**Profesionālās izglītības kompetences centrs**

**Rīgas Valsts tehnikums**

**Uzdevumu krājums**

**„Elektriskās mašīnas”**

**IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ**

**Rīga**

**2012**

# PRIEKŠVĀRDS

Uzdevumu krājums paredzēts Rīgas Valsts tehnikuma izglītojamiem ‘’Elektriskās mašīnas, piedziņa un vadība’’ priekšmeta apgūšanai. Grāmatā ievietoti tipveida un paaugstinātas grūtības uzdevumi un to risinājumi ar nepieciešamo likumu un formulu izskaidrojumiem. Uzdevuma krājumu var izmantot arī patstāvīgai šī priekšmeta apgūšanai.

Uzdevumu krājuma četrās pamatnodaļās apskatītas tēmas attiecīgi par līdzstrāvas mašīnām, transformatoriem, asinhronajām un sinhronajām mašīnām.

Darba kopapjoms ir 178 lappuses, tas satur 4 nodaļas, 42 tabulas un tajā ir atsauces uz 13 informācijas avotiem. Labākai izpratnei par attiecīgajām tēmām darbā ir iekļauti 27 attēli.

Darbu sastādīja Dr. Ph. Vladimirs Meļņikovs un Mg. sc. ing. Sandis Breiers.

# SATURS

[PRIEKŠVĀRDS 2](#_Toc326006217)

[SATURS 3](#_Toc326006218)

[IEVADS 6](#_Toc326006219)

[VISPĀRĪGIE METODISKIE NORĀDĪJUMI 9](#_Toc326006220)

[1. LĪDZSTRĀVAS MAŠĪNAS 10](#_Toc326006221)

[1.1. Līdzstrāvas mašīnu darbības princips un uzbūve 10](#_Toc326006222)

[1.2. Līdzstrāvas mašīnas enkura tinums 11](#_Toc326006223)

[1.3. Līdzstrāvas mašīnu klasifikācija pēc ierosmes veida 13](#_Toc326006224)

[1.4. Līdzstrāvas mašīnas EDS un elektromagnētiskais moments 14](#_Toc326006225)

[1.5. Līdzstrāvas ģenerators 15](#_Toc326006226)

[1.5.1. Līdzstrāvas neatkarīgās ierosmes (svešierosmes) ģenerators 16](#_Toc326006227)

[1.5.2. Līdzstrāvas paralēlās ierosmes (pašierosmes) ģenerators 19](#_Toc326006228)

[1.5.3. Līdzstrāvas jauktās ierosmes ģenerators 22](#_Toc326006229)

[1.6. Līdzstrāvas dzinējs 25](#_Toc326006230)

[1.6.1. Paralēlās ierosmes dzinējs 28](#_Toc326006231)

[1.6.2. Virknes ierosmes dzinējs 34](#_Toc326006232)

[1.7. Līdzstrāvas mašīnu aprēķina uzdevumi 37](#_Toc326006233)

[1. Uzdevums 37](#_Toc326006234)

[2. Uzdevums 39](#_Toc326006235)

[3. Uzdevums 41](#_Toc326006236)

[4. Uzdevums 43](#_Toc326006237)

[5. Uzdevums 45](#_Toc326006238)

[6. Uzdevums 47](#_Toc326006239)

[7. Uzdevums 49](#_Toc326006240)

[8.Uzdevums 51](#_Toc326006241)

[9. Uzdevums 53](#_Toc326006242)

[10. Uzdevums 56](#_Toc326006243)

[11. Uzdevums 58](#_Toc326006244)

[12. Uzdevums 60](#_Toc326006245)

[13. Uzdevums 62](#_Toc326006246)

[14. Uzdevums 64](#_Toc326006247)

[2. Transformatori 67](#_Toc326006248)

[2.1. Transformatoru nozīme un uzdevums 67](#_Toc326006249)

[2.2. Transformatoru nominālie lielumi 68](#_Toc326006250)

[2.3. Vienfāzes transformatora darbības princips 70](#_Toc326006251)

[2.4. Transformatora tukšgaita 77](#_Toc326006252)

[2.5. Trīsfāzu transformatori 78](#_Toc326006253)

[2.6. Transformatoru paralēlā darbība 84](#_Toc326006254)

[2.7. Autotransformatori 87](#_Toc326006255)

[2.8. Transformatoru aprēķina uzdevumi 88](#_Toc326006256)

[1. Uzdevums 88](#_Toc326006257)

[2. Uzdevums 90](#_Toc326006258)

[3. Uzdevums 93](#_Toc326006259)

[4. Uzdevums 95](#_Toc326006260)

[5. Uzdevums 97](#_Toc326006261)

[6. Uzdevums 99](#_Toc326006262)

[7. Uzdevums 101](#_Toc326006263)

[8. Uzdevums 103](#_Toc326006264)

[9. Uzdevums 106](#_Toc326006265)

[10. Uzdevums 108](#_Toc326006266)

[11. Uzdevums 110](#_Toc326006267)

[12. Uzdevums 112](#_Toc326006268)

[13. Uzdevums 114](#_Toc326006269)

[14. Uzdevums 117](#_Toc326006270)

[15. Uzdevums 119](#_Toc326006271)

[3. Asinhronās mašīnas 122](#_Toc326006272)

[3.1. Asinhrono mašīnu uzbūve 122](#_Toc326006273)

[3.2. Rotējošais magnētiskais lauks 124](#_Toc326006274)

[3.3. Rotora slīde 126](#_Toc326006275)

[3.4. Asinhronā dzinēja enerģētiskā bilance un EDS 127](#_Toc326006276)

[3.5. Rotora strāva 130](#_Toc326006277)

[3.6. Asinhronā dzinēja griezes moments 131](#_Toc326006278)

[3.7. Īsslēgto asinhrono dzinēju palaišana, reversēšana un regulēšana 134](#_Toc326006279)

[3.8. Asinhrono mašīnu aprēķina uzdevumi 138](#_Toc326006280)

[1. Uzdevums 138](#_Toc326006281)

[2. Uzdevums 140](#_Toc326006282)

[3. Uzdevums 142](#_Toc326006283)

[4. Uzdevums 145](#_Toc326006284)

[5. Uzdevums 147](#_Toc326006285)

[6. Uzdevums 149](#_Toc326006286)

[7. Uzdevums 151](#_Toc326006287)

[8. Uzdevums 153](#_Toc326006288)

[4. sinhronās mašīnas 155](#_Toc326006289)

[4.1. Sinhronās mašīnas uzbūve 155](#_Toc326006290)

[4.2. Sinhronā ģeneratora tukšgaita 159](#_Toc326006291)

[4.3. Enkura reakcija 160](#_Toc326006292)

[4.4. Lietderības koeficients un zudumi 163](#_Toc326006293)

[4.5. Sinhronā dzinēja darbības princips 166](#_Toc326006294)

[4.6. Sinhrono mašīnu aprēķina uzdevumi 168](#_Toc326006295)

[1. Uzdevums 168](#_Toc326006296)

[2. Uzdevums 170](#_Toc326006297)

[3. Uzdevums 172](#_Toc326006298)

[4 .Uzdevums 175](#_Toc326006299)

[LITERATŪRAS SARAKSTS 178](#_Toc326006300)

# IEVADS

Mūsdienās tehnika un tehnoloģijas attīstās straujos tempos un ar katru dienu pieprasa no zinātniekiem un inženieriem jaunākas paaudzes elektriskās mašīnas ar plašākām funkcionālajām iespējām, efektīvi izmantojot pieejamos resursus ražošanas procesā, kā arī samazinot to enerģētiskos zudumus un palielinot funkcionalitāti.

Sakarā ar intensīvo zinātnes un tehnikas attīstību, pieaugušo informācijas pieplūdumu un tās daudzveidību, kā arī ar to, ka priekšmetā „Elektriskās mašīnas, piedziņa un vadība” palielinās mācību programmas apjoms un dziļums, tehnikuma audzēkņiem neilgā mācību perioda laikā jāapgūst un jānostiprina liels zināšanu apjoms. Turklāt mūsdienu sarežģītā tehnika un darba nemitīgā saspringtība prasa no katra sagatavotā vidējā posma speciālista ne tikai noteiktas vispārīgas teorētiskās zināšanas, bet arī prasmi tās radoši izmantot un pastāvīgi pilnveidot praksē.

Tas nozīmē, ka audzēkņiem studiju laikā jāiegūst dziļas un noturīgas zināšanas, jāattīsta izziņas spējas, jāformē tehniskā domāšana, jāiegūst specialitātē nepieciešamā darba prasme un praktiskās iemaņas.

Audzēkņiem jāapgūst zināšanas un prasme risināt uzdevumus par:

* līdzstrāvas mašīnām;
* transformatoriem;
* asinhronajām mašīnām;
* sinhronajām mašīnām.

Vadoties pēc mūsdienu pedagoģiskās teorijas un prakses, kā arī zinātniski - eksperimentālo pētījumu rezultātiem, tad stabilu un apzinātu zināšanu apgūšanas, izziņas aktivizēšanas un tehniskās domāšanas attīstības procesu pamatā ir tikai katra audzēkņa patstāvīga un sistemātiska mācību darbība.

Tāpēc daļējai šī mērķa sasniegšanai tika sagatavots metodiskais materiāls, kas ir izveidots kā mācību palīglīdzeklis priekšmetā „Elektriskās mašīnas, piedziņa un vadība” un paredzēts patstāvīgai vielas apgūšanai.

Metodiskā materiāla izmantošanai var rekomendēt šādu darba kārtību:

* attiecīgās tēmas teorētiskā materiāla iepazīšana;
* doto uzdevumu piemēru risinājumu analīze;
* patstāvīgā uzdevuma atrisināšana un tā pārbaude pēc dotajiem rezultātiem;
* pašsagatavošanās darba precizēšana vai pārbaude, ja tas ir nepieciešams, konsultējoties ar pasniedzēju.

Katrs audzēknis strādā ar mācību palīglīdzekli patstāvīgi, izmantojot mācību literatūru, papildliteratūru vai tehniskās rokasgrāmatas.

Pielāgojot mācību metodes mūsdienu apstākļiem, ir iespējams panākt, ka:

* audzēkņi iegūst prasmes saskatīt dažādas problēmas un izprast to būtību;
* paši audzēkņi kļūst atbildīgi par mācību procesu;
* audzēkņi piedalās kā aktīvi dalībnieki visos darba procesa posmos (idejas izvirzīšana, plānošana, reālā izstrāde, atbilstība);
* audzēkņiem veidojas spēja saskatīt sistēmas kopsakarības attiecībā uz zināšanām, prasmēm un attiecībām.

Uzdevumu krājums domāts tehnikuma elektrotehnisko specialitāšu audzēkņiem elektrotehnikas uzdevumu risināšanas metožu apgūšanai. Krājumā ievietoti tipveida uzdevumi un to risinājumi ar nepieciešamo likumu un formulu izskaidrojumiem. Krājumu var izmantot arī patstāvīgai elektrotehnikas kursa apgūšanai.

Kas tad īsti ir elektriskās mašīnas? Tās ir ierīces, kas paredzētas mehāniskās enerģijas pārveidošanai elektroenerģijā vai elektroenerģijas pārveidoša­nai mehāniskajā vai arī atsevišķu elektroenerģijas parametru pārveidošanai. Elektriskās mašīnas iedala kolektormašīnās un mašīnās bez kolektora, kuras atšķiras ne vien pēc darbības principa, bet arī konstruktīvi.

Kolektormašīnas galvenokārt lieto darbam līdzstrāvas ķēdēs. Tikai nelielas jaudas kolektormašīnas izgatavo universālas, kuras var darbināt gan līdzstrāvas, gan arī maiņstrāvas ķēdēs.

Mašīnas (bez kolektora) iedala sinhronajās un asinhronajās, un tās var būt gan daudzfāžu, gan arī vienfāzes mašīnas.

Elektriskās mašīnas, kas mehānisko enerģiju pārveido elektro­enerģijā, sauc par ģeneratoriem. Tos darbina tvaika turbīnas, gāzturbīnas vai hidroturbīnas, iekšdedzes un cita veida primārie dzinēji.

Elektriskās mašīnas, kas elektroenerģiju pārveido mehāniskajā, sauc par elektrodzinējiem. Tie darbina dažādus ražošanas mehānismus, elektrificēto transportu un citas iekārtas.

Elektriskās mašīnas izmanto arī strāvas veida, sprie­guma, frekvences un citu parametru pārveidošanai. Šādas mašīnas sauc par elektromašīnu pārveidotājiem. Pie tām pieskaita arī trans­formatorus. Transformators ir statisks elektromagnētisks aparāts, un tam nav elektriskajām mašīnām raksturīgo rotējošo daļu. Tomēr elektromagnētiskie procesi un konstrukcijas pamatelementi transfor­matoriem un rotējošām elektriskajām mašīnām ir daudzējādā ziņā līdzīgi, tāpēc tos parasti aplūko kopā.

Atkarībā no elektriskās mašīnas galvenajā tinumā plūs­tošās strāvas veida izšķir maiņstrāvas un līdzstrāvas mašīnas.

Maiņstrāvas mašīnas atkarībā no magnētiskā lauka un rotora rotā­cijas frekvences iedala sinhronajās un asinhronajās mašīnās.

