

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūts

Viesturs BRAŽIS

Elektrotehnoloģiju datorvadības doktora programmas doktorants

**ASINHRONĀ ELEKTROPIEDZIŅA AR PIERES
DAĻAS TINUMU UN STRĀVAS INVERTORU**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. habil. sc. ing., profesors
J.GREIVULIS

RTU Izdevniecība
Rīga 2005

Tēmas aktualitāte

Asinhrono dzinēju ar īsslēgto rotoru pielietojumu regulējamās elektriskās piedziņas sistēmās apgrūtina konstruktīvi visvienkāršākā dzinēja vissarežģītākais palaišanas pārejas process salīdzinājumā ar pārējiem elektrisko dzinēju veidiem, kura norises gaitā rodas lielas palaišanas strāvas un dzinēja momenta svārstības. Elektromehāniskā pārejas procesa uzlabošanu iespējams veikt, tikai izmantojot frekvenču pārveidotāju ar komplikētām vadības metodēm, kā arī sarežģījot dzinēja statora konstrukciju, tāpēc aktuāls jautājums ir tādas asinhronā dzinēja piedziņas sistēmas izstrāde, kas dotu iespēju veikt asinhronā dzinēja ar īsslēgto rotoru pārejas procesu vadību, izmantojot iespējami vienkāršākus pārveidotājus un minimāli mainot dzinēja statora konstrukciju.

Darba mērķis

Darba mērķis ir izveidot jaunu asinhronās piedziņas sistēmu ar pārejas procesa vadības iespēju, panākot, lai vienlaicīgi netiktu ievērojami sarežģīta asinhronās mašīnas ar īsslēgtu rotoru konstrukcija un varētu izmantot pusvadītāju pārveidotāju ar iespējami vienkāršāku spēka daļas shēmu, vadības sistēmu un tās darbības principu. Promocijas darba mērķa sasniegšanai risināti šādi uzdevumi:

- izveidots un eksperimentāli pārbaudīts asinhronais dzinējs ar īsslēgto rotoru un statora tinuma pieres daļas pagarinājuma tinumu;
- izveidota piedziņas sistēma, izmantojot dzinēju ar pieres daļas tinumu un ar tīklu saistīto strāvas invertoru;
- veikta asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu piedziņas sistēmas un tās atsevišķu mezglu aizvietošanas shēmu izveide un darbības režīmu īpatnību analīze.

Pētījumu metodika

Promocijas darba mērķu sasniegšanai izmantotas diferenciālvienādojumu risināšana, funkciju optimizācijas metode, kā arī fizikālās modelēšanas metodes. Eksperimentos izmantota Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūta un Enerģētikas institūta Elektrisko mašīnu un aparātu katedras tehniskā bāze un laboratorijas iekārtas.

Zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti

Promocijas darba zinātniskā novitāte ir:

- jaunas konstrukcijas asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu izstrāde;
- ar tīklu saistītā strāvas invertora izveide;
- veikta asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu aizvietošanas shēmas izstrāde;
- izveidota asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu un saistīto strāvas invertoru struktūra;
- ar tīklu saistītā strāvas invertora ventiļu darba režīmu analīze;
- veikta asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu zudumu optimizācija pēc slīdes.

Darba galvenie rezultāti ir šādi:

- uzlabojas dzinēja enerģētiskie parametri;
- iespējama pārejas procesu vadība dinamiskos un statiskos režīmos.

Darba praktiskais pielietojums

Darba praktiskā vērtība saistīta ar

- asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu piedziņas sistēmas izstrādi;
- ar tīklu saistītā strāvas invertora darbības režīmu analīzes metodikas izveidi;
- dzinēja zudumu optimizācijas metodes pēc slīdes izstrādi.

Veiktie pētījumi ļauj izveidot asinhronās piedziņas sistēmu ar paplašinātām funkcionālām iespējām pārejas režīmos. Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas

fakultātes Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūta laboratorijas bāze izveidots un pārbaudīts eksperimentāls asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu stends.

Darba aprobācija

Disertācijas tēmas pētījumu rezultātu aprobācija tika izpildīta, darba autoram uzstājoties starptautiskajās zinātniski-tehniskajās konferencēs:

- Aizvietošanas shēma asinhronajam dzinējam ar pieres daļas tinumu// 43. starptautiskā zinātniskā konference// Rīga, 2002.
- Асинхронный двигатель с удлинёнными лобовыми частями статорных обмоток в электроприводе// Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика// Харьков, 2003.
- Asinhronā dzinēja ar frontālās daļas tinumu mehānisko raksturlīkņu eksperimentāla pētīšana.// 44. starptautiskā zinātniskā konference// Rīga, 2003.
- Asinhronās elektriskās piedziņas ar pieres daļas tinumiem struktūrmezglu darbības īpatnības// Starptautiskā zinātniskā konference Modernās tehnoloģijas enerģijas ieguvei un efektīvai izmantošanai// Jelgava, 2004.
- The asynchronous Electric drive with frontal part winding// 11 International Power Electronics and Motion Control Conference "EPE-PEMC 2004" // - Riga. 2004.
- Bražis V., Greivulis J. Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu enerģētisko parametru optimizācija atkarībā no slīdes// "Enerģētika un elektrotehnika", 4. sēr., 13. sēj. -Rīga: RTU, 2004. - 88.-94. lpp.

Darba struktūra

1. ASINHRONĀ DZINĒJA PAMATRAKSTUROJUMI NENOSLĒGTĀS UN NOSLĒGTAS SISTĒMĀS
 - 1.1 Asinhronā dzinēja tiešās palaišanas procesa analīze
 - 1.2 Asinhronā dzinēja parametriskā vadība
 - 1.3 Asinhronā dzinēja frekvenču vadības īpatnības palaišanas procesā
 - 1.3.1 Asinhronā dzinēja palaišana ar skalārās frekvenčregulēšanas metodi
 - 1.3.2 Asinhronā dzinēja frekvenču vadība ar lauka orientēšanu palaišanas procesā

- 1.4 Frekvenčregulēšanas metožu trūkumi un to novēršana
 - 1.5 Slēdzieni
 - 2. ASINHRONĀS PIEDZIŅAS AR PIERES DAĻAS TINUMU STRUKTŪRSHĒMA
 - 2.1 Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu konstrukcija
 - 2-2 Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu ekvivalentās shēmas parametru noteikšana
 - 2-3 Asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu struktūrshēma un elektromagnētiskais ekvivalents
 - 2.4 Slēdzieni
 - 3. ASINHRONĀS PIEDZIŅAS AR PIERES DAĻAS TINUMU AR TĪKLU SAISTĪTĀ STRĀVAS INVERTORA STRUKTŪRAS DARBĪBAS REŽĪMU ANALĪZE
 - 3-1 Asinhronās elektriskās piedziņas ar pieres daļas tinumu struktūrshēmas darbības īpatnības
 - 3.2 Ar tīklu saistītās invertora shēmas darbības režīmi
 - 3.3 Asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu slodzes aprēķins 3-4
Asinhronā dzinēja piedziņas ar pieres daļas tinumu optimizācija
 - 3.5 Slēdzieni
 - 4. EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI
 - 4.1 Eksperimenta mērķis
 - 4.2 Asinhronās elektriskās piedziņas ar pieres daļas tinumu eksperimentālā iekārta
 - 4.3 Slēdzieni
- KOPĪGIE SECINĀJUMI**

Dotajā disertācijā izskatīts jautājums par asinhronā dzinēja pārejas procesu vadību, kas ļauj ierobežot palaišanas strāvu un problēmas risinājums, izmantojot jaunas konstrukcijas asinhrono dzinēju ar pieres daļas tinumu.

Pirmajā nodaļā ir plaši pētīta aktuālā situācija zinātnē par asinhronā dzinēja palaišanas procesa grūtībām un to pārvarēšanu.

Otrajā nodaļā aprakstīta asinhronās piedziņas sistēmas ar pieres daļas tinumu struktūra, aizvietošanas shēma un dzinēja konstrukcija.

Trešajā nodaļā izpētītas ar tīklu saistītā strāvas invertora darbības režīmu īpatnības. Piedāvāta asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu zudumu optimizācija pēc minimālās slīdes.

Ceturtajā nodaļā analizētas ar eksperimentālo iekārtu uzņemtas dzinēja mehāniskas un enerģētisko parametru raksturlīknes.

Darba apjoms

Promocijas darbs satur četras nodaļas, secinājumus, bibliogrāfisko sarakstu un pielikumus. Darba kopējais apjoms ir 261 datorsalikuma lappuse. Darbā iekļauti 166 attēli, 3 tabulas un 3 pielikumi. Bibliogrāfijas sarakstā iekļauti 57 izmantojamās literatūras avoti, to skaitā 10 autora publikācijas.

