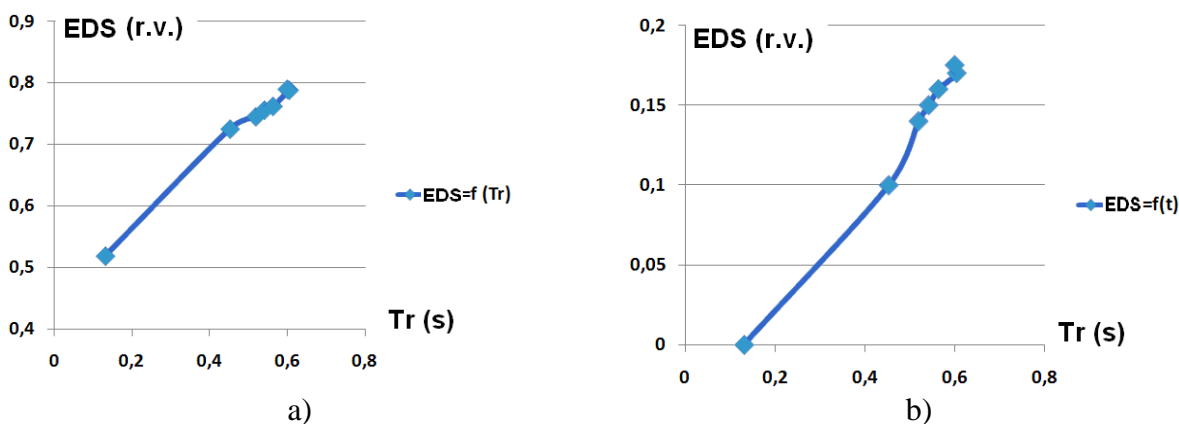
ADz paliekošā sprieguma rimšanas raksturlielumi ar dažādām rotora tinuma elektromagnētiskajām laika konstantēm ir doti 3.2. attēlā. Modelēšana parādīja, ka paliekošā sprieguma rimšanas process statora tinumā ir atkarīgs no ADz jaudas. 3.7. attēlā ir konstruēta līkne, kas parāda rotora tinuma elektromagnētiskās laika konstanti kā funkciju no ADz jaudas.



3.7. att. Rotora tinuma elektromagnētiskā laika konstantes vērtība atkarībā no ADz jaudas

Tā ADz ar jaudu 0,75 kW rotora tinuma elektromagnētiskā laika konstante ir $T_r = 0,131$ s, bet dzinējam ar jaudu 2500 kW rotora laika konstante ir $T_r = 0,688$ s. No iegūtajiem paliekošā sprieguma raksturlielumiem (3.2. att.), redzams, ka ADz EDS rimšana notiek diezgan ātri un, sasniedzot laiku 0,1 s, paliekošā sprieguma vērtība praktiski ir vienāda ar nulli.

Turpmāk darbā parādīts, kā ADz EDS vērtības ir atkarīgas no rotora tinuma elektromagnētiskās laika konstantes. Aplūkoti divi gadījumi. Pirmajā gadījumā funkcija $EDS = f(Tr)$, ja atkārtota ieslēgšana notiek pēc $t = 0,005$ s (3.8.a att.). Otrajā gadījumā funkcija $EDS = f(Tr)$, ja atkārtota ieslēgšana notiek pēc $t = 0,05$ s (3.8. b att.).



3.8. att. Paliekošais spriegums atkarībā no rotora tinuma elektromagnētiskās laika konstantes: a) pēc 0,005s; b) pēc 0,05s

Izanalizējot iegūtos grafikus (3.8.a un 3.8.b att.), var secināt, ka ADz ar nelielu rotora tinuma elektromagnētisko laika konstanti paliekošā sprieguma rimšana notiek ātrāk nekā

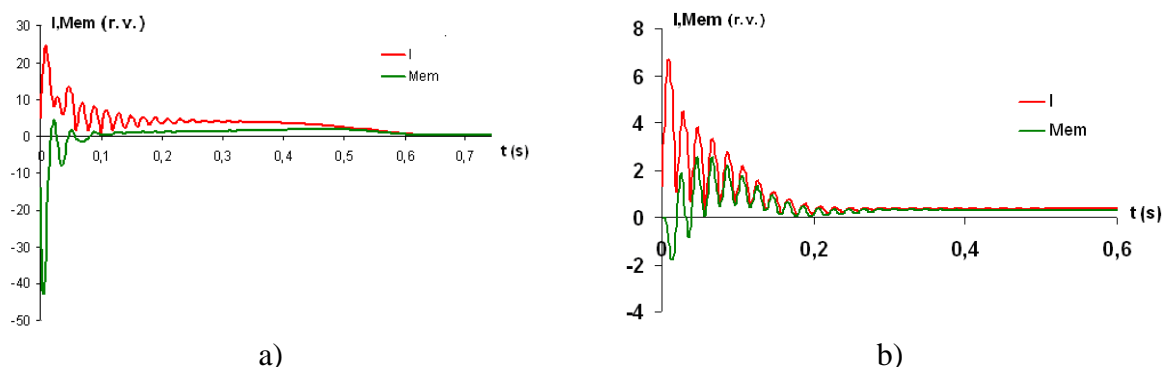
dzinējiem ar lielu rotora tinuma elektromagnētisko laika konstanti. Iegūtie grafiki, zinot ADz rotora tinuma elektromagnētisko laika konstanti, sniedz iespēju noteikt paliekošā EDS vērtību konkrētam atkārtotas ieslēgšanas laikam. Lai novērstu daudzos aprēķinus, šādus $EDS = f(Tr)$ grafikus var izveidot dažādām atkārtotas ieslēgšanas laika vērtībām.