Jebkuras elektriskās mašīnas galvenās sastāvdaļas ir stators un rotors, kuri viens no otra atdalīti ar gaisa spraugu. Enerģijas pārveidošana elektriskajās mašīnās notiek ar magnētiskā lauka starpniecību, kura pastiprināšanai statorā un rotorā izmanto magnētiska materiāla serdes.

# VISPĀRĪGIE METODISKIE NORĀDĪJUMI

Apgūstot mācību vielu, tā burtnīcā jākonspektē. Galvenie definējumi jāpasvītro, bet formulas jāierāmē. Zīmējot elektriskās shēmas, jāievēro ar valsts standartiem nosacītie apzīmējumi.

Neskaidros jautājumos jākonsultējas pie mācību priekšmeta pasniedzēja.

Rūpīgi jāizpēta mācību grāmatās, kā arī šajos mācību uzdevumos rekomendētie uzdevumi un piemēri.

Katram no audzēkņiem jāizpilda sava varianta uzdevumi. Patstāvīgā darba variantu izvēlas atbilstoši pasniedzēja norādījumiem. Ja atrisinātie uzdevumi neatbilst audzēkņa patstāvīgā darba variantam, darbu neieskaita.

Patstāvīgo darbu uzdevumu risināšana:

1. Noraksta uzdevuma noteikumus un uzzīmē zīmējumu vai shēmu, ja tāda ir dota vai nepieciešama uzdevuma risināšanas gaitā;
2. Uzraksta nepieciešamos paskaidrojumus, aprēķināmo lielumu apzīmējumus, formulas, kurās jāievieto skaitļi un aprēķinātiem lielumam pieraksta mērvienības.

Uzdevumu risināšanas piemēri doti šajos mācību uzdevumos.

Patstāvīgā darba izpildei ir svarīga nozīme mācību priekšmeta apgūšanā. Tas jāizpilda uz A4 lapām, atstājot brīvu lapu malas recenzenta piezīmēm. Zīmējumus un shēmas izpildīt ar zīmuli. Zīmējumos jānorāda nepieciešamie izmēri. Shēmās jālieto tikai ar valsts standartiem noteiktie nosacītie apzīmējumi. Zīmējot vektoru diagrammas un grafikus, jānorāda mērogs.

Risinot uzdevumus, jālieto Starptautiskā mērvienību sistēma SI.

Darba beigās jānorāda izmantotā literatūra un darba izpildes datums.

Saņemot pārbaudītu darbu ar pasniedzēja aizrādījumiem, jāizlabo kļūdas un jāatkārto nepietiekami apgūtā mācību viela. Ja darbs nav ieskaitīts, tas jāpārstrādā atbilstoši pasniedzēja norādījumiem un kopā ar neieskaitīto darbu jānosūta recenzēšanai.

# 1. LĪDZSTRĀVAS MAŠĪNAS

## 1.1. Līdzstrāvas mašīnu darbības princips un uzbūve

Līdzstrāvas mašīnas plaši izmanto kā ģeneratorus un dzinējus. Ģeneratori pārveido mehānisko enerģiju elektriskajā, bet dzinēji — elektrisko enerģiju mehāniskajā.

Elektrisko mašīnu darbības principa pamatā ir elektromagnētiskās indukcijas parādība un elektromagnētisko spēku darbība. Elektrodzinējspēku (EDS), kas inducējas vadā, tam pārvietojoties magnētiskajā laukā, aprēķina pēc formulas

*e = Bℓv*, (1.1.)

kur *B* — magnētiskā indukcija tajā punktā, kur dotajā laika momentā atrodas vads, T;

*ℓ* — vada aktīvais garums, t.i., tā daļa, kas atrodas magnētiskajā laukā, m;

*v* — vada kustības relatīvais ātrums attiecībā pret magnētisko lauku per­pendikulāri magnētiskā lauka spēka līnijām, m/s.

Ja vada galus pieslēdz pretestībai, tad inducētais EDS noslēgtajā ķēdē uzturēs strāvu *i*. Uz vadu, kurā plūst strāva un kas novietots perpendikulāri magnētiskā lauka spēka līnijām, darbojas elektromagnētisks spēks

*Fv = Biℓ,* (1.2.)

kur *i* — strāvas stiprums, A.

1.1. attēlā parādīts līdzstrāvas ģeneratora vienkāršots modelis. Starp diviem poliem N un S atrodas mašīnas rotējošā daļa — enkurs. Tinumā inducēsies EDS un tā skaitlisko lielumu nosaka formula

*ev* = 2*B·l·v·*sin*α*, (1.3.)

kur 2 - virknē slēgto vadu skaits vijumā;

*B* - magnētiskā indukcija telpā, kur aplūkojamā laika momentā atrodas vadi;

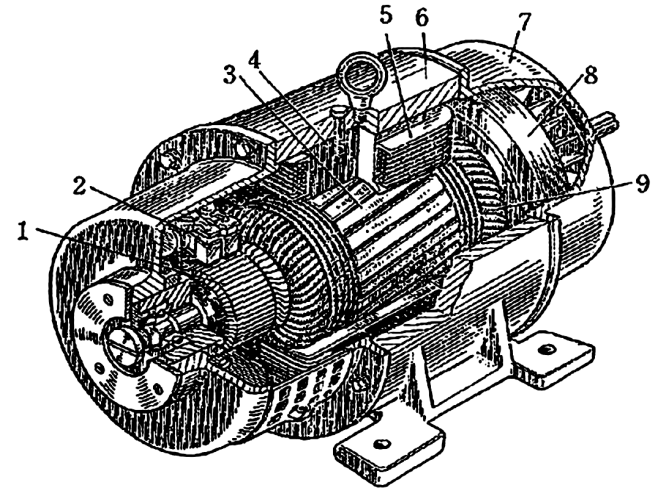
*l* - vadu aktīvais garums (tā vijuma daļa, kuru šķērso magnētiskā spēka līnijas);

 - vijuma aploces ātrums (*D* - vijuma platums, *n* - vijuma rotācijas frekvence min-1);

*α* - leņķis starp magnētiskās indukcijas un vijuma aploces ātruma vektoriem.

Stators sastāv no statnes, kuras iekš­pusē stiprinās galvenie un papildpoli ar tinumiem. Galvenie poli kalpo pamatplūsmas radīšanai, bet papildpoli - komutācijas uzla­bošanai (1.2. att.).

|  |
| --- |
| 1.1. att.Līdzstrāvas ģeneratora vienkāršots modelis |



1.2. att. Līdzstrāvas mašīnas uzbūve: 1 - kolektors; 2 - sukas; 3 - enkura serde;

4 - galvenā pola serde; 5 - ieros­mes spole; 6 - statne; 7 - gultņa vairogs; 8 - ventilators;

9 - enkura tinums.

Papildpolus parasti izmanto mašīnās ar jaudu, kas lielāka par 1 kW. To lie­tošanas mērķis — samazināt dzirksteļošanu zem sukām.Papildpols sastāv no serdes un spoles. Enkura tinums sastāv no sekcijām, kuru galus piestiprina (parasti pielodē) pie kolektora plāksnītēm. Suku mezgls sastāv no suku traversas un suktura. Viens no līdzstrāvas mašīnas drošas darbības sva­rīgākiem nosacījumiem ir labs kontakts starp sukām un kolektoru. Tāpēc suku mezgls ir viens no nozīmīgākajiem mašīnā.

## 1.2. Līdzstrāvas mašīnas enkura tinums

Enkura tinuma elements ir sekcija, ko izgatavo no izolēta vara. Sekcija sastāv no viena vai vairākiem vijumiem. Sekcijas posmu, kas at­rodas enkura rievā, sauc par sekcijas aktīvo malu, jo tajā, enkuram rotējot, inducējas EDS, bet posmus ārpus enkura — par frontālajiem savienojumiem, jo tajos neinducējas EDS. Katru spo­les aktīvo malu ievieto savā rievā un šādu tinumu sauc par spoļu tinumu.

Ar rievu skaitu izteiktu attālumu starp sekcijas aktīvajām malām enkurā sauc par tinuma pirmo soli y1. Izsakot polu dalī­jumu τ ar enkura rievu skaitu Z, dabū, ka

 (1.4.)

kur 2p — mašīnas polu skaits. Kā jau atzīmēts, tinuma pirmais solis y1 ≈ τ vai

 (1.5.)

|  |
| --- |
|  |

1.3. att. Cilpas tinums

Lai tinuma sekcijas varētu pareizi izvietot rievās un pareizi saslēgt, tad lieto jēdzienu tinuma solis. Ar rievu skaitu izteiktu attālumu starp sekcijas aktīvajām malām enkurā sauc par tinuma pirmo soli y1. Izsakot polu dalī­jumu τ ar enkura rievu skaitu Z, dabū, ka

 (1.6.)

kur 2p — mašīnas polu skaits. Kā jau atzīmēts, tinuma pirmais solis y1 ≈ τ vai

 (1.7.)

Nelielā korekcija ± k rodas tādēļ, ka y1 jābūt veselam skaitlim. Attālumu (rievu skaitu) starp vienas sekcijas beigu malu un tai sekojošās sekcijas sākuma malu sauc par tinuma otro soli y2, bet attālumu starp pirmās un tai sekojošas sekcijas sākuma malām sauc par tinuma rezultējošo soli y. Cilpas tinumam

y = y1- y2. (1.8.)

Cilpas tinumā vienas sekcijas gali pievienoti kolektora bla­kus plāksnītēm, un tādēļ kolektora solis yk = 1. Sukas enkura tinumu sadala paralēlos zaros. Cilpas tinuma paralēlo zaru skaits 2a vienmēr vienāds ar mašīnas polu skaitu 2p, t. i.,

2a = 2p. (1.9.)

Tātad, jo vairāk mašīnai polu, jo vairāk paralēlo zaru ir en­kura tinumam un jo mazāka strāva I plūst katrā paralēlajā zarā:

 (1.10.)

kur Ie — enkura strāva. Tinuma soļi y1 un y2 pēc lieluma tuvi polu dalījumam τ.

## 1.3. Līdzstrāvas mašīnu klasifikācija pēc ierosmes veida

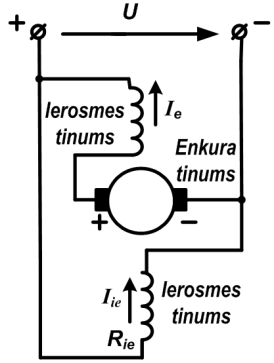
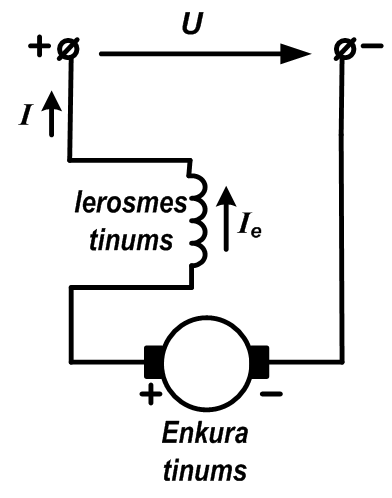
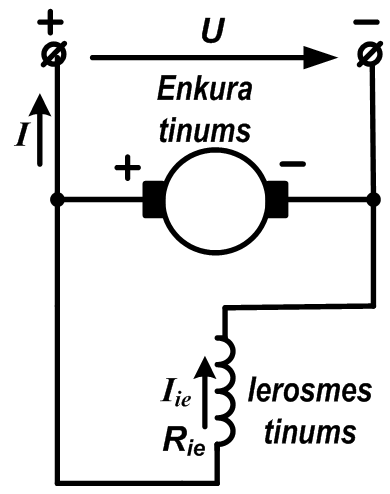
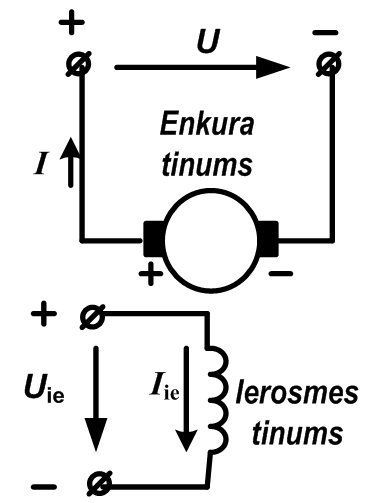
Līdzstrāvas mašīnas — ģeneratorus un dzinējus, atkarībā no tā, kā baro mašīnas ierosmes tinumu, iedala neatkarīgās ierosmes, paralēlās ierosmes, virknes ierosmes un jauktās ierosmes mašīnas.

Neatkarīgas ierosmes mašīnas tinumu baro no mašī­nas neatkarīgs līdzstrāvas avots*,* piemēram, līdzstrā­vas ģenerators, akumulatoru baterija, pusvadītāju taisngriezis u. c.

Ģeneratorus ar paralēlo, virknes un jaukto ierosmi sauc par pašierosmes ģeneratoriem, jo to ierosmes tinumu baro pats ģenerators, t. i., pašierosmes ģeneratora ierosmes tinums pie­vienots ģeneratora enkuram.

Virknes ierosmes mašīnā ierosmes tinums saslēgts virknē ar enkura tinumu. Tā kā visa enkura strāva plūst caur ierosmes tinumu, tad to dimensionē atbilstoši enkura strāvas nominālajai vērtībai. Polu ierosmes spolēm, kas izgatavotas no samērā liela šķērsgriezuma vada, ir neliels vijumu skaits un maza kopējā pretestība. Šo mašīnu slodzei mainoties, plašās robežās mainās ierosmes strāva un reizē ar to arī galveno polu magnē­tiskā plūsma Ф.