1. Asinhronā dzinēja pamatraksturojumi noslēgtās un nenaslēgtās sistēmās

Darba 1. nodaļā veikts apjomīgs asinhronā dzinēja palaišanas procesa teorētisko pamatnostādņu pētījums lai analizētu praksē izplatītāko palaišanas metožu iespējas pārejas procesu parametru ietekmēšanai.

Asinhronā dzinēja palaišanas process ir saistīts ar lieliem enerģijas zudumiem, tāpēc nepieciešams veikt pārejas procesu analīzi [15]. Šī dzinēja matemātiskais apraksts ir ļoti sarežģīts [14, 5, 9, 10], jo palaišanas pārejas process sastāv no bezgalīga skaita aperiodiskajām komponentēm [11], tāpēc pārejas procesu analīzei izmanto tuvinātus aprēķinus [5, 9]. [11] piedāvāta pārejas procesa sadalīšana nekustīga dzinēja ieslēgšanas virspārejas un kustīga dzinēja pārejas procesā, savukārt [9] apskatīta tuvinājuma metode, kas izmanto pieņēmumus, ka dzinēja rotors paliek nekustīgs apskatāmajā laika intervālā pie konstanta statiskā momenta $M_{st} = \text{const}$. Elektromagnētisko pārejas procesu neievērošana nav pieļaujama [8], tāpēc tiek izmantots precīzākais dzinējā notiekošo procesu apraksts, kas tiek iegūts, pārveidojot reālo mašīnu par ekvivalentu divfāžu dzinēju [5, 8, 9]. Šādu asinhronā dzinēja matemātisko modeli pielieto asinhronās piedziņas mūsdienu vadības metodēs, kur tiek veikta dzinēja vadība pēc lauka orientācijas. Analizējot asinhronā dzinēja palaišanas procesu [5, 9, 10], redzams, ka vēsturiski vissenākā tiešā palaišana, pieslēdzot dzinēja statoram pilnu tīkla spriegumu, nenodrošina kvalitatīvu palaišanas procesu, jo dzinēja moments un strāva netiek ierobežoti vispār. Asinhronā dzinēja parametriskā vadība ietver sevī statora sprieguma regulēšanu palaišanas gaitā. Šo metodi 20. gs. nogalē pētījuši Ļ. Petrovs [10], V. Šubenko [13], I. Braslavskis [13], J. Greivulis [6], L. Ribickis [6], I. Raņķis un A. Žiravecka. Kaut arī statora sprieguma regulēšana palaišanas laikā ļauj ietekmēt pārejas procesa parametrus, tomēr šī

metode nav piemērota stipri noslogotu dzinēju palaišanai [3], kā arī rada elektromagnētiskās saderības problēmas [6]. Ievērojami uzlabot pārejas procesus iespējams ar frekvenčregulēšanas skalārās vadības metodi [5], kura tomēr neļauj tieši ietekmēt mašīnas momentu. Kontrolēt asinhronā dzinēja momentu iespējams ar pēc lauka orientētajiem asinhronā dzinēja palaišanas paņēmieniem - F. Blašķes 1971. g. publicēto vektorvadības metodi, un 20. gs. 90. g. vidū kompānijas ABB ieviesto momenta tiešās vadības metodi. Abas minētās metodes efektīvi pielietojamas tikai sarežģītās un dārgās piedziņas sistēmās ar ātrdarbīga mikroprocesora vadītu frekvenču pārveidotāju ar pilnīgi vadāmiem slēdža elementiem. Vektorvadības asinhronā piedziņa neizceļas ar precīzu ātruma un momenta kontroli mazu ātrumu zonā. Momenta tiešās vadības sistēmai raksturīgas strāvas un momenta pulsācijas [1]. Visi minētie asinhronā dzinēja palaišanas paņēmieni liek izmantot elektroniskos slēdžus statora ķēdē. Asinhronā dzinēja palaišanas procesu var uzlabot, palielinot statora fāžu skaitu [23], tomēr šādi risinājumi saistīti ar būtisku pārveidotāja slēdžu skaita palielināšanos. Iztikt bez statora ķēdes pārveidotāja iespējams, pielietojot asinhrono dzinēju ar fāžu rotoru, uz kura bāzes izveido dubultās barošanas mašīnu, kas ļauj atdot tīklā slīdes zudumus. Būtisks šī tipa dzinēju trūkums ir mehānisko kontaktu esamība. Asinhronajam dzinējam ar divdaļīgo statoru un īsslēgto rotoru [22] nepieciešams tikai viens statora ķēdes pārveidotājs, tomēr dzinējam piemīt konstruktīva sarežģītība. Neraugoties uz labām visu veidu daudzfāžu asinhrono dzinēju, asinhronās mašīnas ar fāžu rotoru un ventiļu kaskādes pārejas procesa regulēšanas iespējām, minētām piedziņas sistēmām raksturīga pārveidotāja un (vai) dzinēja konstruktīvā sarežģītība, kas stipri ierobežo šo piedziņas veidu pielietojumu tikai priekš specifiskiem gadījumiem, piemēram, augstsprieguma dzinējiem, ilgstošai darbībai pie zema ātruma.

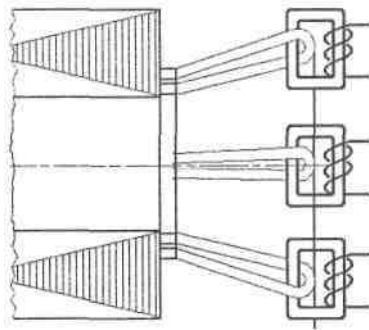
Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu palaišanas paņēmieni analīze ļauj izsecināt, ka esošo risinājumu galvenā problēma ir kompromisa starp labiem pārejas procesa raksturojumiem un vienkāršu dzinēja un tā vadībai nepieciešamā pārveidotāja konstrukciju neiespējamība.

2. Asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu struktūrhēma

Risinājums, kas uzlabo palaišanas procesu, ir jauna piedziņas sistēma, kurā izmanto asinhrono dzinēju ar pieres daļas tinumu [2]. Šāds risinājums ļauj veikt pārejas procesa vadību, panākot, lai vienlaicīgi netiktu ievērojami sarežģīta asinhronās mašīnas ar īsslēgto

rotoru konstrukcija un varētu izmantot pusvadītāju pārveidotāju ar iespējami vienkāršāku spēka daļas shēmu, vadības sistēmu un tās darbības principu.

Parastiem sērijveida asinhronajiem dzinējiem statora tinuma frontālo daļu neizmanto. Asinhronās mašīnas vadības funkcionālo iespēju paplašināšanai statora fāzes tinuma vijuma pieres daļas cilpas tiek izvērtas caur papildus fāzes transformatora serdeni [15, 17].



2.1. att. Asinhronā dzinēja pieres daļas tinuma konstruktīvais izpildījums

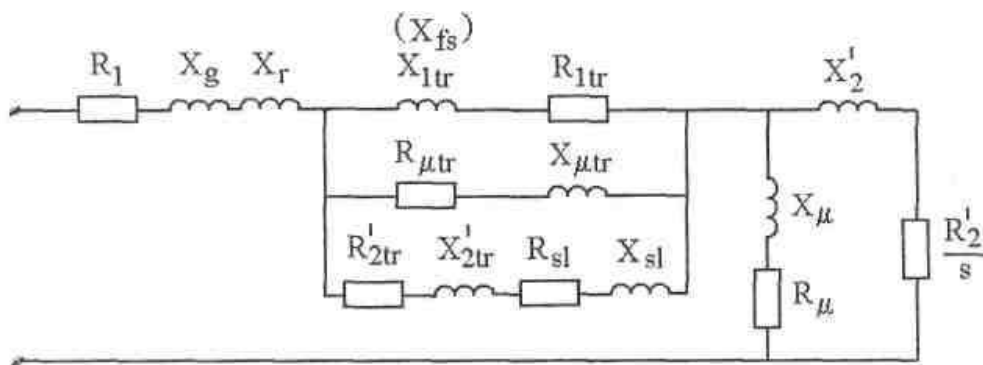
Katrai statora tinuma fāzei izmanto atsevišķu transformatoru. Statora fāzes tinuma vijumu pieres daļa kalpo kā transformatora primārais tinums (2.1. att). Transformatora sekundāro tinumu caur pārveidotāju pieslēdz tīklam. Asinhronā dzinēja statora tinuma pieres daļas pretestībai galvenokārt ir induktīvs raksturs [7, 16]. Darbā noteikta divslāņu tinuma pieres daļas reaktīvās pretestības, kas sastāv no aksiālās un tangenciālās sastāvdaļas summas, vērtība

$$x_t = x_u + x_t = \frac{24\pi}{10} f \frac{w^2}{p^2} \times \left\{ 2k_y'^2 + (B-l_n') \frac{y\pi - \sin y\pi}{y\pi} \cos \alpha + \frac{D_t}{2} y \sin \alpha \sin \frac{y\pi}{2} \left[\lg \left(\frac{l_n'}{B-l_n'} + \frac{2}{y\pi} \lg \frac{y\pi}{4} \right) + 0.25 \right] \right\} \quad (2.1)$$

Asinhronā dzinēja pieres daļas tinums kopā ar papildtransformatoru veido jaudas regulēšanas kontūru. Tas dod iespēju ne tikai izmainīt statisko režīmu, bet gan galvenokārt

formēt pārejas procesu atbilstoši uzdotām prasībām [18] ar enerģijas atgriešanu tīklā, pielietojot ar tīklu saistīto strāvas invertoru ar mainīgu leņķi [3]. Ieslēdzot asinhrono dzinēju, bez palaišanas strāvas brīvās komponentes veidojas lēni rimstoša aperiodiskā strāva. Pārejas procesa laikā iespējams atgriezt enerģiju tīklā bez dzinēja darbības traucējumiem.