3.2. ASIHNRONĀ DZINĒJA PĀRSLĒGŠANAS REŽĪMU MODELĒŠANA

3.2.1. PALAIŠANA AR ZVAIGZNES – TRĪSSTŪRA PĀRSLĒGU

Lai modelētu un analizētu ADz palaidi, pārslēdzot statora tinumu no zvaigznes uz trīsstūra slēgumu, tika izmantots ADz matemātiskais modelis –*model II*.

Palaižot ADz, pārslēdzot statora tinumu no zvaigznes uz trīsstūri, notiek barošanas avota atslēgšana uz īsu brīdi, kura rezultātā mehānisma pretestības momenta iedarbībā samazinās elektrodzinēja griešanās frekvence, kā arī dzinējs, kas atslēgts no barošanas avota, izskreija rada paliekošo EDS statora tinumā. Veiktā analīze parādīja, ka ātra pārslēgšana no zvaigznes uz trīsstūri nelabvēlīgas ieslēgšanas fāzes gadījumā (pretfāzes gadījumā) var izraisīt strāvas lēcieni, kas vairākas reizes pārsniedz tās nominālvērtību. Tā ieslēdzot ADz statora tinumu trīsstūrī nelabvēlīgas ieslēgšanas fāzes gadījumā (3.9.a att.), strāvas lēcieni pārsniedza nominālo 25 reizes, bet labvēlīgas ieslēgšanas fāzes gadījumā (3.9.b att.), strāvas lēcieni nepārsniedza parasto ADz ieslēgšanas strāvu.



3.9. att. Strāvas un elektromagnētiskā momenta izmaiņu raksturlielumi:
a) nelabvēlīga ieslēgšanas fāze; b) labvēlīga ieslēgšanas fāze

Tādā veidā var veikt drošas ADz palaides analīzi, pārslēdzot no zvaigznes uz trīsstūri, izmantojot ātrdarbīgu automātiku.

3.2.2. PĒTĪJUMS PAR ASIHNRONĀS MAŠĪNAS PALIEKOŠĀ LAUKA IETEKMI UZ ELEKTROMAGNĒTISKAJIEM PROCESIEM ĀTRĀS PĀRSLĒGŠANAS GADĪJUMĀ

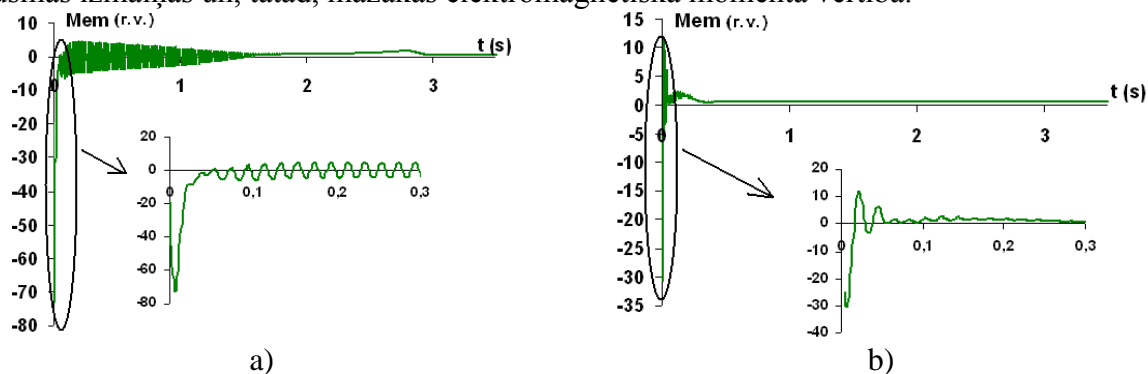
Lai modelētu elektromagnētiskos pārejas procesus tika izmantots ADz matemātiskais modelis *model II*.

Pētījumi parādīja, ka pēc ADz atslēgšanas no barošanas avota, rotors turpina griezties. Tādēļ rimstošais lauks novada uz statora spailēm elektrodzinējuspēkus, kas tāpat rimst laikā.