Jauktās ierosmes mašīnā ir divi ierosmes tinumi, no kuriem viens savienots virknē ar enkura tinumu, bet otrs pievienots tam paralēli. Tātad uz katras galvenā pola serdes ir divas ierosmes spoles. Abus ierosmes tinumus var saslēgt līdzslēgumā (tad abu ierosmes spoļu plūsmas summējas) vai pretslēgumā (tad abu ierosmes spoļu plūsmām ir pratēji virzieni). Parasti viens no ierosmes tinumiem ir galvenais, bet otram ir palīgnozīme.

******

a b c d

1.4. att. Līdzstrāvas mašīnu ierosmes shēmas.

a – neatkarīgā ierosme; b – paralēlā ierosme; c – virknes ierosme; d – jauktā ierosme.

## 1.4. Līdzstrāvas mašīnas EDS un elektromagnētiskais moments

Līdzstrāvas mašīnas enkuram rotējot, enkura tinuma vadi šķel galveno polu magnētisko plūsmu un katrā vadā inducējas periodiski mainīgs EDS. Aprēķinot enkura tinuma vienā vadā inducēto EDS, izdevīgi pieņemt, ka magnētiskā indukcija gaisa spraugā gar enkura aploci ir nemainīga un vienāda ar magnētiskās indukcijas vidējo vērtību *B*vid:

 (1.11.)

kur Ф — viena pola magnētiskā plūsma, Wb;

2*p* — mašīnas polu skaits (vienmēr pārskaitlis);

D — enkura diametrs, m;

*l* — enkura garums, m.

Tā kā enkura tinuma vadi pārvietojas perpendikulāri magnē­tiskajām līnijām, tad saskaņā ar elektromagnētiskās indukcija likumu enkura tinuma viena vada inducētais vidējais EDS

 (1.12.)

kur v - enkura tinuma vadu lineārais ātrums, m/s. Enkuram griežoties ar ātrumu n (apgr./min),

 (1.13.)

Ja enkura tinumā ir *N* vadi un sukas sadala tinumu 2*a* para­lēlos zaros, tad tinuma katrā paralēlajā zarā virknē savienoti *N*/2*a* vadi. Tātad līdzstrāvas mašīnas enkura EDS

 (1.14.)

Bet katrai mašīnai lielumi *p*, *N* un *a* ir nemainīgi, un tādēļ

*E = cenΦ*, kur (1.15.)

 (1.16.)

ir dotajai mašīnai nemainīgs koeficients.

Līdzstrāvas mašīnu darbinot ģeneratora vai dzinēja režīmā, mašīnas ierosmes plūsmas un enkura tinuma vados plūstošo strāvu mijiedarbība rada elektromagnētisko momentu, kas ģeneratora režīmā ir bremzējošais, bet dzinēja režīmā — grie­zes moments.

Ja enkura tinumam ir 2*a* paralēli zari, pa kuriem sadalās enkura strāva *Ie* tad katrā zarā, t.i., enkura tinuma katrā vadā plūst strāva  Saskaņa ar Ampēra likumu uz enkura tinuma katru vadu dar­bojas elektromagnētiskais spēks, kura vidējā vērtība *Fvid = Bvid·I·l.* Tad uz enkura tinuma katru vadu darbojas elektromagnētis­kais moments, kura vidējā vērtība ir  Ja enkura tinumā ir *N* vadu, tad mašīnas elektromagnētiskais moments

 (1.17.)

Tā kā

 (1.18.)

dotajai mašīnai ir nemainīgs lielums, tad līdzstrāvas mašīnas enkura attīstītais elektromagnētiskais moments (*N·m*)

*M = cmIe*Φ. (1.19.)

## 1.5. Līdzstrāvas ģenerators

Līdzstrāvas ģeneratoru darbību raksturo četri pamatlielumi: ģeneratora spriegums U, slodzes strāva I, ierosmes strāva Iie un enkura griešanās ātrums n, kuru parasti uztur konstantu.

Par mašīnas piemērotību darbam spriež pēc mašīnas rak­sturlīknēm, kuras grafiski attēlo sakarību starp diviem mašī­nas pamatlielumiem, ja pārējie divi nemainās.

Līdzstrāvas ģeneratora darbību raksturo tukšgaitas, ārējā un regulēšanas raksturlīkne.

Tukšgaitasraksturlīkne rāda ģeneratora enkurā inducētā EDS atkarību no ierosmes strāvas *Iie*, ja ģenerators dar­bojas bez slodzes ar nemainīgu griešanās ātrumu, t. i., E=U0=f1(*Iie*), ja *I* = 0 un *n = nN =* const, kur *U*0 — ģeneratora spriegums tukšgaitā.

Arējā raksturlīkne rāda ģeneratora sprieguma U at­karību no slodzes strāvas I, ja griešanās ātrums konstants un nemainīga ierosmes strāva (svešierosmei) vai nemainīga ierosmes ķēdes pretestība *Rie* (pašierosmei), t. i., *U = f*2(*I*), ja *n = nN =* const un *Iie* = const vai *Rie* = const.

Regulēšanas raksturlīkne rāda, kā jāmaina ierosmes strāva *Iie*, lai, mainoties ģeneratora slodzei (*I*), uzturētu konstantu ģeneratora spriegumu, ja griešanās ātrumu nemaina, t. i., *Iie = f*3(*I*), ja *U* = const *n = nN* = const.

Ģeneratoru raksturlīknes uzņem eksperimentāli.

### 1.5.1. Līdzstrāvas neatkarīgās ierosmes (svešierosmes) ģenerators

Svešierosmes ģeneratora slēguma shēma dota 1.5. attēlā. Ģeneratora ierosmes strāvu maina ar ierosmes ķēdē ieslēgto regulēšanas reostatu *Rr*; ģeneratoram pievienotos patērētājus atvieto slodzes reostats *Rsl*.

Regulēšanas reostata *Rr* kontakts „0” (ierosmes ķēdes pārtraukšanai) pievienots ierosmes tinuma pretējam galam. Tad pārbīdot slīdkontaktu, varam pārtraukt ierosmes ķēdi, iepriekš saslēgtu īsi ierosmes tinumu. Pievienojot svešierosmes ģeneratoram slodzi, ģeneratora EDS noslēgtajā enkura ķēdē uztur slodzes strāvu *I = Ie*. Otrā Kirhofa likuma izteiksme ģeneratora enkura ķēdei ar pievienoto slodzes pretestību *Rsl* ir šāda:

*E = I· Rsl* + *I·Re*, (1.20.)

kur *Re* — enkura ķēdes pretestība, kura sevī ietver šādas virknē saslēgtas pretestības: enkura tinuma pretestību, pārejas pretestības starp sukām un kolektoru un ar enkuru virknē slēgto tinumu. Tā kā ģeneratora spriegums *U = I·Rsl* , tad *E = U +* *IeRe* vai

*U = E* - *IeRe*. (1.21.)

|  |
| --- |
|  |

1.5. att*.* Neatkarīgas ierosmes ģeneratora shēma

Ģeneratora sprieguma procentuālā izmaiņa Δ*U*, ģeneratora slodzei mainoties no nulles līdz nominālajai:

 (1.22.)

Svešierosmes ģeneratoriem parasti Δ*U* = 5—10%. Tā kā *E = cE·n·*Φ, tad

*U = cE·n·*Φ – *IeRe*. (1.23.)

Neatkarīgas ierosmes (svešierosmes) ģeneratora vienādojumi:

1. EDS vienādojums: *E =* *cE·*Ф*·n..* Parasti ģeneratora enkuru griež ar konstantu ātrumu *n*. Magnētisko plūsmu Ф vajadzības gadījumā regulē ar reostatu ierosmes ķēdē.

2. Momenta vienādojums:  Momenta vienādojums rāda, ka enkura vārpstai pievadāmais moments *M* (ja magnētisko lauku nemaina Ф = const) atkarīgs no strāvas *Ie*, ar kādu ģeneratoru slogo.

3. Sprieguma vienādojums:  Sprieguma vienādojums rāda, ka slodzes strāvu palielinot, spriegums uz ģeneratora spailēm samazinās.

4. Strāvu vienādojums: *I = Ie*.

**1.1. Piemērs.** Aprēķināt neatkarīgas ierosmes līdzstrāvas mašīnas, kura darbojas ģeneratora režīmā, enkura EDS un elektromagnētisko bremzējošo momentu Mbr, ja mašīnas polu skaits 2*p* = 6, enkura rotācijas frekvence n = 750 min-1, enkura tinuma aktīvo vadu skaits N = 500 un paralēlo zaru skaits 2*a* = 6, bet polu magnētiskā plūsma Ф = 0,05 Wb, strāva enkura ķēdē *Ie* = 16 A.

Atrisinājums.

1. Līdzstrāvas mašīnas enkura EDS



2. Elektromagnētiskais bremzējošais moments



**1.2. Piemērs.** Aprēķināt spriegumu uz ģeneratora spailēm un konstruēt tā ārējo raksturlīkni, ja neatkarīgas ierosmes ģeneratora EDS *E* = 120 V, enkura ķēdes pretestība *Re* = 0,1 Ω un, slodzei izmainoties, strāva enkura ķēdē izmainās sekojoši: 0; 50; 100 A.

Atrisinājums.

1. Ģeneratora spriegums, izmainoties slodzei

*U*0 = *E – Ie*0*·Re* = 120 - 0·0,1 = 120 V.

*U*1 = *E – Ie*1*·Re* = 120 - 50·0,1 = 115 V.

*U*2 = *E – Ie*2*·Re* = 120 - 100·0,1 = 110 V.

Izmantojot 1. punktā aprēķinātos lielumus, konstruē ārējo raksturlīkni *U* = *f*(*Ie*)

|  |
| --- |
| 1.6. att. Neatkarīgas ierosmes ģeneratora ārējā raksturlīkne |

**1.3. Piemērs.** Aprēķināt līdzstrāvas ģeneratora EDS pie nemainīgas magnētiskas plūsmas (Ф = const), ja palielinot enkura rotācijas frekvenci 1,5 reizes, tā EDS palielinājās par 110 V.

Atrisinājums.

1. Sākotnējais enkura EDS: 

2. Enkura EDS, palielinot rotācijas frekvenci 1,5 reizes: (*E* + 110) = *cE·*1,5*·n·*Ф.

3. Izdalot 2. vienādojumu ar 1. vienādojumu, iegūst  no kurienes 

### 1.5.2. Līdzstrāvas paralēlās ierosmes (pašierosmes) ģenerators

Paralēlās ierosmes ģeneratora, kuru sauc arī par šunta ģeneratoru, slēguma shēma dota 1.7. at­tēlā. Ģeneratora ierosmes tinumu, kas pieslēgts paralēli enkuram, baro pats ģenerators. Enkura strāva *Ie = I + Iie*., kur *I* – slodzes strāva.

Ierosmes tinuma spoles izgatavotas ar lielu vijumu skaitu no maza šķērsgriezuma vada. Tāpēc ierosmes tinumam ir relatīvi liela pretestība un ierosmes strāva *Iie* normālā darba režīmā daudzkārt mazāka par enkura strāvu (*Iie* = (0,01…0,05)*Ie*).

Ar primāro dzinēju griežot paralēlās ierosmes ģeneratora en­kuru, ģenerators pats ierosinās, t. i., ierosmes tinums rada mašīnas darbībai nepieciešamo galveno magnētisko plūsmu Φ bez ārēja līdzstrāvas avota. Pašierosināšanās pamatā ir paliekošais magnētisms mašī­nas polos.

Griežot ģeneratora enkuru, tā tinuma vadi šķeļ paliekošā magnētisma plūsmu Φ*pal*, tādēļ enkurā inducējas neliels EDS *Epal*, kas ierosmes ķēdē rada nelielu ierosmes strāvu *Ii*0, kura savukārt rada papildu magnētisko plūsmu Φ*i*0. Pašierosināšanās process turpinās, kamēr EDS sasniedz vērtību E, kura atbilst ģeneratora tukšgaitas raksturlīknes (1.7. attēls) krustpunktam K ar taisni

*E = Iie*(*Re + Rie + Rr*), (1.24.)

kur *Rie* — ierosmes tinuma pretestība;

*Rr* — ierosmes ķēdes reostatam ieregulēta pretestība. Šī taisne ir jo stāvāka, jo lielāka ierosmes ķēdē ieslēgtā pre­testība *Rr*. EDS minimālajai vērtībai *Emin* atbilstošo pretestības *Rr* vērtību sauc par kritisko pretestību *Rkr*:

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

1.7.att*.* Paralēlas ierosmes ģeneratora shēma (a) un tukšgaitas raksturlīkne (b)

 (1.25.)

Pašierosināšanas nav iespējama, ja *Rr > Rkr*. Ja regulēšanas reostatu pilnīgi izslēdz (*Rr* = 0), tad ierosmes strāva sasniedz vis­lielāko vērtību *Iie max* un enkura tinuma inducējas maksimāli iespē­jamā EDS vērtība *Emax*. Tādējādi ar ierosmes ķēdē ieslēgto reostatu *Rr* var regulēt pa­ralēlas ierosmes ģeneratora EDS robežās *Emin ≤ E ≤ Emax*.