Lai noteiktu asinhronās mašīnas ar pieres daļas tinumu elektromagnētisko momentu un statora strāvu, no asinhronā dzinēja T veida aizvietošanas shēmas nepieciešams aprēķināt tā ekvivalento pretestību. Nosakot šo pretestību, pieres daļas tinuma papildtransformatora T veida ekvivalento shēmu iekļauj asinhronā dzinējā. Asinhronā dzinēja ar īsslēgtu rotoru pilnās ekvivalentās T veida aizvietošanas shēmas statora inductīvā pretestība X_r sadalīta trijās sastāvdaļās - izkliedes pamatplūsmas inductīvā pretestība X_g , rievu izkliedes plūsmas inductīvā pretestība X_r un frontālo savienojumu izkliedes plūsmas inductīvā pretestība X_{fs} . Pēdējai paralēli slēgts papildtransformators. Statora tinuma pieres daļas pretestība X_{fs} dzinējam un pieres daļas transformatoram kopīgas magnētiskās sistēmas dēļ vienlaicīgi ir arī papildus transformatora primārā tinuma inductīvā pretestība X_{1tr} , tāpēc iekļauta transformatora T veida aizvietošanas shēmā. (2.2. att.).



2.2. att. Asinhrona dzinēja ar pagarinātu tinumu T veida ekvivalentā shēma

Transformatora primārais tinums aizvietots ar pretestībām X_{1tr} (dzinēja shēmā X_{fs} ir X_l sastāvdaļa) un R_{1tr} . Transformatora aizvietošanas shēmas elementu apzīmējumu indeksi papildināti ar "tr". Transformatora T veida shēmu reducē uz vienu aizvietošanas pretestību Z_{tr} , kuru summē ar statora aktīvo pretestību R_l un reaktīvās pretestības X_l komponentēm - izkliedes pamatplūsmas inductīvo pretestību X_g un rievu izkliedes plūsmas komponenti X_r .

Minēto apsvērumu dēļ nav ieteicams ar Z_1 apzīmēt statora kontūra pretestību bez papildtransformatora. Dzinēja darba un magnetizēšanas kontūru paralēlo zaru pretestības Z_2 un Z_μ apvieno vienā kopējā pretestībā $Z_{2\mu}$. Summējot statora pretestību Z_1 un $Z_{2\mu}$, iegūst asinhronā dzinēja ekvivalento pretestību, ko sadala aktīvajā un reaktīvajā komponentē:

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{ekv}} = & R_1 + R_r + R_{2\mu} + j(X_v + X_r + X_{r'} + X_{2\mu}) = R_1 + \frac{(R_{1tr}R_{2tr}R_{j\mu r} + R_{1tr}R_{j\mu r}R_{sl} - R_{2tr}X_{1tr}X_{j\mu r} - \dots}{\dots} \\
 & \frac{-R_{sl}X_{1tr}X_{j\mu r} + R_{1tr}X_{2tr}X_{j\mu r} + R_{1tr}X_{sl}X_{sl} + R_{j\mu r}X_{1tr}X_{2tr} + R_{j\mu r}X_{1tr}X_{sl}}{(R_{1tr} + R_{j\mu r} + R_{2tr} + R_{sl})^2 + (X_{1tr} + X_{j\mu r} + X_{2tr} + X_{sl})^2} + \dots \\
 & \frac{+ (R_{1tr}R_{j\mu r}X_{2tr} + R_{1tr}R_{j\mu r}X_{sl} - X_{1tr}X_{2tr}X_{j\mu r} - X_{1tr}X_{j\mu r}X_{sl} + R_{1tr}R_{2tr}X_{j\mu r} + R_{2tr}R_{j\mu r}X_{1tr} + R_{1tr}R_{sl}X_{j\mu r} + \dots}{\dots} \\
 & \frac{+ R_{j\mu r}R_{sl}X_{1tr})(X_{1tr} + X_{j\mu r} + X_{2tr} + X_{sl})}{\dots} + \frac{\left(\frac{R_2}{s} - X_2'X_\mu\right)\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu\right) + \left(\frac{R_2X_\mu}{s} + R_\mu X_2'\right)(X_2' + X_\mu)}{\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu\right)^2 + (X_2' + X_\mu)^2} + \\
 & + j\left(X_v + X_r + \frac{(R_{1tr} + R_{j\mu r} + R_{2tr} + R_{sl})R_{1tr}R_{j\mu r}X_{2tr} + R_{1tr}R_{j\mu r}X_{sl} - X_{1tr}X_{2tr}X_{j\mu r} - X_{1tr}X_{j\mu r}X_{sl} + R_{1tr}R_{2tr}X_{j\mu r} + \dots}{\dots}\right. \\
 & \frac{+ R_{2tr}R_{j\mu r}X_{1tr} + R_{1tr}R_{sl}X_{j\mu r} + R_{j\mu r}R_{sl}X_{1tr}) - (R_{1tr}R_{2tr}R_{j\mu r} + R_{1tr}R_{j\mu r}R_{sl} - R_{2tr}X_{1tr}X_{j\mu r} - R_{sl}X_{1tr}X_{j\mu r} + \dots}{(R_{1tr} + R_{j\mu r} + R_{2tr} + R_{sl})^2 + (X_{1tr} + X_{j\mu r} + X_{2tr} + X_{sl})^2} + \dots \\
 & \left. \frac{+ R_{1tr}X_{2tr}X_{j\mu r} + R_{1tr}X_{j\mu r}X_{sl} + R_{j\mu r}X_{1tr}X_{2tr} + R_{j\mu r}X_{1tr}X_{sl})(X_{1tr} + X_{j\mu r} + X_{2tr} + X_{sl})}{\dots}\right) + \\
 & \left. \frac{\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu\right)\left(\frac{R_2X_\mu}{s} + R_\mu X_2'\right) - \left(\frac{R_2}{s} - X_2'X_\mu\right)(X_2' + X_\mu)}{\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu\right)^2 + (X_2' + X_\mu)^2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Šī izteiksme ļauj atrast strāvas vērtību, ko izmanto, iegūstot asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu elektromagnētiskā momenta izteiksmi:

$$M = \frac{m_1}{\omega_0 s} \left[\frac{U}{Z_2} \left[1 - \frac{Z_1}{R_1 + \frac{(R_{1tr}R_{2tr}R_{j\mu r} + R_{1tr}R_{j\mu r}R_{sl} - R_{2tr}X_{1tr}X_{j\mu r} - \dots}{\dots}} \right] \right]$$

$$\frac{-R_d X_{1r} X_{2r} + R_{1r} X_{2r} X_{3r} + R_{1r} X_{3r} X_{4r} + R_{2r} X_{1r} X_{2r} + R_{2r} X_{1r} X_{3r} (R_{1r} + R_{2r} + R_{3r}) + (R_{1r} + R_{2r} + R_{3r})^2 + (X_{1r} + X_{2r} + X_{3r} + X_{4r})^2}{}$$

$$+ (R_{1r} R_{2r} X_{3r} + R_{1r} R_{3r} X_{4r} - X_{1r} X_{2r} X_{3r} - X_{1r} X_{3r} X_{4r} + R_{1r} R_{2r} X_{4r} + R_{2r} R_{3r} X_{1r} + R_{1r} R_{3r} X_{2r} +$$