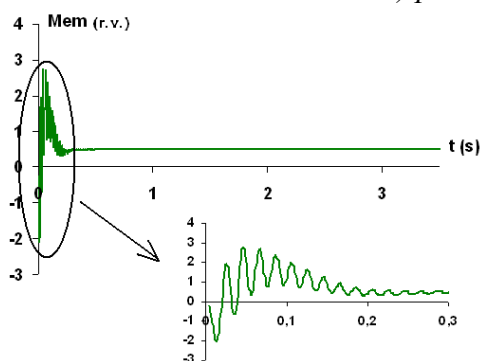
Lai izvērtētu nerimstošā lauka ietekmi, tika analizēta elektrodzinējuspēku ietekme uz elektromagnētiskajiem pārejas procesiem. Tādēļ tika aplūkota tīkla sprieguma ieslēgšanas fāzes ietekme uz elektromagnētiskajiem pārejas procesiem.

Pēc ADz atslēgšanas tīkla sprieguma vektors visu laiku turpina griezties ar pastāvīgu sinhronu ātrumu. Tādēļ atkarībā no komutācijas intervāla ilguma (bezstrāvas pauzes) tīkla un

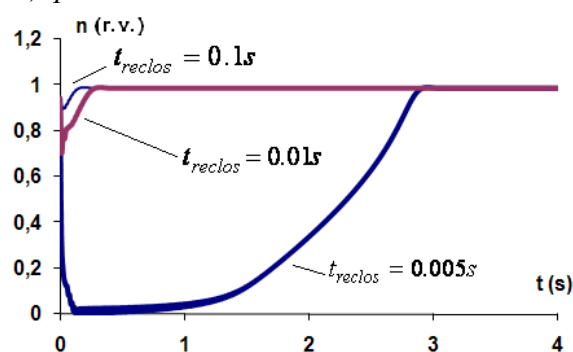
paliekošā sprieguma (uz ADz izvadiem) vektori atkārtotās ieslēgšanas brīdī var ieņemt telpā visdažādākos savstarpējos stāvokļus, bet pēc dzinēja ieslēgšanas tie vienmēr nostājas stāvoklī, kas atbilst stacionārajam režīmam ar noteikto rotora ātrumu. Jo mazāk atkārtotās ieslēgšanas brīdī to savstarpējais stāvoklis atšķiras no stacionārā, jo mazākas ir dzinēja magnētiskās plūsmas izmaiņas un, tātad, mazākas elektromagnētiskā momenta vērtība.



3.10.att. Elektromagnētiskā momenta izmaiņu grafiks ADz atkārtotas ieslēgšanas gadījumā: a) pēc 0,005s; b) pēc 0,01s



3.11.att. Elektromagnētiskā momenta izmaiņu grafiks ADz atkārtotas ieslēgšanas gadījumā pēc 0,1s



3.12.att. ADz rotora griešanās izmaiņu grafiks atkārtotas ieslēgšanas gadījumā

Attēlotie grafiki (3.10. un 3.11. att.) ataino momenta izmaiņu raksturu, atkārtoti ieslēdzot dzinēju. Pētījumi parāda, ka rotora ātruma izmaiņas atkārtotās ieslēgšanas procesā (3.12. att.) ietekmē tikai pirmo pārejas momenta lēcianu. Tas skaidri redzams 3.10.a. attēlā. Jo mazāka piedziņas inerce un lielāks tās paātrinājums atkārtotās ieslēgšanas procesā, jo mazākas ir pirmā un nākamo maksimumu pārejas momenta amplitūdas un to skaits.

Negatīva pārejas momenta rašanos atkārtotās ieslēgšanas gadījumā var izskaidrot ar to, ka pa komutējošā aparāta pārslēgšanas laiku rotora rimstošās plūsmas vektori un tīkla spriegumi paspēj būtiski izmainīt savu savstarpējo stāvokli. Šī bremzējošā momenta ietekmē notiek ievērojama dzinēja ātruma samazināšanās, bet pēc momenta zīmes maiņas rodas tāds pats pārejas process, kā pēdējā palaišanas posmā.

3.3. ASIHNRONĀ DZINĒJA PAŠPALAIDES REŽĪMA MODELĒŠANA

3.3.1. PAŠPALAIDE DZIĻAS SPRIEGUMA PAZEMINĀŠANAS GADĪJUMĀ

Par pašpalaidi parasti sauc elektropiedziņas normālas darbības atjaunošanu bez personāla iejaukšanās, ja ir bijis īslaicīgs elektroapgādes pārtraukums vai dziļš sprieguma kritums. Tiek uzskatīts, ka pašpalaišana ir nodrošināta, ja pēc sprieguma atjaunošanas agregāts

ir ieskrējies līdz normālam leņķiskajam ātrumam un turpina ilglaicīgi strādāt ar normālu iedarbināmā mehānisma ražīgumu un elektrodzinēja slodzi.