Paralēlas ierosmes ģeneratora vienādojumi. EDS, momenta un enkura ķēdes sprieguma vienādojumi ir tādi paši, kā svešierosmes ģeneratoram:

*E =* *cE·*Ф*·n.*





Strāvu vienādojums. Pie pietiekami lielas slodzes strāvas ierosmes strāvas vērtība ir tikai daži procenti no enkura strāvas. Vislielākā ir enkura strāva *Ie* sadalās divas nevienādās strāvās:



**1.4. Piemērs.** Paralēlās ierosmes ģeneratora nominālais spriegums *UN* = 220 V, nominālā slodzes pretestība *RN* = 5,5 Ω, enkura tinuma pretestība *Re* = 0,5 Ω, paralēlās ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 110 Ω, enkura nomināla rotācijas frekvence *nN* = 1460 min-1. Aprēķināt ģeneratora EDS, primārā dzinēja griezes momentu, ģeneratora jaudas zudumus enkurā un ierosmes tinumos, ģeneratora lietderības koeficientu, ja tā summārie jaudas zudumi sastāda Δ*P* = 2,2 kW.

Atrisinājums.

1. Slodzes nominālā strāva



2. Strāva ierosmes tinumā



3. Strāva enkura ķēdē



4. Ģeneratora EDS



5. Ģeneratora elektromagnētiskā jauda



6. Ģeneratora atdota (lietderīgā) jauda



7. Primārā dzinēja jauda, kas nepieciešama ģeneratora enkura griešanai



8. Primārā dzinēja nepieciešamais griezes moments



9. Ģeneratora lietderības koeficients



10. Jaudas zudumi enkurā *Pe* un ierosmes tinumā *Pie*





**1.5. Piemērs.** Paralēlās ierosmes ģeneratora spriegums *UN* = 230 V pie slodzes *I* = 200 A.

Aprēķināt strāvu enkura ķēdē un ģeneratora atdoto jaudu, ja ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 40 Ω.

Atrisinājums.

1. Strāva ierosmes tinumā



2. Strāva enkura ķēdē



3. Ģeneratora atdotā jauda

*P*2 = *U·I* = 230·200 = 46000 W = 46 kW.

### 1.5.3. Līdzstrāvas jauktās ierosmes ģenerators

Jauktās ierosmes ģeneratoriem, kurus sauc arī par kompaund – ģeneratoriem, ir divi ierosmes tinumi, kas slēgti enkura tinu­mam virknē un paralēli (1.8. att. a). Mašīnas plūsmu galvenokārt nodrošina para­lēlais tinums, bet virknes tinums, kas slēgts saskaņoti ar paralēlo (to radītās plūsmas sakrīt), kalpo ārējās raksturlīknes stingruma palielināšanai.

|  |  |
| --- | --- |
| **a** | ***b*** |

1.8. att*.* Jauktas ierosmes ģeneratora shēma (*a*) un ārējās raksturlīknes (*b*)

EDS, momenta un enkura ķēdes sprieguma vienādojumi ir tādi paši, kā svešierosmes ģeneratoram

*E =* *cE·*Ф*·n.*





Strāvu vienādojums. No shēmas (1.8. att.) redzams, kā vislielākā ir enkura strāva *Ie*: tā sadalās divas nevienādās strāvas



Tukšgaitā ģeneratorā darbojas tikai paralēlās ierosmes tinums, jo *I* = 0. Pieslē­dzot slodzi, virknes ierosmes tinumā arī plūst strāva, kura uzmagnetizē mašīnu un pilnīgi kompensē enkura reakcijas atmagnetizējošo darbību un sprieguma kritumu enkura ķēdē. Ārējās raksturlīknes stingrums pieaug (līkne 1 1.8. attēlā *b*). Tādē­jādi var panākt, lai spriegums uz ģeneratora spailēm būtu gandrīz nemainīgs.

Ja nepieciešams kompensēt vēl sprieguma kritumu līnijā līdz patērētājiem, to panāk, vēl palielinot vijumu skaitu virknes ierosmes tinumā (līkne 2).

Jauktas ierosmes ģeneratoram ar tinumu pretslēgumu var iegūt strauji krītošu ārējo raksturlīkni (līkne 3). Līknes raksturs izskaidrojams ar virknes ierosmes tinuma atmagnetizējošo darbību attiecībā pret paralēlās ierosmes tinumu.

Ģeneratorus ar saskaņotu tinumu slēgumu izmanto spēka iekārtu barošanai, ja slodze ir mainīga. Tinumu pretslēgumu izmanto speciālas nozīmes ma­šīnās, piemēram, metināšanas ģeneratoros.

**1.6. Piemērs.** Aprēķināt jauktas ierosmes ģeneratora EDS, ja ģeneratora nominālais spriegums *UN* = 110 V, ierosmes strāva *Iie* = 2 A, enkura tinuma pretestība *Re* = 0,25 Ω, virknes ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 0,15 Ω un nominālā slodzes strāva *IN* = 30 A.

Atrisinājums.

1. Strāva enkura ķēdē



2. Ģeneratora EDS



**1.7. Piemērs.** Konstruēt līdzstrāvas ģeneratora regulēšanas raksturlīkni, ja tā spriegums *U* = 110 V, enkura ķēdes pretestība *Re* = 1 Ω, enkura ķēdes strāva izmainās no 0 līdz 30 A un ģeneratora tukšgaitas raksturlīkne attēlota 1.9. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

1.9. att. Ģeneratora tukšgaitas raksturlīkne

Atrisinājums.

1. Ģeneratora EDS 

Ievietojot šajā vienādojumā enkura ķēdes strāvas un pretestības vērtības aprēķina EDS vērtības. Pēc tam izmantojot ģeneratora tukšgaitas raksturlīkni (1.9. att.), katrai aprēķinātai EDS vērtībai nosaka atbilstošās ierosmes strāvas vērtības un rezultātus apkopo 1.1. tabulā.

1.1. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ie, A | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| E, V | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 135 | 140 |
| Iie, A | 0,2 | 0,22 | 0,25 | 0,27 | 0,3 | 0,35 | 0,4 |

2. Pēc iegūtajiem datiem konstruē ģeneratora regulēšanas raksturlīkni *Iie = f*(*Ie*):

|  |
| --- |
|  |

1.10. att. Ģeneratora regulēšanas raksturlīkne

## 1.6. Līdzstrāvas dzinējs

Jebkura elektriskā mašīna ir apgriežama, t.i., to var darbināt gan kā ģeneratoru, gan kā dzinēju. Tāpēc, ja līdzstrāvas mašīnu pieslēdz tīklam, tad ierosmes un enkura tinumos plūst strāva. Magnētiskās plūsmas un enkura strāvas mijiedarbības rezultātā uz dzinēja enkuru darbojas elektromagnētiskais griezes moments M. Šis moments nav bremzējošs, kā tas bija ģeneratorā, bet sakrīt ar rotācijas virzienu.Dzinēja darbības laikā tā enkurs griežas magnētiskā laukā. Tāpēc tā tinumā in­ducējas EDS *Ee*. Dzinējā šis EDS vērsts pretī enkura strāvas *Ie* virzienam, un tāpēc bieži to sauc arī par pret-EDS.Dzinējam pievadītais spriegums *U* kompensē enkura pret-EDS un sedz sprie­guma kritumu enkura ķēdes pretestībā

*U = Ee + Ie·*∑ *R*. (1.26.)

No izteiksmes (1.26.) iegūstam

 (1.27.)

Reizinot vienādojuma (1.26.) abas puses ar *Ie*, iegūstam jaudas vienādojumu

 (1.28.)

kur *U·Ie* — enkura ķēdei pievadītā jauda;

 — elektriskie zudumi enkura ķēdē. Lielumu *Ee·Ie* var pārveidot šādi:  vai

 (1.29.)

kur *ω =* 2*πn*/60 — enkura leņķiskā rotācijas frekvence;

*Pem* — dzinēja elektromagnētiskā jauda. Elektromagnētiskā jauda dzinējā tiek pārveidota mehāniskajā jaudā, kas nepie­ciešama rotora griešanai. Ņemot vērā (1.29), izteiksmi (1.28) var pārveidot

 (1.30.)

No šī vienādojuma redzams, ka, pieaugot dzinēja slodzei (elektromagnētiskajam momentam *M*), pieaug arī no tīkla patērētā jauda. Tā kā dzinējam pievadītais sprie­gums parasti ir nemainīgs, tad, pieaugot slodzei, palielinās enkura tinuma strāva *Ia*. Atkarībā no ierosmes veida līdzstrāvas dzinējus, tāpat kā ģeneratorus iedala dzi­nējos ar magnetoelektrisko un elektromagnētisko ierosmi. Pēdējos atkarībā no ti­numa slēguma shēmas iedala paralēlas, virknes un jauktas ierosmes dzinējos.

Dzinēja elektromagnētiskais moments griež enkuru, kurš savukārt griezes kustību nodod darba mehānismam. Turklāt uz dzinēja vārpstu darbojas šādi mo­menti:

* elektromagnētiskais moments M;
* tukšgaitas moments M0, kas atbilst mehāniskajiem, magnētiskajiem un papildzudumiem. Tas nav atkarīgs no slodzes un normāla izpildījuma mašīnās ir aptuveni 2-6 % no nominālā momenta vērtības;
* dzinēja lietderīgais moments M2, kas tiek pielikts darba mehānismam;
* dinamiskais moments MD, kas rodas vārpstas rotācijas frekvences izmaiņas dēļ un to nosaka pēc formulas

 (1.31.)

kur J — visu rotējošo daļu kopējais inerces moments. Līdzstrāvas dzinēja momentu vienādojums ir šāds

M = M0 + M2 ± MD, (1.32.)

vai

M = Mst ± MD, (1.33.)

kur Mst = M0 + M2. Rotācijas frekvencei pieaugot, dinamiskais moments summējas ar statisko mo­mentu Mst, bet, frekvencei samazinoties, moments MD darbojas pretī momentam Mst. Ja enkura rotācijas frekvence ir nemainīga (dω/dt = 0), arī dinamiskais moments ir vienāds ar nulli. Tad dzinēja momentu vienādojums

M = M0 + M2 = Mst , (1.34.)

t.i., dzinēja stacionārā režīmā momenti M un Mst līdzsvaro viens otru. Turklāt moments ir proporcionāls elektromagnētiskai jaudai, tāpēc

 (1.35.)

Ja formulā (1.35) jauda izteikta vatos (W) un rotācijas frekvence apgriezienos minūtē (min-1), tad momenta mērvienība ir ņūtonmetrs (N·m). Lietderīgā momenta vērtību nosaka analoģiski

 (1.36.)

kur P2 — dzinēja lietderīgā jauda.

No EDS formulas *Ee = cen*Φ redzams, ka dzinēja rotācijas frekvence

 (1.37.)

Ņemot vērā *Ee* izteiksmi, no (1.31) iegūstam

 (1.38.)

Dzinēja rotācijas virzienu nosaka plūsmas Φ un enkura strāvas virziens. Mainot virzienu vienam no šiem lielumiem, panāk rotācijas virziena izmaiņu (dzinēja re­versu). Jāuzsver, ka mainot polaritāti barošanas shēmas spailēm, rotācijas virziens nemainās, jo šādā gadījumā vienlaikus mainās strāvas virziens gan enkura, gan ierosmes tinumā. Dzinējs darbojas stabili ar nemainīgu rotācijas frekvenci, ja tā elektromagnētis­kais moments un darba mehānisma bremzējošais moments ir vienādi, t.i.,

M = Mst. (1.39.)

Tomēr stabils darbs iespējams tikai noteiktos apstākļos. Ja rotācijas frekvence īslaicīgas iedarbes rezultātā mainās no n uz n', moments M' izsauks vēl tālāku frekvences palieli­nāšanos. Ja rotācijas frekvence mainās no n uz n", tad bremzējošais moments iz­sauks vēl lielāku frekvences samazināšanos. Tātad šādos apstākļos dzinēja darbība ir nestabila.

Vispārīgā gadījumā stabils darbs ir tad, ja tiek izpildīts nosacījums

 (1.40.)

Parasti šī nosacījuma izpildei nepieciešams, lai, pieaugot rotācijas frekvencei, dzinēja moments samazinātos.

Dzinēja enkura tinuma strāvu nosaka kā  Ja pieņem, ka spriegums U un pretestība ΣR ir nemainīgi lielumi, tad strāva Ie ir atkarīga tikai no pret-EDS Ee. Enkura strāva sasniedz maksimālo vērtību palai­šanas procesa sākumā, kad rotors vēl nav sācis griezties, t.i., n = 0 un arī Ee = 0. Tā­pēc palaišanas strāva

 (1.41.)

Līdzstrāvas mašīnas enkura ķēdes pretestība parasti ir ļoti maza. Tāpēc, ja palaiž dzinēju, tieši pieslēdzot tā enkuru tīkla spriegumam, tinumos plūst nepieļaujami liela palaišanas strāva, kas pārsniedz nominālo 10 - 50 reižu. Tik liela palaišanas strāva ir visai bīstama. Pirmkārt, tā mašīnā var izsaukt elek­trisko loku uz kolektora, otrkārt, rodas palielināts griezes moments, kurš triecienveidīgi iedarbojas uz dzinēju un darba mehānismu, un, treškārt, liela palaišanas strāva izraisa sprieguma kritumu tīklā, kas nelabvēlīgi ietekmē citu patērētāju darbu.