$$+ R_{2r} R_{3r} X_{1r}) (X_{1r} + X_{2r} + X_{3r} + X_{4r}) + \left(\frac{R_2}{s} - X_2 X_\mu \right) \left(\frac{R_2}{s} + R_\mu \right) + \left(\frac{R_2 X_\mu}{s} + R_\mu X_2 \right) (X_2 + X_\mu) \left. \right\} + \frac{\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu \right)^2 + (X_2 + X_\mu)^2}{}$$

$$+ j \left(X_c + X_r + \frac{(R_{1r} + R_{2r} + R_{3r}) R_{1r} R_{2r} X_{3r} + R_{1r} R_{3r} X_{4r} - X_{1r} X_{2r} X_{3r} - X_{1r} X_{3r} X_{4r} + R_{1r} R_{2r} X_{4r} +$$

$$+ R_{2r} R_{3r} X_{1r} + R_{1r} R_{3r} X_{2r} + R_{2r} R_{3r} X_{1r}) - (R_{1r} R_{2r} R_{3r} + R_{1r} R_{3r} R_{4r} - R_{2r} X_{1r} X_{3r} - R_{3r} X_{1r} X_{2r} + (R_{1r} + R_{2r} + R_{3r})^2 + (X_{1r} + X_{2r} + X_{3r} + X_{4r})^2}{}$$

$$+ R_{1r} X_{2r} X_{3r} + R_{1r} X_{3r} X_{4r} + R_{2r} X_{1r} X_{2r} + R_{2r} X_{1r} X_{3r}) (X_{1r} + X_{2r} + X_{3r} + X_{4r}) \left. \right\} +$$

$$\left. \left. \left. \frac{\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu \right) \left(\frac{R_2 X_\mu}{s} + R_\mu X_2 \right) - \left(\frac{R_2}{s} - X_2 X_\mu \right) (X_2 + X_\mu)}{\left(\frac{R_2}{s} + R_\mu \right)^2 + (X_2 + X_\mu)^2} \right) \right] \right\} R_2^2$$

Lai vienkāršotu dzinēja ekvivalentās pretestības izteiksmi, iespējams pieņemt vairākus tuvinājumus. Ekvivalentās pretestības noteikšanas precizitāti nepasliktina dzinēja magnetizēšanas kontūra aktīvās pretestības neievērošana un pieņēmums, ka palaišanas laikā slīde nemainās, $s = 1$. Stacionārā režīmā, kad transformators neveic regulēšanu, to apskata kā droseli, neievērojot transformatora sekundārā tinuma ķēdes parametrus.

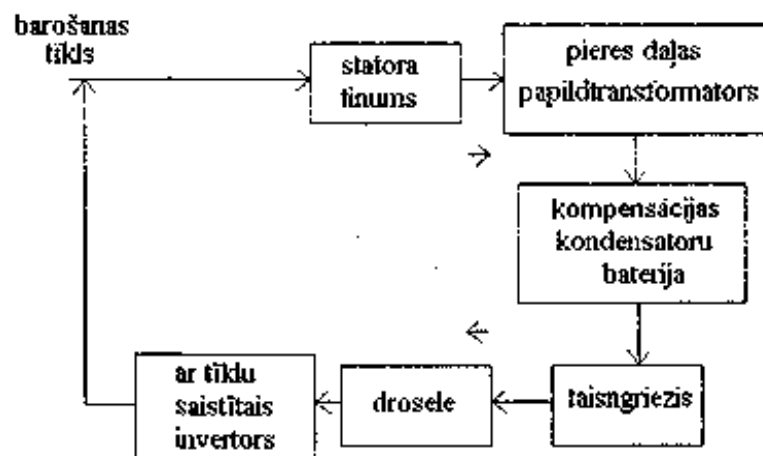
Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu aprēķinos nav lietderīgi izmantot Γ veida aizvietošanas shēmu, jo statora ar papildtransformatoru sazarotās ķēdes aizvietošanas pretestība tiek iekļauta abos Γ veida shēmas zaros, padarot kopējo ekvivalento shēmu ievērojami apjomīgāku par analogisku T veida aizvietošanas shēmu. Tuvināti aprakstīt asinhrono dzinēju ar Γ veida shēmu iespējams, izmantojot pieņēmumu, ka papildtransformatoram un dzinējam ir atsevišķas magnētiskās sistēmas kā rezultātā pieres daļas transformatora pretestība uzskatāma par asinhronajam dzinējam pieslēgtu papildpretestību. Šis tuvinājums dos precīzu rezultātu asinhronajam dzinējam ar atsevišķu strāvmaini [19].

Ar tīklu saistītā strāvas invertora izejas spriegums ir proporcionāls dzinēja statora tinumu strāvai. Var izveidot atsevišķu strāvmaini, kas nav saistīts ar pieres daļas pagarinājumu un neprasa dzinēja konstrukcijas maiņu [19]. Tīklam nodoto enerģiju var regulēt, mainot sakarību $U = kI_s$ un invērtēšanas leņķi β laikā. Ar statora fāzes tinuma pagarinājuma papildtransformatora palīdzību iespējams ietekmēt pārejas procesus visos darba režīmos. Statora strāvas pārveidošana spriegumā $kI_s = U$ nodrošina strāvas invertora darbību pie mazām statora strāvas slodzes izmaiņām. Asinhronās elektriskās piedziņas ar pieres daļas tinumu sistēmu lietderīgi pielietot elektriskajās piedziņās ar biežu palaišanu un bremsēšanu. Asinhronajā dzinēja pārejas procesu pētīšanai sastādīta tā ekvivalentā elektriskā shēma [15, 19].

3. Asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu ar tīkla saistīto strāvas invertoru struktūras darbības režīmu analīze

Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu elektropiedziņas sistēmas [19, 24] jaudas regulēšanas kontūra (3.1. att.) mezgli strādā barošanas režīmā no strāvas avota, jo pieres daļas tinuma papildtransformatora sekundārajā ķēdē plūstošā strāva ir ievērojami mazāka par statora tinuma strāvu $I_{2tr} \ll I_1$, veidojot strāvas avotu. Elektropiedziņas struktūrshēmā (3.1. att.) iekļautais trīsfāžu taisngriezis veic pieres daļas transformatoru sekundāro tinumu strāvas,

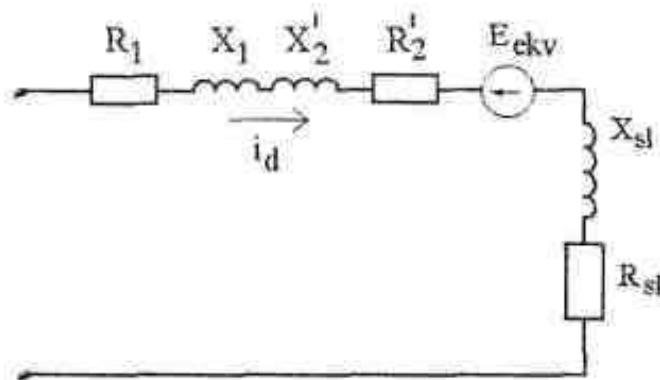
kas ir proporcionāla asinhronā dzinēja statora strāvai, taisngriešanu [19]. Pēc strāvas taisngriešanas trīsfāžu tiltveida shēmas taisngriezī un pulsāciju izlīdzināšanas ar droseļi jauda tiek nodota ar tīklu saistītajam invertoram, kas veic jaudas regulēšanu, tālāk nododot tīklā papildtransformatora sekundārā tinuma jaudu $P_d = I_d U_d$. Tā kā ar tīklu saistītā invertora strāvas lielums ir proporcionāls asinhronā dzinēja strāvai, tad ne vien taisngriezis, bet arī invertors strādā strāvas avota režīmā [20]. Tas liek vienkopus apskatīt taisngrieža un invertora (3.1. att.) darbību ar kopīgu aizvietošanas shēmu (3.2. att.).