Lai modelētu procesus palaide – sprieguma pazemināšana - ADz pašpalaide, tika izmantots ADz modelis - *model II*. Tādā veidā tika novērtēts process, kura laikā neatslēdzamie elektrodzinēji, atjaunojoties elektropadevei, ir spējīgi attīstīt ātrumu līdz nominālajai griešanās frekvencei.

Izanalizējot virkni matemātiskās modelēšanas rezultātā iegūto grafiku, tika noskaidrots, kā sprieguma samazināšanās laiks ietekmē ADz griešanās ātruma samazināšanos atkarībā no pretestības momenta, ar kuru darbojas dzinējs.

Īsslēguma gadījumā, kā zināms, dzinējs baro īsslēguma vietu ar strāvu. Šī strāva rada bremsēšanas momentu un tādēļ dzinēja griešanās frekvence īsslēguma laikā ātri mainās.

Detalizēti izanalizējot iegūtos rezultātus, tika izdarīti šādi secinājumi:

- sprieguma pazeminājuma ilgums neietekmē elektromagnētiskā momenta vērtību sprieguma pazeminājuma brīdī;
- sprieguma pazeminājuma ilgums neietekmē strāvas vērtību sprieguma pazeminājuma brīdī;
- sprieguma pazeminājuma ilgums ietekmē strāvas vērtību sprieguma atjaunošanas brīdī, t.i., jo īsāks ir sprieguma samazinājuma brīdis, jo mazāka ir strāvas vērtība sprieguma atjaunošanas brīdī un otrādi, jo lielāks ir sprieguma samazinājuma laiks, jo lielāka ir strāvas vērtība sprieguma atjaunošanas brīdī;
- aplūkojot variantus, kad ADz darbojas ar statisko momentu proporcionālu griešanās frekvencei kvadrātā ($M_l = var$) un ar statisko momentu, kurš nav atkarīgs no griešanās frekvences ($M_l = const$), var secināt, ka ADz, kas darbojas ar $M_l = const$, pāriet ģenerators režīmā pie augstākas sprieguma krituma vērtības, atšķirībā no ADz, kas darbojas ar $M_l = var$;
- ADz, kas darbojas ar $M_l = var$, strāvu vērtība sprieguma atjaunošanas brīdī ir lielāka nekā dzinējiem, kas darbojas ar $M_l = const$.

3.3.2. PAŠPALAIDE BAROŠANAS SPRIEGUMA ZUDUMA GADĪJUMĀ

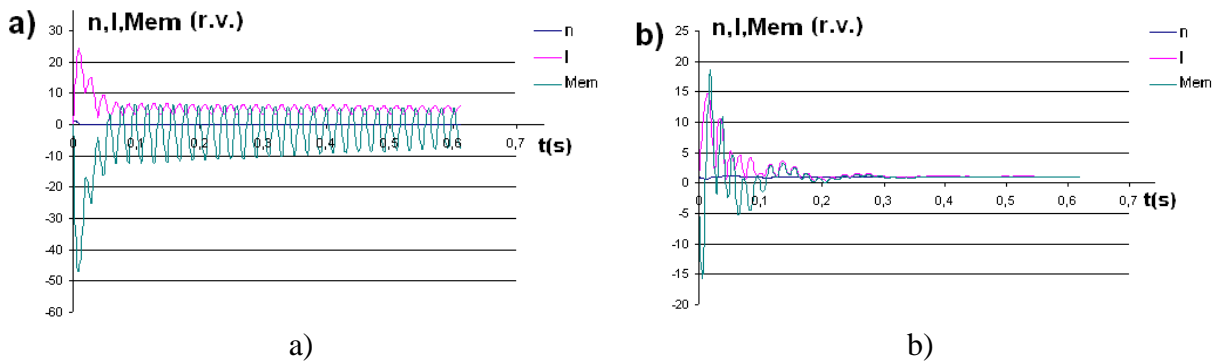
Cits gadījums ir pašpalaide pēc īslaicīga barošanas pārtraukuma, nostrādājot automātiskās rezerves ieslēgšanas (ARI) vai automātiskā atkalieslēgšana (AAI) iekārtām. Šeit pašpalaidē piedalās dzinējs, kurš, pazūdot spriegumam, atslēdzās no barošanas un tiek tai no jauna pieslēgts pēc automātikas darbības.

Lai izpētītu ADz, kas darbojas no viena barošanas avota, pašpalaides režīmu elektropadeves zuduma gadījumā, tika izmantots ADz modelis *model II*.

Matemātiskās modelēšanas rezultātā tika iegūti strāvas, griešanās frekvences un elektromagnētiskā momenta raksturlielumi ADz palaides procesā, no kuriem tika iegūti stacionārā režīma parametri. Tad tika modelēts ADz izskrejas process un iegūti griešanās frekvences, paliekošā sprieguma raksturlielumi un ADz sprieguma un strāvas hodogrāfi.