Lielas jaudas dzinēju palaišanai, lai ierobežotu strāvu, izmanto palaišanas reosta­tus, kurus ieslēdz virknē ar enkura tinumu. Pirms palaišanas reostatam iestāda maksimālo pretestību Rpmax. Tad palaišanas strāva rotācijas frekvencei pieaugot, palie­linās arī pret-EDS, bet enkura strāva sa­mazinās. Tāpēc palaišanas reostata pre­testību pakāpeniski samazina, novedot līdz Rp = 0. Citādi šajā reostatā tiks patē­rēts ievērojams enerģijas daudzums un dzinēja lietderīgā jauda samazināsies.

Tā kā dzinēja elektromagnētiskais moments proporcionāls plūsmai Ф, tad, lai sekmētu rotora ātrāku iegriešanos, paralēlas un jauktas ierosmes dzinēju regulēšanas reostatus pirms palaišanas izved uz nulli. Plūsma šādā gadījumā ir maksimāla un dzinējs rada vajadzīgo momentu ar mazāku enkura strāvu.

Atslēdzot dzinēju no tīkla, jārūpējas, lai vienlaikus netiktu pārtraukts ierosmes tinums, jo tajā rodas pašindukcijas EDS, kas var caursist izolāciju. Dzinēju elektrisko shēmu parasti veido tā, lai enkura tinuma atslēgšanas brīdī ierosmes tinums būtu no­slēgts uz pretestību.

### 1.6.1. Paralēlās ierosmes dzinējs

Paralēlas ierosmes dzinēja shēma parādīta 1.11. attēlā. Reostats *Rr* ierosmes ķēdē kalpo dzinēja rotācijas frekvences regulēšanai. Tā, samazinot reostata *Rr* pre­testību, ierosmes strāva un plūsma Φ pieaug, bet enkura rotācijas frekvence sama­zinās. Palielinot *Rr* pretestību, rotācijas frekvence palielinās.

Dzinējam slodze ir mehāniska rakstura un shēmā tā, protams, neparadās. Toties dzinēja shēmā ir jāparāda līdzstrāvas avots ar spriegumu *U*. Dzinēja ķēdē vienmēr ir jāparedz palaišanas reostats ar pretestību *Rp*. Ierosmes ķēdē ir paralēlas ierosmes tinums ar pretestību *Rie* un reostats *Rr* magnētiskās plūsmas regulēšanai. Ierosmes ķēde pieslēgta paralēli enkura ķēdei.

Apzīmējot elektriskos lielumus, sāk ar spriegumu *U*. Tā virziens nosaka visu trīs strāvu virzienus. Dzinēja enkurā elektriskā enerģija pārveidojas mehāniskajā, tāpēc EDS virziens shēmā pretējs strāvas virzienam. Šādu EDS pieņemts saukt par pret-elektrodzinējspēku (pret-EDS).

Dzinēju palaiž, izmantojot palaišanas reostatu ar pretestību *Rp*, kuru slēdz virknē ar enkura tinumu. Palaišanas sākuma momentā *Rp* = max un summārā enkura ķēdes pretestība ir *Re + Rp*. Kad dzinējs ir sasniedzis apmēram nominālo rotācijas frekvenci palaišanas reostatu izslēdz (*Rp* = 0).

Jāatceras, ka palaišanas momentā ierosmes ķēdes reostatam *Rr* jābūt izslēgtam (*Rr* = 0).

Izmainot ierosmes ķēdes reostata pretestību *Rr* regulē enkura rotācijas frekvenci. Tā, piemēram, samazinot pretestību *Rr*, palielinās ierosmes ķēdes strāva *Iie*, resp., palielinās galveno polu magnētiskā plūsma Φ un samazinās enkura rotācijas frekvence. Turpretim, palielinot *Rr* dzinēja rotācijas frekvence palielinās.

1.12. attēlā parādītas divas dzinēja raksturlīknes *n = f* (*Iie*), ja *I < IN* un *I = IN* = const. Otrā līkne novietojas zemāk par pirmo līkni tāpēc, ka, ja *I = IN*, sprieguma kritums enkura ķēdē vairāk ietekmē rotācijas frekvenci nekā enkura rotācijas atmagnetizējošā darbība. Tomēr ar mazākām ierosmes strāvas vērtībām līknes sākumā krustojas punktā a un tālāk līkne 2 novietojas augstāk nekā līkne 1. Tas izskaidrojams ar to, ka ar mazām ierosmes strāvām arī plūsma ir maza un enkura rotācijas atmagnetizējošā darbība, ja *I = IN*, rotācijas frekvenci ietekmē stiprāk nekā sprieguma kritums enkura ķēdē.

|  |  |
| --- | --- |
| 1.11. att. Paralēlas ierosmes dzinēja shēma | 1.12. att.Paralēlas ierosmes dzinēja  regulēšanas raksturlīkne |

No 1.12. attēlā parādītām raksturlīknēm redzams, ka, pārtraucot ierosmes tinumu (*Iie* = 0), dzinēja rotācijas frekvence strauji pie­aug, un tas sāk joņot. Šāds režīms nav pieļau­jams.

Ātruma raksturlīknes *n* = *f*(*P*2) paskaidrošanai var izmantot formulu (1.38.)

 (1.42.)

no kuras redzams, ka, ja *U* = const, rotācijas frekvenci nosaka divi faktori: sprie­guma kritums *Ie*·Σ*R* un plūsma Φ*.* Palielinot slodzi, samazinās skaitītājs *U - Ie·*Σ*R*, turklāt enkura reakcijas dēļ samazinās arī plūsma Φ. Parasti pirmais faktors darbojas spēcīgāk un, pieaugot slodzei, dzinēja rotācijas frekvence krītas.

Rotācijas frekvences maiņu, pārejot no dzinēja tukšgaitas uz nominālo slodzi, novērtē ar

 (1.43.)

kur *n*0 — rotācijas frekvence tukšgaitā. Parasti paralēlas ierosmes dzinējiem Δ*n* nepārsniedz 2-8%.

*M = cM∙Φ∙Ie*. (1.44.)

Dzinēja mehānisko raksturlīkni apraksta vienādojums:

 (1.45.)

Paralēlas ierosmes dzinēja vienādojumi:

1. EDS vienādojums: *E =* *cE·*Ф*·n.* Dzinēja EDS proporcionāls griešanās ātrumam *n*. Palaišanas režīmā (kamēr *n* = 0) *E* = 0.

2. Momenta vienādojums  Normālos apstākļos ierosmes strāvu nemaina, tāpēc magnētiskā plūsma Ф = const. No vienādojuma tad seko, ka dzinēja strāvu nosaka slodzes moments *M* (un nevis palaišanas pretestība enkura ķēdē, kā varētu domāt). No vienādojuma redzams arī, ka līdzstrāvas dzinēja griešanās virzienu iespējams mainīt, izmainot strāvas virzienu enkura ķēdē *Ie* vai ierosmes ķēdē *Iie*.

3. Enkura ķēdes sprieguma vienādojums:  Dzinējam spriegums, ir lielāks ar tā darbības rezultātu – EDS.

4. Strāvu vienādojums: *I = Ie +Iie*. Ierosmes strāva nav atkarīga no enkura strāvas. Enkura strāva proporcionāla slodzes momentam. Pie pietiekami lielas slodzes enkura strāva ir daudz lielāka par ierosmes strāvu *I*.

**1.8. Piemērs.** Četrpolīgai 2*p* = 4 līdzstrāvas mašīnai, kura darbojas dzinēja režīmā, aprēķināt elektromagnētisko griezes momentu un enkura pret-EDS, ja enkura tinuma aktīvo vadu skaits *N* = 360 un paralēlo zaru skaits 2*a* = 2, enkura rotācijas frekvence *n* = 1300 min-1, bet polu magnētiskā plūsma *Φ* = 0,013 Wb un strāva enkura tinumā *Ie* = 90 A.

Atrisinājums*.*

1. Elektromagnētiskais griezes moments



2. Inducētais pret-EDS



**1.9. Piemērs.** Četrpolīgs 2*p* = 4 līdzstrāvas paralēlas ierosmes dzinējs, kura ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 200 Ω, pieslēgts pie līdzstrāvas tīkla ar spriegumu *UN* = 220 V. Dzinēja enkura rotācijas frekvence *nN* = 1300 min-1, enkura tinuma pretestība *Re* = 0,17 Ω, nominālā strāva *IN* = 90 A, enkura tinuma vijumu skaits *N* = 360, paralēlo zaru skaits 2*a* = 2 un tukšgaitas jaudas zudumi, kas sastāv no zudumiem tēraudā un mehāniskiem zudumiem ir *P*0 = *P*t + *Pmeh* = 1040 W. Aprēķināt inducēto pret-EDS, polu magnētisko plūsmu, elektromagnētisko griezes momentu un griezes momentu uz enkura vārpstas, kā arī dzinēja lietderības koeficientu un tukšgaitas momentu.

Atrisinājums.

1. Strāva ierosmes tinuma



2. Strāva enkura tinumā

*Ie = IN – Iie* = 90 – 1,1 = 88,9 A.

3. Enkura tinuma inducētais pret-EDS

*Ei = UN – IeRe* = 220 – 88,9∙0,17 = 204, 9 V.

4. Galveno polu magnētiskā plūsma. Pēc formulas  atrod ka



5. Dzinēja elektromagnētiskais griezes moments



6. Dzinēja elektriskie jaudas zudumi, kas sastāv no jaudas zudumiem enkura tinumā, ierosmes tinumā un divas vara-grafīta kolektora – suku pārejas pretestības, kurām ΔU = 0.6.



7. Papildu jaudas zudumi dzinējā

*Pp* = (0,01…0,005)∙*UN∙IN* = 0,01∙220∙90 = 198 W.

8. Summārie jaudas zudumi dzinējā

Δ*P* = *P*0 + *Pel + Pp* = 1040 + 1692 + 198 = 2930 W.

9. Dzinēja jauda uz enkura vārpstas

*P*2 = *P*1 – Δ*P* = *UN∙IN* – Δ*P* = 220∙90 – 2930 = 16870 W = 16,87 kW.

10. Dzinēja lietderības koeficients



11. Dzinēja griezes moments uz enkura vārpstas



12. Dzinēja tukšgaitas režīms

*M*0 = *Mem* – *M*2 = 132,5 – 123,9 = 9,9 Nm.

**1.10. Piemērs.** Paralēlas ierosmes dzinējs pieslēgts līdzstrāvas tīklam ar spriegumu *UN* = 220 V. Dzinēja enkura tinuma pretestība *Re* = 0,1 Ω, enkurā inducētais pret-elektrodzinējspēks *Ei* = 205 V. Aprēķināt strāvu dzinēja enkura ķēdē dzinēja darba režīmā un palaišanas sākuma momentā ar un bez palaišanas reostata, ja tā pretestība *Rp* = 1,0 Ω.

Atrisinājums.

1. Enkura strāva dzinēja darba režīmā



2. Enkura strāva, palaižot bez palaišanas reostata



3. Enkura strāva, palaižot ar palaišanas reostatu



**1.11. Piemērs.** Paralēlas ierosmes dzinējs, kura nominālā jauda *PN* = 18,7 kW, lietderības koeficients *ηN* = 0,85, enkura tinuma pretestība *Re* = 0,01 Ω, pieslēgts līdzstrāvas tīklam ar spriegumu *UN* = 220 V. Aprēķināt palaišanas reostata nepieciešamo pretestību, lai palaišanas strāva pārsniegtu nominālo strāvu ne vairāk, kā 2,5 reizes.

Atrisinājums.

1. Dzinēja nominālā strāva



2. Palaišanas strāva

*Iep* = 2,5·*IN* = 2,5·100 = 250 A.

3. Palaišanas reostata pretestība



**1.12. Piemērs.** Paralēlas ierosmes dzinēja nominālā strāva *IN* = 500 A, enkura tinumā inducētais pret-EDS *Ei* = 210 V, enkura nominālā rotācijas frekvence *nN* = 1450 min-1, ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 50 Ω, lietderības koeficients *ηN* = 89,5 %. Dzinējas pieslēgts līdzstrāvas tīklam ar spriegumu *UN* = 220 V. Aprēķināt strāvu enkura tinumā Ie, jaudas zudumos dzinējā Δ*P* un tā nominālo griezes momentu *MN*.

Atrisinājums.

1. Strāva ierosmes tinumā



2. Strāva enkura tinumā

*Ie = IN – Iie* = 500 – 4,4 = 495,6 A.

3. Enkura tinuma pretestība



4. Dzinēja patērētā jauda no tīkla

*P*1*N* = *UN·IN* = 220·500 = 110000 W = 110 kW.

5. Dzinēja nominālā (lietderīgā) jauda

*P*2*N* = *P*1*N*·*ηN* = 110·0,895 = 98,45 kW.

6. Summārie jaudas zudumi dzinējā

Δ*P* = *P*1*N* – *P*2*N* = 110 – 98,45 = 11,55 kW.

7. Dzinēja nominālais griezes moments



**1.13. Piemērs.** Zināmi šādi paralēlās ierosmes dzinēja nominālie dati *PN* = 130 kW, *UN* = 220 V, *nN* = 600 min-1, *IN* = 640 A. Sasilušā enkura un papildpolu pretestība *Re* = 0,00725 Ω, bet ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 43,2 Ω. Aprēķināt dzinēja griezes momentu nominālajā režīmā, kā arī dzinēja enkura griešanas ātrumu tukšgaitā. Enkura strāvu neievērot.