3.1. att. Elektropiedziņas ar piespes daļas tinumu blokshēma

Trīsfāžu taisngriezis tiek barots no strāvas avota - papildtransformatora sekundārā tinuma. Kā taisngrieža slodze kalpo ar tīklu saistītais invertors, kas izveidots pēc divpusperiodu shēmas ar nullpunktu. Invertoru aizvieto ar aktīvi - induktīvu slodzi, kurai virknē slēgts pretēji vērsts EDS [12] pie invertēšanas leņķa β un invertora transformatora ekvivalentā shēma (3.2. att.). Saistītā invertora transformatoru aizvieto ar vienkāršotu T veida aizvietošanas shēmu, kurā netiek ievērots magnetizēšanas kontūrs [12]. Rezultātā iegūst vienkāršotu invertora aizvietošanas shēmu, kas pieslēgta trīsfāžu taisngrieža izejai. Taisngrieža darbības režīms no papildtransformatoriem, kuri ieslēgti asinhronā dzinēja piespes daļā, ietver sevī 6 ekvivalentos taisngrieža darbības posmus. Pie nosacījuma $0 \leq \frac{X}{R} \leq 1,73$ taisngrieztās strāvas forma ir tāda pati kā aktīvas slodzes gadījumā, ja vien pretēji vērsta EDS nodrošina, ka taisngrieztais spriegums nesasniedz nulli. Pie nosacījuma $\frac{X}{R} > 1,73$ iestājas taisngrieža tilta bezsprieguma režīms. Taisngrieztās strāvas lielums ir atkarīgs no

slodzes pilnas pretestības moduļa z un slodzes pretēji vērsta elektrodzinējspēka lieluma. Taisngrieža darbības pamatrežīms, ko

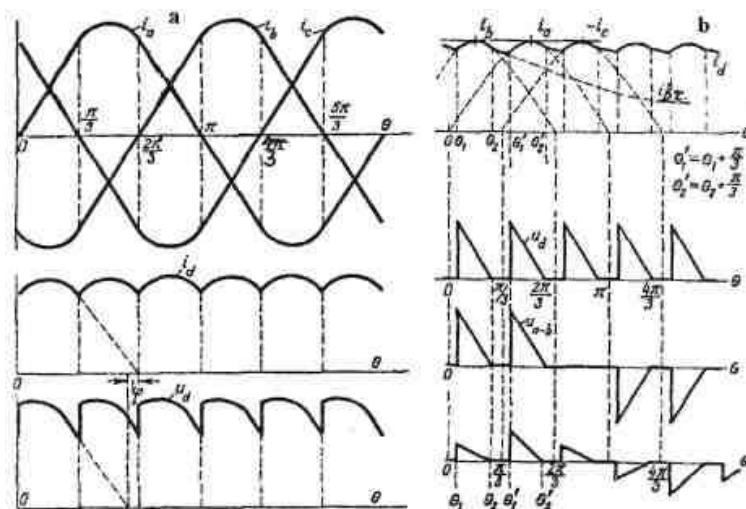


3.2. att. Ar tīklu saistītā strāvas invertora ekvivalentā shēma

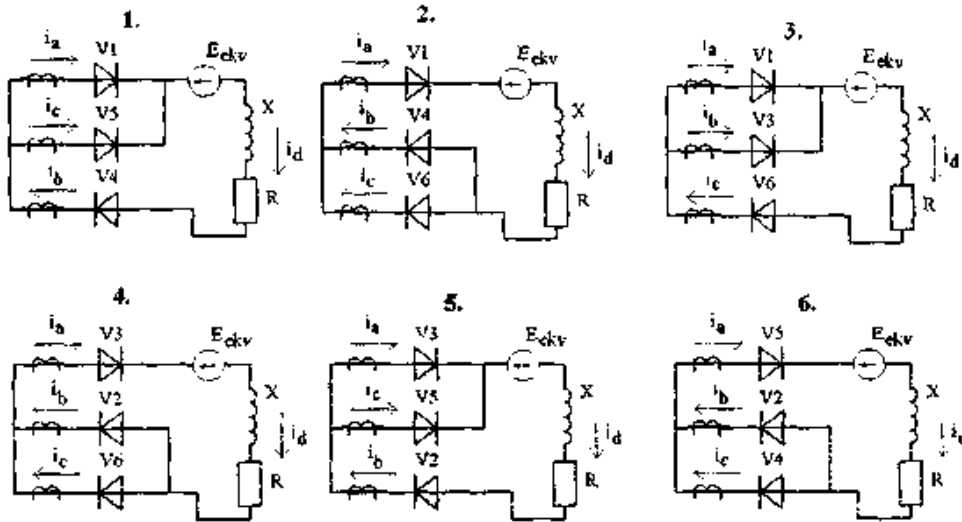
jāizmanto, ir pie slodzes parametriem $0 \leq \frac{X}{R} \leq 1,73$. Taisngriezim ir raksturīgi divi darba režīmi, kuriem atbilstošās strāvas un spriegumi parādīti (3.3. att.):

- 1) bezsprieguma režīms izejā (3.3. att., b);
- 2) taisngriešanas režīms (3.3. att., a).

Taisngrieža darbības ekvivalentie posmi taisngrieža režīmā attēloti 3.4. att.



3.3.att. Strāvas un spriegumi, ja $\frac{X}{R} < 1,73$ (a) un $\frac{X}{R} > 1,73$ (b)



3.4. att. Taisngrieža darbība taisngriešanas režīmā

Bezsprieguma režīmā papildtransformatoru sekundārās ķēdes taisngrieža ieejas strāvas vienādas ar nulli. Papildtransformatora katras fāzes sekundārā tinuma strāva i_n sadalās kompensācijas kondensatora strāvā i_{Kn} un taisngrieža ieejas strāvā i_n , kur $n = A, B, C$ - fāzes apzīmējums. Spriegums taisngrieža ieejā vienāds ar taisngrieža izejas sprieguma un saistītā invertora pretēji vērsta elektrodzinējspēka summu:

$$\begin{aligned}
 u_d - E_{ckv} &= -U_{CBH} - U_{CCH} = -(U_{KBH} + U_{KBI}) - (U_{KCH} + U_{KCI}) = -\left(\frac{1}{X_c} \int_{\theta_1}^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{2} I_{KO} \sin(\theta + \varphi) + \right. \\
 &+ \left. (-\frac{\sqrt{2} I_{KM}}{X_c} 2 \cos^2(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{\pi}{3})) - \right. \\
 &\left. - \left[\frac{1}{X_c} \left\{ \int_{\theta_1}^{\frac{\pi}{3}} \frac{\sqrt{2}}{2} I_{MH} \sin(\theta + \varphi) + \int_{\theta_1}^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{2} I_{KO} \sin(\theta + \varphi) \right\} + (-\frac{\sqrt{2} I_{KCI}}{X_c} 2 \cos^2(\frac{\theta_1 + \varphi_1}{2} - \frac{2\pi}{3})) \right] = \right. \\
 &= -\frac{1}{X_c} (-\sqrt{2} I_{KO} \cos(\frac{\pi}{2} + \varphi) - \sqrt{2} I_{KO} \cos(\theta_1 + \varphi)) - \frac{\sqrt{2} I_{KM}}{X_c} 2 \cos^2(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{\pi}{2}) - \\
 &\left. - \left[\frac{1}{X_c} \left\{ -\frac{\sqrt{2} I_{MH}}{2} \cos(\frac{\pi}{3} + \varphi) - \frac{\sqrt{2} I_{MH}}{2} \cos(\theta_1 + \varphi) + (-\sqrt{2} I_{KO} \cos(\frac{\pi}{3} + \varphi) - \sqrt{2} I_{KO} \cos(\theta_1 + \varphi)) \right\} \right] - \\
 &\left. - \frac{\sqrt{2} I_{KCI}}{X_c} 2 \cos^2(\frac{\theta_1 + \varphi_1}{2} - \frac{2\pi}{3}) = \frac{\sqrt{2} I_{KO}}{X_c} \cos(\frac{\pi}{3} + \varphi) + \frac{\sqrt{2} I_{KO}}{X_c} \cos(\theta_1 + \varphi) - \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{\sqrt{2}I_{KBH}}{X_c} 2\cos^2\left(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{2}I_{BH}}{2X_c} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right) + \frac{\sqrt{2}I_{BH}}{2X_c} \cos(\theta_1 + \varphi) + \\
& + \frac{\sqrt{2}I_{KO}}{X_c} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right) + \frac{\sqrt{2}I_{KO}}{X_c} \cos(\theta_1 + \varphi) - \frac{\sqrt{2}I_{KCI}}{X_c} 2\cos^2\left(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{2\pi}{3}\right) = \\
& = \frac{\sqrt{2}I_{KO}}{X_c} \cdot 2\cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi + \theta_1 + \varphi\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi - \theta_1 - \varphi\right) - \\
& - \frac{\sqrt{2}I_{KBH}}{X_c} 2\cos^2\left(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{2}I_{BH}}{2X_c} 2\cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi + \theta_1 + \varphi\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi - \theta_1 - \varphi\right) + \\
& + \frac{\sqrt{2}I_{KO}}{X_c} 2\cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi + \theta_1 + \varphi\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi - \theta_1 - \varphi\right) - \frac{\sqrt{2}I_{KCI}}{X_c} 2\cos^2\left(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{2\pi}{3}\right) = \\
& = \frac{\sqrt{2}I_{KO}}{X_c} 2\cos\left(\frac{\pi}{3} + \theta_1 + 2\varphi\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta_1\right) - \frac{\sqrt{2}I_{KBH}}{X_c} 2\cos^2\left(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{\pi}{3}\right) + \\
& + \frac{\sqrt{2}I_{BH}}{X_c} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \theta_1 + 2\varphi\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta_1\right) + \frac{2\sqrt{2}I_{KO}}{X_c} \cos\left(\frac{\pi}{3} + 2\varphi + \theta_1\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta_1\right) - \\
& - \frac{\sqrt{2}I_{KCI}}{X_c} 2\cos^2\left(\frac{\theta_1 + \varphi}{2} - \frac{2\pi}{3}\right)
\end{aligned}$$

(3.1)

Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu atkārtotas ieslēgšanas skaitu iespējams palielināt, jo samazinās palaišanas procesa elektriskās enerģijas zudumi ΔA , ko nodrošina saistītais strāvas invertors, atgriežot jaudu tīklā.