Tad tika modelēti divi varianti atkārtotai pieslēgšanai pie barošanas avota. Pirmajā gadījumā spriegums uz statora ir pretfāzē tīkla spriegumam (3.13.a att.). Šāda varianta modelēšana parādīja, ka pašpalaides process nav veiksmīgs, strāva AAI gadījumā vairākas reizes pārsniedz palaides un elektromagnētisko momentu, rada ievērojamas ADz vibrācijas. Šāda varianta rašanās praksē radīs ievērojamu dzinēja bojājumu.

Otrā gadījumā, kad spriegums uz statora pēc fāzes sakrīt ar tīkla spriegumu, atkalieslēgšana ir veiksmīga (3.13.b att.). Šeit norisinās pārejas procesi, kas identiski ADz palaides režīmā notiekošajiem.



3.13. att. ADz atkalieslēgšana: a) neveiksmīga; b) veiksmīga

Tādā veidā veiktā pašpalaišanas režīma pētījuma analīze parādīja, ka gadījumā, kad notiek īslaicīgs elektropadeves pārtraukums un pāreja uz rezerves avotu vai atjaunojot spriegumu uz barojošām kopnēm, pašpalaišanas process, ja pastāv ADz rotora lauks, var būt bīstams, ja sprieguma atjaunošana notiek pietiekami ātri, nekontrolējot tīkla fāzi vai paliekošo spriegumu ADz statorā.

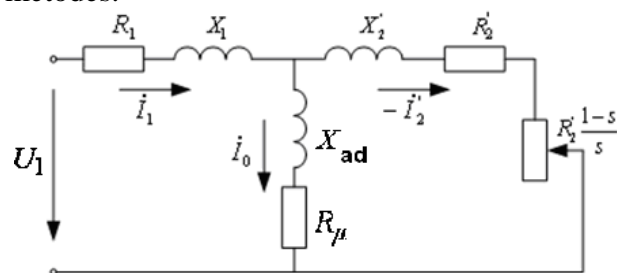
4. EKSPERIMENTS

Jebkādu ADz darbības režīmu matemātiskajai modelēšanai ir jāzina ADz aizvietošanas shēmas parametru vērtības: statora un rotora un magnetizēšanas ķēdes aktīvās un induktīvās pretestības. Jāatzīmē, ka dažādu pielietoto ražošanas tehnoloģiju un tehnoloģiskā procesa neievērošanas dēļ, dažādās izgatavotājrūpnīcās mašīnas pasas parametri var atšķirties no katalogu datiem par 10...20%. Tātad, projektējot ļoti kvalitatīvu piedziņu, izstrādātājam rodas vajadzība zināt dzinēja patiesos parametrus.

Tādēļ tika veikta katalogā sniegto ADz parametru salīdzināšana ar parametriem, kas noteikti ar izmēģinājuma un aprēķinu metodēm 4A sērijas 4A90L2Y3 tipa dzinējam.

4.1. ASIHNRONĀ DZINĒJA PARAMETRU NOTEIKŠANA APRĒĶINU CEĻĀ

Lai noteiktu ADz T-veida aizvietošanas shēmas parametrus ar aprēķinu palīdzību (4.1. att.), tika izmantotas 3 metodes.



4.1.att. T-veida ADz aizvietošanas shēma

Palaišanas procesa modelēšana ar iegūtajiem parametriem, pēc pirmās aprēķinu metodes [Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК.-СПб.: КОРОНА принт, 2003.] parādīja, ka ADz ir veiksmīgi iedarbināts un izgājis stacionārā režīmā. Tomēr palaišana ir ieilgusi.

Saskaņā ar otru aprēķinu metodi [Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока.- Мн.: Техноперспектива, 2006.], iegūtie parametri nav derīgi ADz dinamisko darbības režīmu modelēšanai. Tie derīgi tikai stacionāriem režīmiem. Šajā gadījumā ADz neiedarbojas.

Trešā asinhronā dzinēja parametru noteikšanas aprēķinu metode [И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. – Уч. Пособие для студ. Высш.учеб.заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005.], parādīja, ka ADz veiksmīgi iedarbojas un iziet stacionārajā režīmā.

Saskaņā ar trim aprēķinu metodēm iegūtie parametri ADz aizvietošanas T-veida shēmai apkopoti 4.1. tabulā.

4.1. tabula

ADz parametri, kas noteikti ar aprēķinu metodēm

Metodes numurs	$X_{\mu}(\Omega)$	$X_1(\Omega)$	$X_2(\Omega)$	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$
1	103,903	19,651	5,542	1,547	1,141
2	74,391	75,579	1,332	3,243	1,213
3	121,596	6,478	6,478	1,209	1,629

Ar dažādām metodēm veiktie ADz aizvietošanas shēmas parametru aprēķini parādīja, ka dažāda veida empīrisko formulu izmantošana nesniedz ticamas meklējamo parametru vērtības. Šādā veidā iegūtie parametri ir derīgi, tikai analizējot stacionārus režīmus un statistiskos raksturlielumus.