Atrisinājums.

1. Strāva enkura tinumā nominālajā režīmā



2. Enkura tinumos inducētais pret-EDS, ja griešanās ātrums ir nominālais

*EiN = UN - Re·IeN* = 220 – 634,9·0,00725 = 215,4 V.

3. Nominālā elektromagnētiskā (patērētā no tīkla) jauda

*P*1*N = EiN·IN* = 215,4·634,9 = 136757 W = 137,85 kW.

4. Nominālajā režīmā attīstītais elektromagnētiskais griezes moments



5. Enkura griešanās ātrums ideālā tukšgaitas režīmā, kad *UN = EN*: Enkura griešanas ātrums nominālā slodzes režīmā  Izmantojot griešanas ātrumu attiecību, iegūsim:



### 1.6.2. Virknes ierosmes dzinējs

Šajā dzinējā ierosmes tinums ieslēgts virknē ar enkura tinumu (1.13. att. *a*), un tāpēc magnētiskā plūsma ir atkarīga no slodzes strāvas.

Ja slodze ir neliela, mašīnas magnētiskā sistēma nav piesātināta un plūsma ir proporcionāla enkura strāvai

*Ф* = *k∙Ie*,

kur k — proporcionalitātes koeficients.

Tādā gadījumā izteiksmi *M = cm·Ф·Ie* var pārrakstīt forma

*M = cM∙k∙Ie∙Ie* = *c'M·Fe*.. (1.46.)

Rotācijas frekvenci šajā gadījumā var noteikt kā

 (1.47.)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

1.13. att. Virknes ierosmes dzinēja shēma (*a*) un virknes ierosmes dzinēja darba raksturlīknes *M = f* (*Ia*) (*b*) un *n = f*(*Ia*) (*c*): 1 — dabiskā; 2 — mākslīgā

Tādējādi nepiesātināta dzinēja moments proporcionāls strāvas kvadrātam, bet rotācijas frekvence — apgriezti proporcionāla slodzes strāvai. Pie lielām slodzēm mašīnas magnētiskā ķēde piesātinās, plūsma vairs praktiski nepalielinās un raksturlīknes kļūst gandrīz lineāras.

Dzinēja ātruma raksturlīkne rāda kā, mainoties dzinēja slodzei, strauji mainās arī tā rotācijas frekvence. Tādējādi, mainot virknes ierosmes dzinēja slodzi, dzinēja grie­šanās ātrums *n* mainās plašās robežās.

Slodzei samazinoties zem 25% no nominālās, dzinējs var sākt joņot. Tas izskaid­rojams ar to, ka tukšgaitā samazinās dzinēja strāva un tātad arī plūsma. Tāpēc vir­knes ierosmes dzinēja palaišana ar slodzi, kas mazāka par 25 % no nominālās, nav pieļaujama. Tāpat dzinēja savienošanai ar darba mehānismu nav pieļaujama elastīgu pārvadu izmantošana, piemēram, siksnas pārvadu, jo, siksnai pārtrūkstot vai nokrī­tot, dzinējs var sākt joņot.

Virknes ierosmes dzinēja mehāniskās raksturlīknes *n = f* (M) vienādojumu iegūst, ja izteiksmē (1.48.) ievieto strāvu *Ie* no formulas *U = Ee + Ie·*Σ *R*:

 (1.48.)

Nominālo rotācijas frekvences izmaiņu virknes ierosmes dzinējam nosaka kā

 (1.49.)

kur *n*(0,25) — dzinēja rotācijas frekvence, ja slodze ir 25% no nominālās.

Virknes ierosmes dzinēju rotācijas frekvenci regulē, mainot spriegumu *U* vai plūsmu Ф.

Pirmajā gadījumā virknē enkura tinumam ieslēdz reostatu *Rp*. Palielinot reostata pretestību, enkuram pievadītais spriegums samazinās un krītas arī dzinēja rotācijas frekvence. Šo metodi izmanto tikai mazas jaudas dzinējiem, jo reostatā ir ievērojami enerģijas zudumi.

**1.14. Piemērs.** Virknes ierosmes dzinējs pieslēgts tīklam ar spriegumu *UN* = 220 V. Dzinēja enkura rotācijas frekvence *nN* = 2040 min-1, griezes moments uz vārpstas *MN* = 147,2 N·m, lietderības koeficients *ηN* = 88 %, enkura tinuma pretestība *Re* = 0,08 Ω, ierosmes tinuma pretestība *Rie* = 0,07 Ω. Aprēķināt dzinēja nominālo jaudu, patērēto jaudu, patērēto strāvu no tīkla, jaudu zudumus enkurā un ierosmes tinumā, palaišanas reostata pretestību, ar kuru palaišanas strāvu samazina līdz 2,5∙*IeN* un palaišanas strāvu.

Atrisinājums.

1. Dzinēja nominālais moments



2. Dzinēja no tīkla patērētā jauda



3. No tīkla patērētā strāva (virknes ierosmes dzinējā: *Ie = Iie = I*)



4. Jaudas zudumi enkurā un ierosmes tinumā





5. Nepieciešamā palaišanas reostata pretestība



kur *Re = Re + Rie* – virknes ierosmes dzinēja enkura ķēdes pretestība, Ω.

6. Enkura palaišanas strāva

*Iep* = 2,5∙*IeN* = 2,5∙162,3 = 406,04 A.

## 1.7. Līdzstrāvas mašīnu aprēķina uzdevumi

### 1. Uzdevums

Aprēķināt neatkarīgas ierosmes līdzstrāvas mašīnas, kura darbojas ģeneratora režīmā, enkura EDS un elektromagnētisko bremzējošo momentu Mbr, ja mašīnas polu skaits 2*p*, enkura rotācijas frekvence n, enkura tinuma aktīvo vadu skaits N un paralēlo zaru skaits 2*a*, bet polu magnētiskā plūsma Ф, strāva enkura ķēdē *Ie*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.2. tabulā.

1.2. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **2p** | **n, min-1** | **N** | **2a** | **Ф, Wb** | **Ie, A** |
| **1** | 6 | 750 | 500 | 6 | 0.05 | 16 |
| **2** | 6 | 660 | 400 | 6 | 0.07 | 14 |
| **3** | 6 | 580 | 300 | 4 | 0.05 | 15 |
| **4** | 8 | 760 | 500 | 6 | 0.04 | 18 |
| **5** | 4 | 990 | 600 | 4 | 0.035 | 22 |
| **6** | 6 | 670 | 550 | 2 | 0.01 | 32 |
| **7** | 8 | 450 | 850 | 6 | 0.025 | 18 |
| **8** | 6 | 650 | 750 | 4 | 0.02 | 24 |
| **9** | 4 | 1200 | 600 | 2 | 0.02  1.2. tabulas turpinājums | 23 |
| **10** | 6 | 1320 | 950 | 4 | 0.01 | 21 |
| **11** | 6 | 1420 | 1000 | 2 | 0.01 | 22 |
| **12** | 8 | 870 | 650 | 4 | 0.01 | 16 |
| **13** | 6 | 970 | 450 | 2 | 0.04 | 15 |
| **14** | 4 | 940 | 950 | 2 | 0.01 | 17 |
| **15** | 6 | 620 | 750 | 6 | 0.035 | 19 |
| **16** | 8 | 810 | 540 | 4 | 0.025 | 20 |
| **17** | 6 | 910 | 630 | 6 | 0.02 | 21 |
| **18** | 6 | 750 | 560 | 4 | 0.02 | 16 |
| **19** | 4 | 660 | 500 | 6 | 0.05 | 16 |
| **20** | 4 | 580 | 400 | 4 | 0.07 | 19 |
| **21** | 8 | 760 | 300 | 6 | 0.05 | 23 |
| **22** | 4 | 990 | 500 | 2 | 0.04 | 16 |
| **23** | 8 | 670 | 600 | 4 | 0.035 | 14 |
| **24** | 6 | 450 | 550 | 2 | 0.035 | 15  1.2. tabulas turpinājums |
| **25** | 6 | 650 | 850 | 4 | 0.025 | 18 |
| **26** | 6 | 1200 | 750 | 6 | 0.02 | 22 |
| **27** | 4 | 1320 | 600 | 4 | 0.02 | 32 |
| **28** | 8 | 1420 | 950 | 4 | 0.01 | 18 |
| **29** | 6 | 870 | 1000 | 6 | 0.01 | 24 |
| **30** | 8 | 970 | 650 | 4 | 0.01 | 23 |
| **31** | 6 | 940 | 450 | 6 | 0.04 | 21 |
| **32** | 4 | 620 | 950 | 6 | 0.035 | 22 |
| **33** | 6 | 810 | 750 | 4 | 0.01 | 16 |
| **34** | 8 | 910 | 540 | 6 | 0.025 | 15 |
| **35** | 6 | 750 | 630 | 4 | 0.02 | 17 |
| **36** | 6 | 660 | 560 | 2 | 0.02 | 19 |
| **37** | 6 | 580 | 500 | 6 | 0.05 | 20 |
| **38** | 4 | 760 | 400 | 4 | 0.07 | 21 |
| **39** | 4 | 990 | 300 | 2 | 0.05 | 16 |
| **40** | 8 | 670 | 500 | 4 | 0.01 | 16 |
| **41** | 8 | 450 | 600 | 2 | 0.035 | 19 |
| **42** | 6 | 650 | 550 | 4 | 0.035  1.2. tabulas turpinājums | 23 |
| **43** | 6 | 1200 | 850 | 2 | 0.01 | 16 |
| **44** | 4 | 1320 | 750 | 2 | 0.02 | 14 |
| **45** | 6 | 1420 | 600 | 6 | 0.02 | 15 |
| **46** | 8 | 870 | 950 | 4 | 0.01 | 18 |
| **47** | 8 | 970 | 1000 | 6 | 0.025 | 22 |
| **48** | 6 | 940 | 650 | 4 | 0.035 | 32 |
| **49** | 4 | 620 | 450 | 6 | 0.04 | 18 |
| **50** | 6 | 810 | 950 | 4 | 0.02 | 24 |
| **51** | 4 | 910 | 750 | 6 | 0.035 | 23 |
| **52** | 6 | 750 | 540 | 2 | 0.025 | 21 |
| **53** | 6 | 660 | 630 | 4 | 0.02 | 22 |
| **54** | 6 | 580 | 560 | 2 | 0.02 | 16 |
| **55** | 8 | 760 | 500 | 4 | 0.025 | 15 |
| **56** | 6 | 990 | 400 | 6 | 0.07 | 17 |
| **57** | 4 | 670 | 300 | 4 | 0.05 | 19 |
| **58** | 6 | 450 | 500 | 4 | 0.04 | 20 |
| **59** | 8 | 650 | 600 | 6 | 0.035 | 21 |
| **60** | 6 | 1200 | 550 | 4 | 0.035 | 16 |

### 2. Uzdevums

Aprēķināt spriegumu uz ģeneratora spailēm un konstruēt tā ārējo raksturlīkni, ja neatkarīgas ierosmes ģeneratora EDS *E*, enkura ķēdes pretestība *Re* un, slodzei izmainoties, strāva enkura ķēdē izmainās sekojoši: Ie0; Ie1; Ie2. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.3. tabulā.