Asinhronā dzinēja enerģētiskie parametri ir pietiekami augsti tikai tad, ja dzinējs darbojas ar nominālo slodzi. Lai iegūtu labas lietderības un jaudas koeficienta vērtības pie mazām slodzēm, nepieciešams regulēt dzinējam pievadīto spriegumu, kura lielumu var optimizēt. Asinhronajam dzinējam ar pieres daļas tinumu ir plašākas regulēšanas iespējas un zudumu jaudu var atdot tīklā, tāpēc darbā apskatīta tieši šī dzinēja parametru optimizācija. Neatkarīgi no asinhronā dzinēja un tā regulēšanas veida, optimizācijas galvenais uzdevums ir noteikt slīdi, pie kuras ir minimālie zudumi.

Asinhronā dzinēja enerģētiskie parametri - lietderības koeficients η un jaudas koeficients $\cos\varphi$ pasliktinās, samazinoties dzinēja vārpstas slodzei. Daudziem plaši izplatītiem mehānismiem (celšanas, štancēšanas un metālapstrādes iekārtām) raksturīga ilgstoša piedziņas darbība ar mazu slodzi vai tukšgaitā. Šajos režīmos piedziņas enerģētiskie rādītāji ir zemi. Asinhronā dzinēja lietderības un jaudas koeficientus var uzlabot, regulējot

statora spriegumu [14]. Asinhronajam dzinējam ar cietu mehānisko raksturlīkni un pieres daļās tinumu pie maziem momentiem ir optimālā slīde

$$s_{opt} = \frac{R_2}{X_\mu} \cdot \sqrt{\frac{R_{1ekv}}{R_2 + R_{1ekv}}}, \quad (3.2)$$

pie kuras ir minimālie jaudas zudumi. Tā iegūta no T veida aizvietošanas shēmas (2.2. att.) dzinējam ar pieres daļas tinumu. Asinhronās mašīnas enerģētisko rādītāju uzlabošanu mazas mehāniskās slodzes gadījumā mazu slīdes vērtību diapazonā veic, izmantojot statora sprieguma regulēšanu [21]. Šīs metodes lietderība pieaug, jo izmantojot asinhrono dzinēju ar pieres daļas tinumu, tā ļauj vēl efektīvāk izmantot šīs konstrukcijas plašāku vadības iespēju dotās priekšrocības.

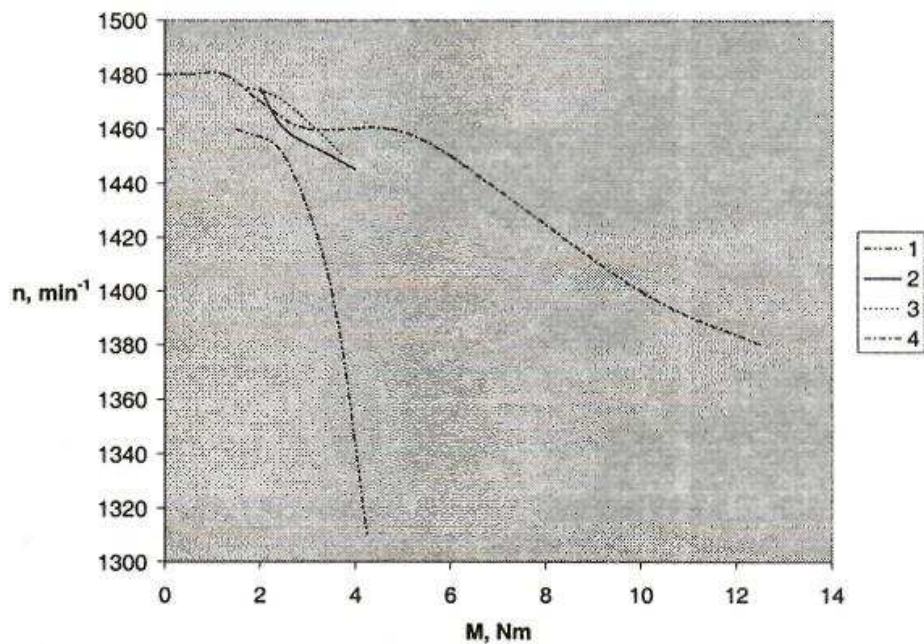
4. Eksperimentālie pētījumi

Eksperimenta galvenie uzdevumi tika izvirzīti sekojoši:

- 1) uzņemt asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu mehāniskās raksturlīknes [18];
- 2) pārbaudīt ar tīklu saistītā invertora darbības režīma iespējamību;
- 3) uzņemt faktiskās pārejas procesa raksturlīknes pieres daļas transformatorā.

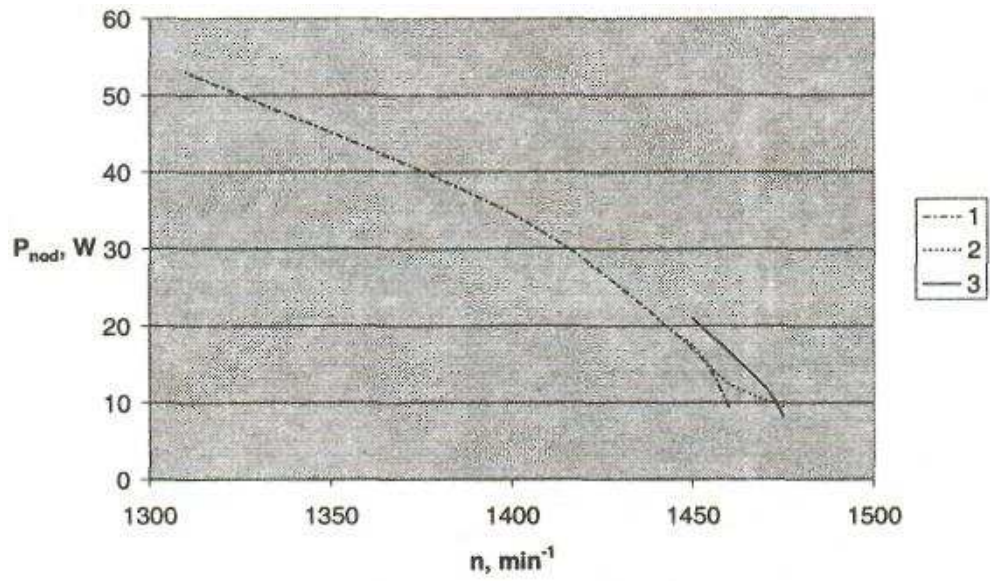
Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu mehāniskās raksturlīknes papildtransformatoru sekundārās ķēdes invertora slodzes gadījumā (4.1. att.) salīdzinātas ar sērijveida dzinēja raksturlīkni 4. Veicot jaudas regulēšanu ar invertora palīdzību, mehāniskās raksturlīknes 1,2,3 krīt straujāk nekā dzinējam bez pieres daļas tinuma 4 un maksimāli sasniedzamais moments ir aptuveni puse no nominālā, neatkarīgi no papildtransformatoru skaita fāzē, izmantotās taisngrieža nullpunkta shēmas un taisngrieža filtra parametriem. Asinhronajam dzinējam ar diviem papildtransformatoriem katrā fāzē mehāniskās raksturlīknes 2.3 ir cietākas nekā ar vienu pieres daļas transformatoru fāzē, tāpēc tālāk pētīta tikai iekārta ar diviem transformatoriem katrā fāzē. Pieslēdzot taisngrieža kompensācijas filtra kondensatorus ar $10\mu F$ kapacitāti fāzē, mehāniskās raksturlīknes 2 cietība ievērojami pieaug. Šo līkņu sākuma daļā noteikt raksturlīkņu atšķirību nevar nepietiekamas mērāparātu precizitātes dēļ. Palielinot filtra kondensatora kapacitāti līdz $30\mu F$ fāzē un izveidojot slēgumu ar nullvadu, mehāniskā raksturlīkne 3 kļūst mīkstāka nekā ar mazākas kapacitātes

filtru (līkne 2). Mehāniska raksturlīkne 3 piedziņas sistēmai ar lielu filtra kapacitāti ir novietota augstāk par sistēmas ar mazas kapacitātes filtru līkni 2.