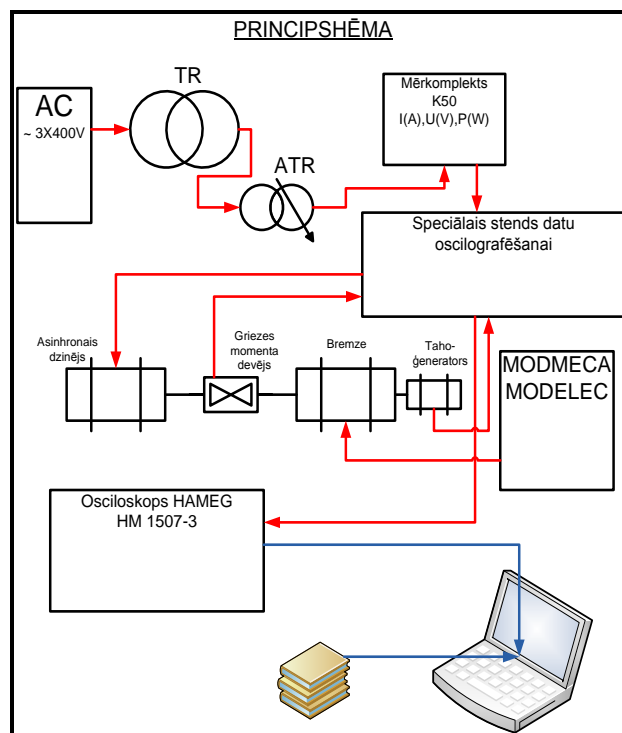
4.2. TICAMU ASINHRONĀ DZINĒJA PARAMETRU NOTEIKŠANA EKSPERIMENTĀLĀ CEĻĀ

Lai noteiktu ADz aizvietošanas shēmas parametrus eksperimentālā ceļā, tika izveidots stends, kas parādīts 4.2. attēlā.



4.2. att. Stends asinhronā dzinēja parametru noteikšanai

Principiālā shēma ADz parametru noteikšanai parādīta 4.3. attēlā.



4.3. att. Principiālā shēma asinhronā dzinēja parametru noteikšanai

Pētāmā ADz pases dati doti 4.2. tabulā.

4.2.tabula

4A90L2Y3 tipa ADz pases dati

P_2 (kW)	U_N (V)	I (A)	$\cos \varphi$	η (%)	f (Hz)	n (min^{-1})
3	220/380	6,1/10	0.88	84,5	50	2840

ADz papildus dati:

- aizsardzības klase: IP44;
- darbības režīms: S1 (ilgstošs);
- izolācijas klase: B;
- konstruktīvais izpildījums: IM 1001.

Lai noteiktu ADz aktīvās un induktīvās pretestību vērtības, balstoties uz izmēģinājumu datiem, tika veikti sekojoši trīs izmēģinājumi:

- statora tinuma aktīvās pretestības mērīšana līdzstrāvai, ko veic ar parasto vai dubulto tiltu vai izmantojot voltmetru vai ampērmetru;
- tukšgaitas mēģinājums, kas sniedz iespēju noteikt statora induktivitāti (aproximējošo vērtību), kā arī berzes zudumi un ventilācijas zudumi, ieskaitot zudumus serdē (magnētiskajā sistēmā);
- īsslēguma mēģinājums, kuru veic ar nobremzētu rotoru. To var veikt kā pie pazemināta, tā pie nominālā sprieguma. Tomēr vislabāk to veikt ar spriegumu, kas tuvs nominālajam, jo dzinēju aktīvā pretestība un izkliedes induktīvā pretestība ir atkarīga no strāvas. Ar īsslēguma eksperimenta palīdzību tiek noteiktas rotora pretestības un reaktīvo pretestību izkliedes summa statora un rotora tinumiem (kas reducēti uz statoru).

Ja mašīnas rotors ir veidots vāveres rata veidā, obligāti jāņem vērā induktīvās pretestības lielums. Ņemot vērā, ka atsevišķa statora un rotora induktīvās pretestības noteikšana saistīta ar lielām grūtībām, praksē tās parasti pieņem vienādas.

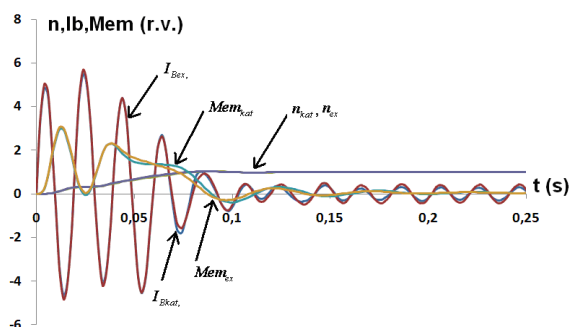
Tā ADz aizvietošanas shēmai, kas parādīta 4.1. attēlā, tika iegūti eksperimentālie dati un aprēķināti parametri 4A90L2Y3 tipa ADz: $R_1 = 2,699 \Omega$, $X_1 = 2,951 \Omega$, $X_{ad} = 77,774 \Omega$, $X_2 = 2,951 \Omega$, $R'_2 = 1,079 \Omega$.