1.3. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | |
| **Varianti** | **E, V** | **Re, Ω** | **Ie0, A** | **Ie1, A** | **Ie2, A** |
| **1** | 120 | 0.1 | 0 | 50 | 100 |
| **2** | 130 | 0.15 | 0 | 40 | 80 |
| **3** | 110 | 0.13 | 0 | 30  1.3. tabulas turpinājums | 60 |
| **4** | 106 | 0.08 | 0 | 58 | 116 |
| **5** | 124 | 0.09 | 0 | 55 | 110 |
| **6** | 154 | 0.1 | 0 | 60 | 120 |
| **7** | 110 | 0.16 | 0 | 40 | 80 |
| **8** | 100 | 0.14 | 0 | 42 | 84 |
| **9** | 142 | 0.1 | 0 | 38 | 76 |
| **10** | 126 | 0.11 | 0 | 52 | 104 |
| **11** | 138 | 0.09 | 0 | 74 | 148 |
| **12** | 117 | 0.13 | 0 | 48 | 96 |
| **13** | 115 | 0.1 | 0 | 59 | 118 |
| **14** | 122 | 0.15 | 0 | 61 | 122 |
| **15** | 119 | 0.13 | 0 | 50 | 100 |
| **16** | 120 | 0.08 | 0 | 40 | 80 |
| **17** | 130 | 0.09 | 0 | 30 | 60 |
| **18** | 110 | 0.1 | 0 | 58 | 116 |
| **19** | 106 | 0.16 | 0 | 55 | 110 |
| **20** | 124 | 0.14 | 0 | 60 | 120 |
| **21** | 154 | 0.1 | 0 | 40 | 80 |
| **22** | 110 | 0.11 | 0 | 42 | 84 |
| **23** | 100 | 0.09 | 0 | 38 | 76 |
| **24** | 142 | 0.13 | 0 | 52 | 104 |
| **25** | 126 | 0.1 | 0 | 74 | 148 |
| **26** | 138 | 0.15 | 0 | 48 | 96 |
| **27** | 117 | 0.13 | 0 | 59 | 118 |
| **28** | 115 | 0.08 | 0 | 61 | 122 |
| **29** | 122 | 0.09 | 0 | 50 | 100 |
| **30** | 119 | 0.1 | 0 | 40 | 80 |
| **31** | 120 | 0.16 | 0 | 30 | 60 |
| **32** | 130 | 0.14 | 0 | 58 | 116 |
| **33** | 110 | 0.1 | 0 | 55 | 110 |
| **34** | 106 | 0.11 | 0 | 60 | 120 |
| **35** | 124 | 0.09 | 0 | 40 | 80 |
| **36** | 154 | 0.13 | 0 | 42  1.3. tabulas turpinājums | 84 |
| **37** | 110 | 0.1 | 0 | 38 | 76 |
| **38** | 100 | 0.15 | 0 | 52 | 104 |
| **39** | 142 | 0.13 | 0 | 74 | 148 |
| **40** | 126 | 0.08 | 0 | 48 | 96 |
| **41** | 138 | 0.09 | 0 | 59 | 118 |
| **42** | 117 | 0.1 | 0 | 61 | 122 |
| **43** | 115 | 0.16 | 0 | 50 | 100 |
| **44** | 122 | 0.14 | 0 | 40 | 80 |
| **45** | 119 | 0.1 | 0 | 30 | 60 |
| **46** | 120 | 0.11 | 0 | 58 | 116 |
| **47** | 130 | 0.09 | 0 | 55 | 110 |
| **48** | 110 | 0.13 | 0 | 60 | 120 |
| **49** | 106 | 0.1 | 0 | 40 | 80 |
| **50** | 124 | 0.15 | 0 | 42 | 84 |
| **51** | 154 | 0.13 | 0 | 38 | 76 |
| **52** | 110 | 0.08 | 0 | 52 | 104 |
| **53** | 100 | 0.09 | 0 | 74 | 148 |
| **54** | 142 | 0.1 | 0 | 48 | 96 |
| **55** | 126 | 0.16 | 0 | 59 | 118 |
| **56** | 138 | 0.14 | 0 | 61 | 122 |
| **57** | 117 | 0.1 | 0 | 50 | 100 |
| **58** | 115 | 0.11 | 0 | 40 | 80 |
| **59** | 122 | 0.09 | 0 | 30 | 60 |
| **60** | 119 | 0.13 | 0 | 58 | 116 |

### 3. Uzdevums

Aprēķināt līdzstrāvas ģeneratora EDS pie nemainīgas magnētiskas plūsmas (Ф = const), ja palielinot enkura rotācijas frekvenci X reizes, tā EDS palielinājās par Y voltiem. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.4. tabulā.

1.4. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | |  | **Dotie lielumi** | |
| **Varianti** | **X, apgriezieni** | **Y, V** | **Varianti** | **X, apgriezieni** | **Y, V** |
| **1** | 1.5 | 110 | **31** | 1.8 | 120 |
| **2** | 2 | 120 | **32** | 2 | 140 |
| **3** | 1.75 | 140 | **33** | 1.3 | 135 |
| **4** | 1.6 | 135 | **34** | 1.7 | 125 |
| **5** | 1.4 | 125 | **35** | 1.65 | 120 |
| **6** | 1.6 | 145 | **36** | 1.5 | 150 |
| **7** | 1.8 | 150 | **37** | 2 | 140 |
| **8** | 1.8 | 140 | **38** | 1.45 | 135 |
| **9** | 1.8 | 135 | **39** | 1.6 | 100 |
| **10** | 2 | 100 | **40** | 1.4 | 115 |
| **11** | 1.3 | 115 | **41** | 1.75 | 125 |
| **12** | 1.7 | 125 | **42** | 1.4 | 145 |
| **13** | 1.65 | 145 | **43** | 1.9 | 120 |
| **14** | 1.5 | 155 | **44** | 1.8 | 140 |
| **15** | 2 | 165 | **45** | 2 | 135 |
| **16** | 1.45 | 100 | **46** | 1.75 | 125 |
| **17** | 1.6 | 110 | **47** | 1.8 | 120 |
| **18** | 1.4 | 110 | **48** | 2 | 150 |
| **19** | 1.75 | 120 | **49** | 1.3 | 140 |
| **20** | 1.4 | 140 | **50** | 1.7 | 135 |
| **21** | 1.9 | 135 | **51** | 1.65 | 100 |
| **22** | 1.8 | 125 | **52** | 1.5 | 115 |
| **23** | 2 | 120 | **53** | 2 | 125 |
| **24** | 1.75 | 150 | **54** | 1.45 | 120 |
| **25** | 1.7 | 140 | **55** | 1.6 | 140 |
| **26** | 1.5 | 135 | **56** | 1.4 | 135 |
| **27** | 1.5 | 100 | **57** | 1.75 | 125 |
| **28** | 2 | 115 | **58** | 1.4 | 120 |
| **29** | 1.55 | 125 | **59** | 1.9 | 150 |
| **30** | 1.6 | 145 | **60** | 1.8 | 140 |

### 4. Uzdevums

Paralēlās ierosmes ģeneratora nominālais spriegums ir *UN*, nominālā slodzes pretestība *RN*, enkura tinuma pretestība *Re*, paralēlās ierosmes tinuma pretestība *Rie*, enkura nomināla rotācijas frekvence *nN*. Aprēķināt ģeneratora EDS, primārā dzinēja griezes momentu, ģeneratora jaudas zudumus enkurā un ierosmes tinumos, ģeneratora lietderības koeficientu, ja tā summārie jaudas zudumi sastāda Δ*P*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.5. tabulā.

1.5. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **UN, V** | **RN, Ω** | **Re, Ω** | **Rie, Ω** | **nN, min-1** | **ΔP, kW** |
| **1** | 220 | 5.5 | 0.5 | 110 | 1460 | 2.2 |
| **2** | 220 | 4.7 | 0.6 | 150 | 1420 | 2.1 |
| **3** | 110 | 3.4 | 0.8 | 220 | 1300 | 5.2 |
| **4** | 220 | 7.3 | 0.3 | 320 | 1000 | 1.6 |
| **5** | 110 | 2.2 | 0.06 | 150 | 980 | 5.2 |
| **6** | 110 | 4.7 | 0.09 | 160 | 1200 | 4.7 |
| **7** | 220 | 8.5 | 0.1 | 210 | 1320 | 5.1 |
| **8** | 220 | 13.4 | 0.44 | 320 | 1650 | 8.2 |
| **9** | 220 | 11.7 | 0.24 | 250 | 1240 | 4.7 |
| **10** | 110 | 15.1 | 0.8 | 100 | 1100 | 3.1 |
| **11** | 110 | 5.2 | 0.9 | 70 | 1250 | 3.9 |
| **12** | 220 | 7.8 | 0.48 | 50 | 850 | 5 |
| **13** | 220 | 4.1 | 0.41 | 70 | 920 | 5.1 |
| **14** | 220 | 8.4 | 0.56 | 230 | 1340 | 4.9 |
| **15** | 220 | 2.4 | 0.19 | 170 | 1520 | 2.2 |
| **16** | 110 | 14.6 | 0.88 | 140 | 1460 | 2.1 |
| **17** | 220 | 11.9 | 0.41 | 110 | 1420 | 5.2 |
| **18** | 110 | 6.3 | 0.8 | 150 | 1300 | 1.6 |
| **19** | 110 | 14.2 | 0.3 | 220 | 1000 | 5.2 |
| **20** | 220 | 13.8 | 0.4 | 320 | 980 | 4.7 |
| **21** | 220 | 16.1 | 0.21 | 150 | 1200 | 5.1 |
| **22** | 220 | 5.5 | 0.71 | 160 | 1320  1.5. tabulas turpinājums | 8.2 |
| **23** | 110 | 4.7 | 0.63 | 210 | 1650 | 4.7 |
| **24** | 110 | 3.4 | 0.5 | 320 | 1240 | 3.1 |
| **25** | 220 | 7.3 | 0.6 | 250 | 1100 | 3.9 |
| **26** | 220 | 2.2 | 0.8 | 100 | 1250 | 5 |
| **27** | 220 | 4.7 | 0.3 | 70 | 850 | 5.1 |
| **28** | 220 | 8.5 | 0.06 | 50 | 920 | 4.9 |
| **29** | 110 | 13.4 | 0.09 | 70 | 1340 | 2.2 |
| **30** | 220 | 11.7 | 0.1 | 230 | 1520 | 2.1 |
| **31** | 110 | 15.1 | 0.44 | 170 | 1460 | 5.2 |
| **32** | 110 | 5.2 | 0.24 | 140 | 1420 | 1.6 |
| **33** | 220 | 7.8 | 0.8 | 140 | 1300 | 5.2 |
| **34** | 220 | 4.1 | 0.9 | 110 | 1000 | 4.7 |
| **35** | 220 | 8.4 | 0.48 | 150 | 980 | 5.1 |
| **36** | 110 | 2.4 | 0.41 | 220 | 1200 | 8.2 |
| **37** | 110 | 14.6 | 0.56 | 320 | 1320 | 4.7 |
| **38** | 220 | 11.9 | 0.19 | 150 | 1650 | 3.1 |
| **39** | 220 | 6.3 | 0.88 | 160 | 1240 | 3.9 |
| **40** | 220 | 14.2 | 0.41 | 210 | 1100 | 2.2 |
| **41** | 220 | 13.8 | 0.8 | 320 | 1250 | 2.1 |
| **42** | 110 | 16.1 | 0.3 | 250 | 850 | 5.2 |
| **43** | 220 | 5.5 | 0.4 | 100 | 920 | 1.6 |
| **44** | 110 | 4.7 | 0.21 | 70 | 1340 | 5.2 |
| **45** | 110 | 3.4 | 0.71 | 50 | 1520 | 4.7 |
| **46** | 220 | 7.3 | 0.63 | 70 | 1460 | 5.1 |
| **47** | 220 | 2.2 | 0.5 | 230 | 1420 | 8.2 |
| **48** | 220 | 4.7 | 0.6 | 170 | 1300 | 2.2 |
| **49** | 110 | 8.5 | 0.8 | 140 | 1000 | 2.1 |
| **50** | 110 | 13.4 | 0.3 | 110 | 980 | 5.2 |
| **51** | 220 | 11.7 | 0.06 | 150 | 1200 | 1.6 |
| **52** | 220 | 15.1 | 0.09 | 220 | 1320 | 5.2 |
| **53** | 220 | 5.2 | 0.1 | 320 | 1650 | 4.7 |
| **54** | 220 | 7.8 | 0.44 | 150 | 1240 | 5.1 |
| **55** | 110 | 4.1 | 0.24 | 160 | 1100  1.5. tabulas turpinājums | 2.2 |
| **56** | 220 | 8.4 | 0.8 | 210 | 1250 | 2.1 |
| **57** | 110 | 2.4 | 0.9 | 320 | 850 | 5.2 |
| **58** | 110 | 14.6 | 0.48 | 250 | 920 | 1.6 |
| **59** | 220 | 11.9 | 0.41 | 100 | 1340 | 5.2 |
| **60** | 220 | 6.3 | 0.56 | 70 | 1520 | 4.7 |

### 5. Uzdevums

Paralēlās ierosmes ģeneratora spriegums ir *UN* pie slodzes *I*. Aprēķināt strāvu enkura ķēdē un ģeneratora atdoto jaudu, ja ierosmes tinuma pretestība ir *Rie*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.6. tabulā.

1.6. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | |
| **UN, V** | **I, A** | **Rie, Ω** |
| **1** | 230 | 200 | 40 |
| **2** | 110 | 150 | 35 |
| **3** | 380 | 145 | 55 |
| **4** | 380 | 210 | 48 |
| **5** | 380 | 155 | 34 |
| **6** | 110 | 168 | 64 |
| **7** | 230 | 214 | 29 |
| **8** | 230 | 157 | 53 |
| **9** | 110 | 184 | 26 |
| **10** | 110 | 194 | 63 |
| **11** | 230 | 150 | 52 |
| **12** | 380 | 152 | 47 |
| **13** | 110 | 171 | 39 |
| **14** | 110 | 193 | 50 |
| **15** | 380 | 179 | 40 |
| **16** | 220 | 199 | 35 |
| **17** | 230 | 252 | 55  1.6. tabulas turpinājums |
| **18** | 110 | 152 | 48 |
| **19** | 380 | 231 | 34 |
| **20** | 380 | 251 | 64 |
| **21** | 380 | 272 | 29 |
| **22** | 110 | 200 | 53 |
| **23** | 230 | 150 | 26 |
| **24** | 230 | 145 | 63 |
| **25** | 110 | 210 | 52 |
| **26** | 110 | 155 | 47 |
| **27** | 230 | 168 | 39 |
| **28** | 380 | 214 | 50 |
| **29** | 110 | 157 | 40 |
| **30** | 110 | 184 | 30 |
| **31** | 110 | 200 | 40 |
| **32** | 230 | 194 | 20 |
| **33** | 230 | 150 | 35 |
| **34** | 110 | 152 | 41 |
| **35** | 110 | 171 | 60 |
| **36** | 230 | 193 | 40 |
| **37** | 380 | 179 | 20 |
| **38** | 110 | 199 | 35 |
| **39** | 110 | 252 | 41 |
| **40** | 380 | 152 | 60 |
| **41** | 220 | 231 | 40 |
| **42** | 230 | 251 | 20 |
| **43** | 110 | 272 | 40 |
| **44** | 380 | 200 | 35 |
| **45** | 380 | 150 | 55 |
| **46** | 230 | 145 | 48 |
| **47** | 230 | 210 | 34 |
| **48** | 110 | 155 | 64 |
| **49** | 110 | 168 | 29 |
| **50** | 230 | 214 | 53  1.6. tabulas turpinājums |
| **51** | 380 | 157 | 26 |
| **52** | 110 | 184 | 63 |
| **53** | 110 | 194 | 52 |
| **54** | 380 | 150 | 47 |
| **55** | 220 | 152 | 39 |
| **56** | 230 | 171 | 50 |
| **57** | 110 | 193 | 40 |
| **58** | 380 | 179 | 30 |
| **59** | 380 | 199 | 20 |
| **60** | 380 | 252 | 35 |

### 6. Uzdevums

Aprēķināt jauktas ierosmes ģeneratora EDS, ja ģeneratora nominālais spriegums ir *UN*, ierosmes strāva *Iie*, enkura tinuma pretestība *Re*, virknes ierosmes tinuma pretestība *Rie* un nominālā slodzes strāva *IN*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.7. tabulā.