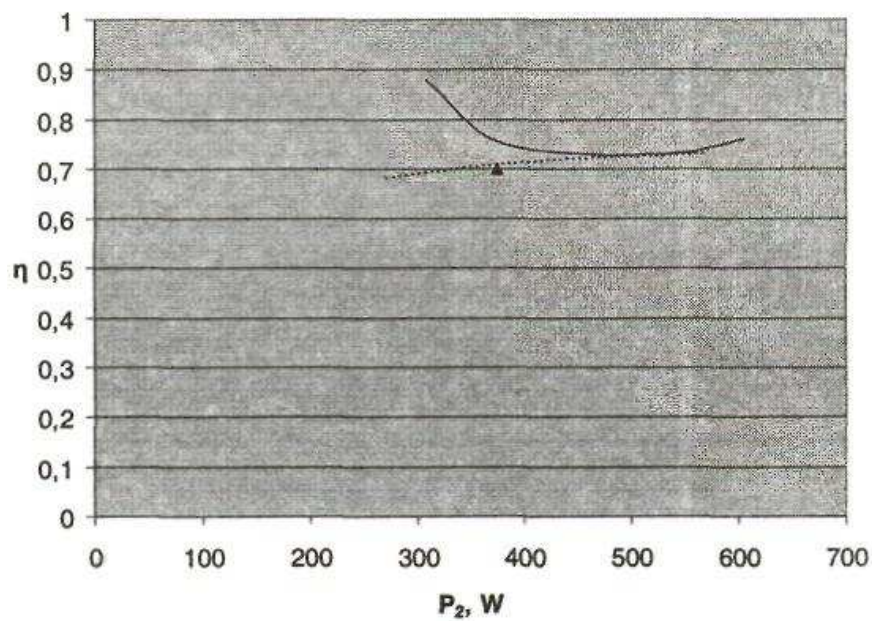
4.1. att. Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu mehāniskas raksturlīknes:

1. asinhronajam dzinējam ar vienu pieres daļas tinuma papildtransformatoru katrā fāzē pie invertēšanas leņķa $\beta_{\max} = 64,29^\circ$;
2. asinhronajam dzinējam ar diviem pieres daļas tinuma papildtransformatoriem katrā fāzē shēmai ar taisngrieža filtra kondensatora kapacitāti $10 \mu F$ pie invertēšanas leņķa $\beta_{\min} = 28,29^\circ$;
3. asinhronajam dzinējam ar diviem pieres daļas tinuma papildtransformatoriem katrā fāzē shēmai ar taisngrieža filtra kondensatora kapacitāti $30 \mu F$ pie invertēšanas leņķa $\beta_{\min} = 28,29^\circ$;
4. sērijveida dzinējam

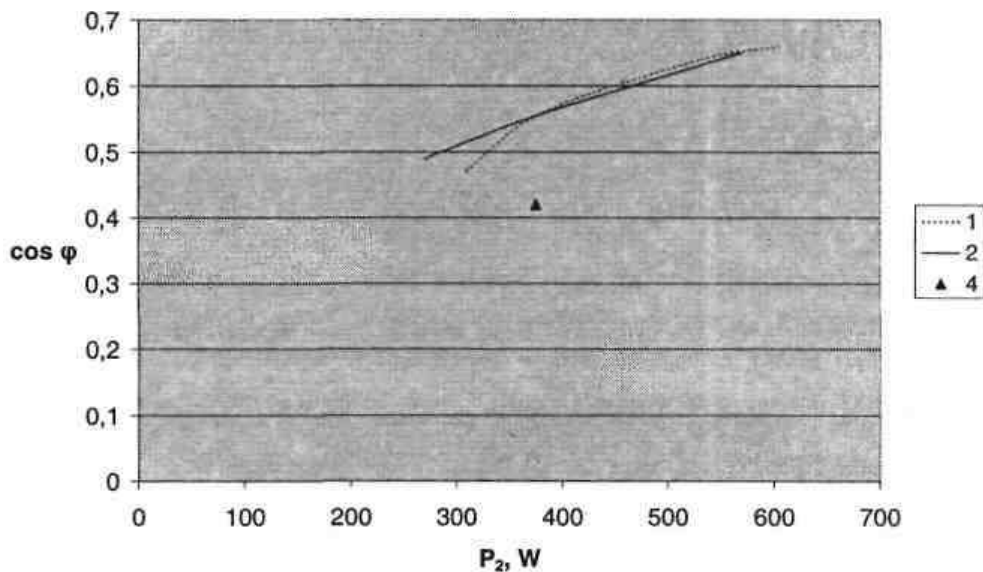


4.2. att. Pieres daļas papildtransformatoru nodotā jauda (līkņu numerācija atbilst 4.1. att.)

4.3. att. Lietderības koeficienta atkarība no mehāniskās jaudas (līkņu numerācija atbilst 4.1.



att.)



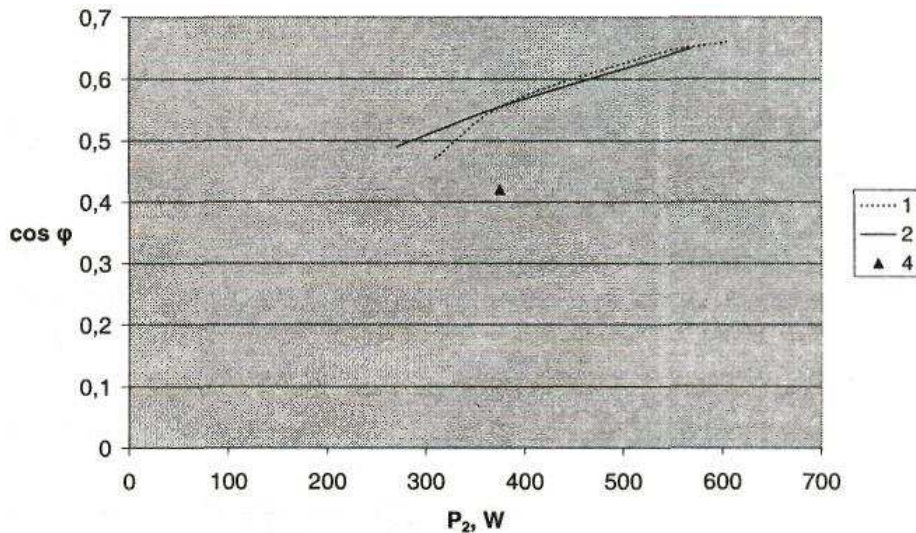
4.4. att. Jaudas koeficienta atkarība no mehāniskās jaudas (līkņu numerācija atbilst 4.1. att.)

Analizējot nodotās jaudas raksturlīknes (4.2. att.), redzams, ka visu iepriekš aplūkoto slodžu gadījumos apgriezieni samazinās, palielinot pieres daļas tinuma nodoto jaudu. Palielinot kompensācijas filtra kapacitāti, pieaug nodotās jaudas lielums, kas redzams salīdzinot līkni 3 ar atbilstošo līkni 2.

Eksperimentāli uzņemtā sakarība $\eta = f(P_2)$ parādīja, ka mazu slodžu gadījumā lietderības koeficients pie nelielas kompensācijas filtra kapacitātes (4.3. att. līkne 1) ir augstāks. Liela kompensācijas filtra kapacitāte (līkne 2) pasliktina η . Mazas filtra kapacitātes gadījumā novērojams η minimums pie aptuveni 400W jaudas, tālāk jaudas koeficients palielinās. Lielas kompensācijas filtra kapacitātes gadījumā 77 pieaug praktiski lineāri (līkne 2), palielinoties jaudai. Pie mazām slodzēm asinhronajam dzinējam ar pieres daļas tinumu lietderības koeficients ir augstāks nekā sērijveida dzinējam (līkne 4).

Mazas filtra kapacitātes gadījumā (4.4. att. līkne 1) $\cos \varphi$ ir augstāks pie lielākām mehāniskās jaudas vērtībām nekā lielas kapacitātes gadījumā (līkne 2). Neatkarīgi no invertora slodzes veida, mazu mehānisko slodžu apgabalā asinhronajam dzinējam ar pieres daļas tinumu jaudas koeficients ir augstāks nekā sērijveida dzinējam (līkne 4).