Lai pārbaudītu 4A90L2Y3 tipa ADz iegūto parametru ticamību, tika izmantots ADz modelis *model I* un tika modelēts tiešās palaišanas režīms.

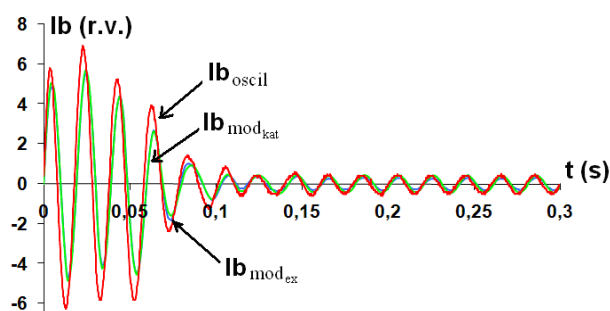
4.3. MODELĒŠANAS REZULTĀTĀ EKSPERIMENTĀLĀ CEĻĀ IEGŪTO RAKSTURLIELUMU SALĪDZINOŠĀ ANALĪZE

Modelējot palaišanas režīmus izrādījās, ka reālai palaišanas oscilogrammai atbilst raksturlielumi, kas iegūti saskaņā ar eksperimentu ceļā noteiktajiem parametriem un kas ņemti no kataloga T-veida ADz aizvietošanas shēmai. Tādēļ sīkāk aplūkosim tieši tos.

Attēlojot kopā palaišanas raksturlielumus, kas ņemti no kataloga datiem un palaišanas raksturlielumus, kas iegūti saskaņā ar izmēģinājuma datiem matemātiskās modelēšanas ceļā (4.4. un 4.5. att.), izrādījās, ka starpība starp raksturlielumiem nepārsniedz 10 %.

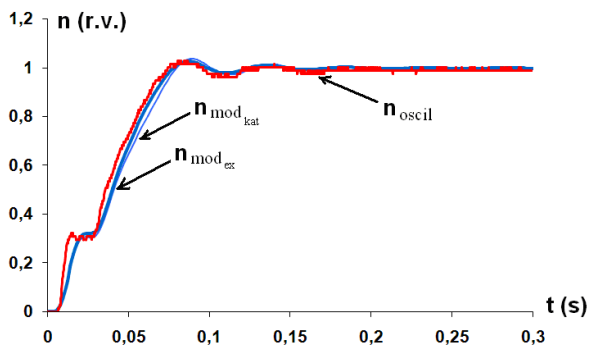


4.4.att. 4A90L2Y3 tipa ADz palaišanas raksturlielumi. (I_{Bkat} , n_{kat} , Mem_{kat} - palaišanas raksturlielumi saskaņā ar kataloga parametriem; I_{Bex} , n_{ex} , Mem_{ex} - palaišanas raksturlielumi saskaņā ar eksperimentālā ceļā iegūtajiem datiem)

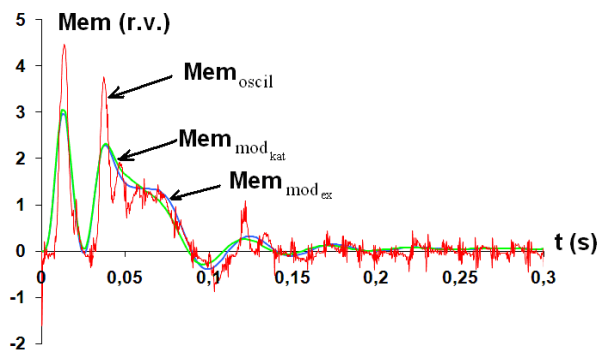


4.5.att. Fāzes strāvas izmaiņu raksturlīkne, palaižot ADz (I_{boscil} - iegūtā palaišanas strāva oscilogrāfēšanas rezultātā; I_{bkat} - iegūtā palaišanas strāva ar kataloga parametriem; I_{bmod} - iegūtā palaišanas strāva saskaņā ar eksperimentālā ceļā iegūtajiem parametriem)

Salīdzināsim palaišanas raksturlielumus, kas iegūti pēc eksperimentālajiem un kataloga datiem 4A90L2Y3 tipa ADz, ar tā paša dzinēja raksturlielumiem, kas iegūti palaišanas režīma oscilogrāfēšanas rezultātā.



4.6.att. Griešanās frekvences izmaiņu raksturlīkne, palaižot ADz



4.7.att. Elektromagnētiskā momenta izmaiņu raksturlīkne, palaižot ADz

Fāžu strāvas raksturlielumu salīdzināšana (4.5. att.) parādīja, ka starpība starp saskaņā ar kataloga datiem iegūto raksturlīkni un to, kas attēlota, izmantojot oscilogrāfu, maksimuma momentos nepārsniedza 13%. Bet starpība starp raksturlīkni, kas iegūta pamatojoties uz eksperimentālajiem datiem un to, kas attēlota izmantojot oscilogrāfu, maksimuma momentos nepārsniedza 17%.