Eksperimentāli uzņemtas asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu taisngrieža ieejas strāvas dzinēja un bremzēšanas režīmos, invertora strāvas un dzinēja rotācijas ātruma pārejas



4.4. att. Jaudas koeficienta atkarība no mehāniskās jaudas (līkņu numerācija atbilst 4.1. att.)

Analizējot nodotās jaudas raksturlīknes (4.2. att.), redzams, ka visu iepriekš aplūkoto slodžu gadījumos apgriezieni samazinās, palielinot pieres daļas tinuma nodoto jaudu. Palielinot kompensācijas filtra kapacitāti, pieaug nodotās jaudas lielums, kas redzams salīdzinot līkni 3 ar atbilstošo līkni 2.

Eksperimentāli uzņemtā sakarība $\eta = f(P_2)$ parādīja, ka mazu slodžu gadījumā lietderības koeficients pie nelielas kompensācijas filtra kapacitātes (4.3. att. līkne 1) ir augstāks. Liela kompensācijas filtra kapacitāte (līkne 2) pasliktina η . Mazas filtra kapacitātes gadījumā novērojams η minimums pie aptuveni 400W jaudas, tālāk jaudas koeficients palielinās. Lielas kompensācijas filtra kapacitātes gadījumā η pieaug praktiski lineāri (līkne 2), palielinoties jaudai. Pie mazām slodzēm asinhronajam dzinējam ar pieres daļas tinumu lietderības koeficients ir augstāks nekā sērijveida dzinējam (līkne 4).

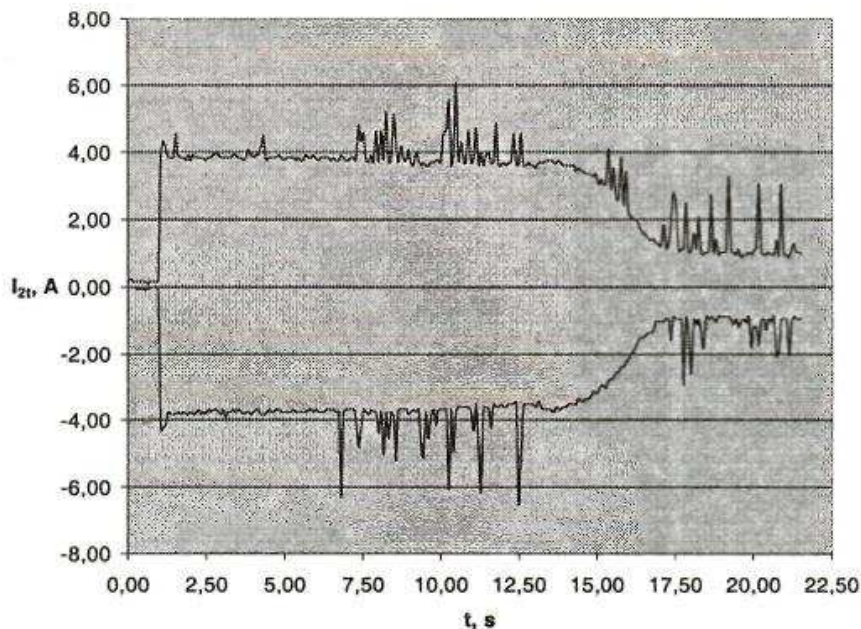
Mazas filtra kapacitātes gadījumā (4.4. att. līkne 1) $\cos \varphi$ ir augstāks pie lielākām mehāniskās jaudas vērtībām nekā lielas kapacitātes gadījumā (līkne 2). Neatkarīgi no invertora slodzes veida, mazu mehānisko slodžu apgalā asinhronajam dzinējam ar pieres daļas tinumu jaudas koeficients ir augstāks nekā sērijveida dzinējam (līkne 4).

Eksperimentāli uzņemtas asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu taisngrieža ieejas strāvas dzinēja un bremsēšanas režīmos, invertora strāvas un dzinēja rotācijas ātruma pārejas

procesu raksturlīknes. No asinhronā dzinēja palaišanas režīma papildtransformatora strāvas raksturlīknes (4.5. att.) redzams, ka slogota dzinēja palaišanas procesa sākumā dominē maz mainīga aperiodiskā strāvas sastāvdaļa, bet tās maiņa izpaužas tikai pārejas procesa beigās. Palaišanas sākumposmā invertora strāva samazinās pēc aperiodiskas likumsakarības (4.6. att.). Pārejas procesa beigās invertora strāva ir nedaudz lielāka par transformatora tukšgaitas strāvu.

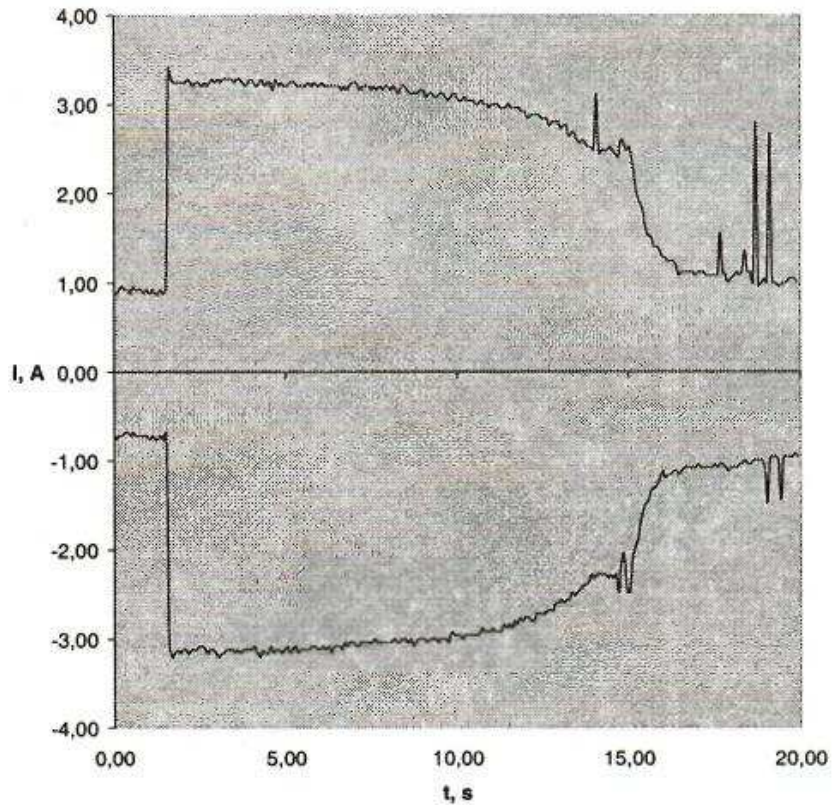
Ar tīklu saistītā strāvas invertora izejas spriegums ir proporcionāls dzinēja statora tinumu strāvai. Var izveidot atsevišķu strāvmaini, kas nav saistīts ar pieres daļas pagarinājumu un neprasa dzinēja konstrukcijas maiņu. Tīklam nodoto enerģiju var regulēt, mainot sakarību $U = kI_s$ un invertēšanas leņķi β laikā. Mainot leņķi β var stabilizēt asinhronā dzinēja darba punktu uz mehāniskās raksturlīknes. Ar statora fāzes tinuma pagarinājuma papildus transformatora palīdzību iespējams ietekmēt pārejas procesus visos darba režīmos. Asinhronā dzinēja mehāniskās raksturlīknes praktiski nemainās, ja frontālās daļas pagarinājuma tinumu nenoslogo. Statora strāvas pārveidošana spriegumā $kI = U$ nodrošina strāvas invertora darbību pie mazām statora strāvas slodzes izmaiņām.

Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu statisko mehānisko raksturlīkņu uzņemšanas eksperimenta rezultāti apliecina šādas piedziņas sistēmas vadības iespējas. Pieres daļas tinuma



4.5. att. Papildtransformatora strāva asinhronā dzinēja palaišanas režīma pie invertēšanas

$$\text{leņķa } \beta_{max} = 64,29^\circ$$



4.6. att. Strāva invertora izeja dzinēja palaišanas procesa laikā pie invertēšanas leņķa

$$\beta_{min} = 28,29^\circ$$

jaudas regulēšanas kontūrs ietver ar tīklu saistīto invertoru, kas darbojas strāvas avota režīmā. Mehānisko raksturlīkņu uzņemšanai izmantota elektromagnētiskā bremze, kas rada lineāri pieaugošu pretmomentu.

Dinamiskajā režīmā uzņemtās pārejas procesu raksturlīknes norāda, ka dzinēja apgriezieni samazinās pie lielas nodotās jaudas, kas ļauj veikt pārejas procesu vadību.

Eksperimentāli uzņemot kondensatoru bremzēšanas pārejas procesu, secinām, ka notiek jaudas nodošana tīklā.