Griešanās frekvenču raksturlīkņu salīdzināšana (4.6. att.) parādīja, ka starpība starp pēc kataloga datiem iegūto raksturlīkni un to, kas attēlota izmantojot oscilogrāfu nepārsniedza 4%. Bet starpība starp raksturlīkni, kas iegūta pamatojoties uz eksperimentālajiem datiem, un to, kas attēlota izmantojot oscilogrāfu, nepārsniedza 6%.

Elektromagnētiskā momenta raksturlielumi, kas iegūti modelēšanas rezultātā, atbilst reālajai elektromagnētiskā momenta raksturlīknei, kas attēlota, izmantojot oscilogrāfu (4.7. att.).

Tādā veidā, darbā pirmā nodaļā piedāvātie ADz matemātiskie modeļi ir adekvāti un spēj pilnībā attēlot pārejas procesus, kas notiek reālajā ADz.

SECINĀJUMI

Izklāstītā ADz matemātiskās modelēšanas metode ļāva, balstoties uz risināmā uzdevuma nostādni, izveidot virkni ADz matemātisko modeļu divfāžu koordinātu sistēmā d, q un α, β . Izmantojot izstrādātos matemātiskos modeļus veikta sarežģītu atbildīgo patērētāju (kas sevī ietver asinhronos dzinējus) dinamisko darbības režīmu pētīšana.

Ar īslaicīgu barošanas atslēgšanu un tā turpmāko atjaunošanu saistīto darbības režīmu izpēte parādīja, ka veiksmīgu asinhronā dzinēja ieslēgšanu ietekmē:

- ADz atslēgšanas laiks no tīkla;
- paliekošā sprieguma lielums brīdī, kad ADz tiek atkārtoti pieslēgts barošanas avotam;
- varbūtība atkārtoti ieslēgt pretfāzē.

Veiktā rotora paliekošā lauka ietekmes analīze gadījumā, ja ADz atkārtoti tiek ieslēgts pēc neilga laika, parādīja, ka ātrdarbīgas pārslēgšanas automatikas izmantošana neizvērtējot paliekošā sprieguma lielumu var radīt strāvas lēcieni, kas vairākas reizes pārsniedz nominālo vērtību, kā arī var radīt lielo elektromagnētiskā momenta vērtību, kas var izraisīt ievērojamus dzinēja bojājumus.

Lai nodrošinātu drošu un noturīgu ADz darbību režīmos, kas saistīti ar pārslēgšanas procesiem, tika noteikts minimālais atslēgšanas laiks no tīkla, kas nodrošina dzinēja paliekošā sprieguma vērtības samazināšanos līdz drošai vērtībai atkārtotas ieslēgšanas brīdī. Līdz ar to, rekomendēts ADz jaudu diapazonā no 0,75 līdz 315 kW izvēlēties atkārtotas ieslēgšanas laiku ne mazāku par 0,05 sekundem.

Piedāvāta metode, kura ļauj noteikt strāvu, elektromagnētiskā momenta, ADz griešanās frekvences vērtības nesimetriska tīkla sprieguma gadījumā. Šīs metodes īpatnība – tiek izmantots parasts simetrisks ADz modelis, bet nesimetrijas nosacījumi tiek doti, izmantojot fīderi (aktīvi- induktīvos elementus), kas savieno ADz ar tīklu. Tādā veidā, lai izvērtētu ADz darbības drošumu, pastāv iespēja imitēt dažādus barošanas nesimetrijas variantus.

Veiktā ticamu ADz parametru iegūšanas paņēmieni analīze, kas nepieciešama, lai veiktu tā dinamisko režīmu matemātisko modelēšanu, parādīja, ka:

- dažāda veida empīrisko formulu izmantošana nesniedz ticamas meklējamo parametru vērtības. Šādā veidā iegūtie parametri derīgi tikai, lai analizētu stacionārus režīmus un statiskus raksturlielumus;
- matemātiskās modelēšanas metožu izmantošana, lai iegūtu informāciju par ADz darbību sarežģītos dinamiskos režīmos, sniedz vislabākos un ticamākos rezultātus, ja aizvietošanas shēmas parametri iegūti tieši no izgatavotājrūpnīcas vai izmēģinājumu ceļā.

4A (4A90L 2Y3) sērijas asinhronā dzinēja palaidēs oscilogrammas un palaidēs režīma, kas iegūti, izmantojot jebkuru no piedāvātajiem matemātiskajiem modelim, salīdzināšana parādīja, ka vislabāko rezultātu sakrītību dod modelis, kura aizvietošanas shēmas parametri iegūti izmēģinājumu ceļā.