1.7. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | | | |
| **UN, V** | **Iie, A** | **Re, Ω** | **Rie, Ω** | **IN, А** |
| **1** | 110 | 2 | 0.25 | 0.15 | 30 |
| **2** | 110 | 1.4 | 0.35 | 0.1 | 25 |
| **3** | 220 | 1.6 | 0.23 | 0.09 | 28 |
| **4** | 220 | 2.3 | 0.34 | 0.12 | 34 |
| **5** | 220 | 3.1 | 0.22 | 0.13 | 29 |
| **6** | 110 | 2 | 0.31 | 0.14 | 30 |
| **7** | 110 | 3 | 0.3 | 0.19 | 35 |
| **8** | 220 | 1 | 0.2 | 0.04 | 23 |
| **9** | 110 | 1.5 | 0.3 | 0.07 | 21 |
| **10** | 220 | 1.8 | 0.34 | 0.11 | 28 |
| **11** | 220 | 2.4 | 0.28 | 0.22  1.7. tabulas turpinājums | 36 |
| **12** | 110 | 2.3 | 0.27 | 0.15 | 39 |
| **13** | 110 | 2.1 | 0.29 | 0.1 | 31 |
| **14** | 110 | 1.5 | 0.25 | 0.09 | 35 |
| **15** | 220 | 1.8 | 0.35 | 0.12 | 21 |
| **16** | 220 | 1.9 | 0.23 | 0.13 | 33 |
| **17** | 220 | 2.4 | 0.34 | 0.14 | 32 |
| **18** | 110 | 2 | 0.22 | 0.19 | 30 |
| **19** | 110 | 1.4 | 0.31 | 0.04 | 30 |
| **20** | 220 | 1.6 | 0.3 | 0.07 | 25 |
| **21** | 110 | 2.3 | 0.2 | 0.11 | 28 |
| **22** | 220 | 3.1 | 0.3 | 0.22 | 34 |
| **23** | 220 | 2 | 0.34 | 0.15 | 29 |
| **24** | 110 | 3 | 0.28 | 0.1 | 30 |
| **25** | 110 | 1 | 0.27 | 0.09 | 35 |
| **26** | 110 | 1.5 | 0.29 | 0.12 | 23 |
| **27** | 220 | 1.8 | 0.25 | 0.13 | 21 |
| **28** | 220 | 2.4 | 0.35 | 0.14 | 28 |
| **29** | 220 | 2.3 | 0.23 | 0.19 | 36 |
| **30** | 110 | 2.1 | 0.34 | 0.04 | 39 |
| **31** | 110 | 1.5 | 0.22 | 0.07 | 31 |
| **32** | 220 | 1.8 | 0.31 | 0.11 | 35 |
| **33** | 110 | 1.9 | 0.3 | 0.22 | 21 |
| **34** | 220 | 2.4 | 0.2 | 0.15 | 30 |
| **35** | 220 | 2 | 0.3 | 0.1 | 25 |
| **36** | 110 | 1.4 | 0.34 | 0.09 | 28 |
| **37** | 110 | 1.6 | 0.28 | 0.12 | 34 |
| **38** | 110 | 2.3 | 0.27 | 0.13 | 29 |
| **39** | 220 | 3.1 | 0.29 | 0.14 | 30 |
| **40** | 220 | 2 | 0.25 | 0.19 | 35 |
| **41** | 220 | 3 | 0.35 | 0.04 | 23 |
| **42** | 110 | 1 | 0.23 | 0.07 | 21 |
| **43** | 110 | 1.5 | 0.34 | 0.11 | 30 |
| **44** | 220 | 1.8 | 0.22 | 0.22  1.7. tabulas turpinājums | 25 |
| **45** | 110 | 2.4 | 0.31 | 0.15 | 28 |
| **46** | 220 | 2.3 | 0.3 | 0.1 | 34 |
| **47** | 220 | 2.1 | 0.2 | 0.09 | 29 |
| **48** | 110 | 1.5 | 0.3 | 0.12 | 30 |
| **49** | 110 | 1.8 | 0.34 | 0.13 | 35 |
| **50** | 110 | 1.9 | 0.28 | 0.14 | 23 |
| **51** | 220 | 2.4 | 0.27 | 0.19 | 21 |
| **52** | 220 | 2 | 0.29 | 0.04 | 28 |
| **53** | 220 | 1.4 | 0.25 | 0.07 | 36 |
| **54** | 110 | 1.6 | 0.35 | 0.11 | 39 |
| **55** | 110 | 2.3 | 0.23 | 0.22 | 31 |
| **56** | 220 | 3.1 | 0.34 | 0.15 | 35 |
| **57** | 110 | 2 | 0.22 | 0.1 | 21 |
| **58** | 220 | 3 | 0.31 | 0.09 | 33 |
| **59** | 220 | 1 | 0.3 | 0.12 | 32 |
| **60** | 110 | 1.5 | 0.2 | 0.13 | 30 |

### 7. Uzdevums

Konstruēt līdzstrāvas ģeneratora regulēšanas raksturlīkni, ja tā spriegums ir *U*, enkura ķēdes pretestība *Re*, enkura ķēdes strāva izmainās no 0 līdz 30 A un ģeneratora tukšgaitas raksturlīkne attēlota 1.14. attēlā. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.8. tabulā.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1.14. att. Ģeneratora tukšgaitas raksturlīkne

1.8. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | |  | **Dotie lielumi** | |
| **Varianti** | **UN, V** | **Re, Ω** | **Varianti** | **UN, V** | **Re, Ω** |
| **1** | 110 | 1 | **31** | 210 | 0,9 |
| **2** | 110 | 1,5 | **32** | 140 | 0,6 |
| **3** | 220 | 1,7 | **33** | 170 | 0,5 |
| **4** | 140 | 2,2 | **34** | 160 | 0,7 |
| **5** | 135 | 3,2 | **35** | 180 | 0,4 |
| **6** | 230 | 1,9 | **36** | 148 | 1,3 |
| **7** | 163 | 0,9 | **37** | 110 | 1,7 |
| **8** | 180 | 0,6 | **38** | 110 | 1,8 |
| **9** | 245 | 0,5 | **39** | 220 | 0,6 |
| **10** | 230 | 0,7 | **40** | 140 | 0,9 |
| **11** | 220 | 0,4 | **41** | 135 | 0,6 |
| **12** | 210 | 1,3 | **42** | 230 | 0,5 |
| **13** | 140 | 1,7 | **43** | 210 | 0,7 |
| **14** | 170 | 1,8 | **44** | 140 | 0,4 |
| **15** | 160 | 0,6 | **45** | 170 | 1,3 |
| **16** | 180 | 2,1 | **46** | 160 | 1,7 |
| **17** | 148 | 1 | **47** | 180 | 1,8 |
| **18** | 110 | 1,5 | **48** | 148  1.8. tabulas turpinājums | 0,6 |
| **19** | 110 | 1,7 | **49** | 110 | 2,1 |
| **20** | 220 | 2,2 | **50** | 110 | 0,4 |
| **21** | 140 | 3,2 | **51** | 220 | 1,7 |
| **22** | 135 | 1,9 | **52** | 210 | 1,8 |
| **23** | 230 | 0,9 | **53** | 140 | 0,6 |
| **24** | 163 | 0,6 | **54** | 170 | 2,1 |
| **25** | 180 | 0,5 | **55** | 160 | 1 |
| **26** | 245 | 0,7 | **56** | 180 | 1,5 |
| **27** | 230 | 0,4 | **57** | 148 | 1,7 |
| **28** | 220 | 1,3 | **58** | 110 | 2,2 |
| **29** | 210 | 1,7 | **59** | 110 | 3,2 |
| **30** | 140 | 1,8 | **60** | 220 | 1,9 |

### 

### 8.Uzdevums

Līdzstrāvas mašīnai ar polu skaitu 2p, kura darbojas dzinēja režīmā, aprēķināt elektromagnētisko griezes momentu Mem un enkura pret-EDS Ei, ja enkura tinuma aktīvo vadu skaits *N* un paralēlo zaru skaits 2*a*, enkura rotācijas frekvence *n*, bet polu magnētiskā plūsma *Φ* un strāva enkura tinumā *Ie*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.9. tabulā.

1.9. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **N** | **2p** | **2a** | **nN, min-1** | **Ф, Wb** | **Ie, A** |
| **1** | 360 | 4 | 2 | 1300 | 0.013 | 90 |
| **2** | 355 | 6 | 4 | 1440 | 0.012 | 78 |
| **3** | 266 | 8 | 4 | 1450 | 0.011 | 87 |
| **4** | 230 | 6 | 4 | 1200 | 0.014 | 83 |
| **5** | 215 | 8 | 2 | 1240 | 0.015 | 120 |
| **6** | 540 | 4 | 4 | 1550 | 0.016 | 114 |
| **7** | 420 | 6 | 2 | 1320 | 0.017 | 81 |
| **8** | 325 | 8 | 4 | 1550 | 0.018 | 96 |
| **9** | 340 | 8 | 2 | 1340 | 0.019  1.9. tabulas turpinājums | 79 |
| **10** | 423 | 6 | 4 | 1290 | 0.02 | 99 |
| **11** | 469 | 4 | 4 | 1300 | 0.011 | 81 |
| **12** | 534 | 6 | 2 | 1440 | 0.012 | 79 |
| **13** | 264 | 4 | 2 | 1450 | 0.013 | 115 |
| **14** | 364 | 8 | 4 | 1200 | 0.012 | 121 |
| **15** | 367 | 7 | 2 | 1240 | 0.011 | 140 |
| **16** | 235 | 8 | 4 | 1550 | 0.014 | 121 |
| **17** | 240 | 6 | 2 | 1320 | 0.015 | 90 |
| **18** | 355 | 4 | 4 | 1550 | 0.016 | 78 |
| **19** | 266 | 6 | 4 | 1340 | 0.017 | 87 |
| **20** | 230 | 4 | 4 | 1290 | 0.018 | 83 |
| **21** | 215 | 4 | 2 | 1300 | 0.019 | 120 |
| **22** | 540 | 6 | 4 | 1440 | 0.013 | 114 |
| **23** | 420 | 8 | 2 | 1450 | 0.012 | 81 |
| **24** | 325 | 6 | 4 | 1200 | 0.011 | 96 |
| **25** | 340 | 8 | 2 | 1240 | 0.014 | 79 |
| **26** | 423 | 4 | 4 | 1550 | 0.015 | 99 |
| **27** | 469 | 6 | 4 | 1320 | 0.016 | 81 |
| **28** | 534 | 8 | 2 | 1550 | 0.017 | 79 |
| **29** | 264 | 8 | 2 | 1340 | 0.018 | 90 |
| **30** | 364 | 6 | 4 | 1290 | 0.019 | 78 |
| **31** | 367 | 4 | 2 | 1300 | 0.02 | 87 |
| **32** | 235 | 6 | 4 | 1440 | 0.011 | 83 |
| **33** | 266 | 4 | 4 | 1450 | 0.013 | 120 |
| **34** | 230 | 8 | 4 | 1200 | 0.012 | 114 |
| **35** | 215 | 7 | 2 | 1240 | 0.011 | 81 |
| **36** | 540 | 8 | 4 | 1550 | 0.014 | 96 |
| **37** | 420 | 6 | 2 | 1320 | 0.015 | 79 |
| **38** | 325 | 4 | 4 | 1550 | 0.016 | 99 |
| **39** | 340 | 6 | 2 | 1340 | 0.017 | 81 |
| **40** | 423 | 4 | 4 | 1290 | 0.018 | 79 |
| **41** | 469 | 4 | 2 | 1300 | 0.013 | 90 |
| **42** | 534 | 6 | 4 | 1440 | 0.012  1.9. tabulas turpinājums | 78 |
| **43** | 264 | 8 | 4 | 1450 | 0.011 | 87 |
| **44** | 364 | 6 | 4 | 1200 | 0.014 | 83 |
| **45** | 367 | 8 | 2 | 1240 | 0.015 | 120 |
| **46** | 266 | 4 | 4 | 1550 | 0.016 | 114 |
| **47** | 230 | 6 | 2 | 1320 | 0.017 | 81 |
| **48** | 215 | 8 | 4 | 1550 | 0.018 | 96 |
| **49** | 540 | 8 | 2 | 1340 | 0.019 | 79 |
| **50** | 420 | 6 | 4 | 1290 | 0.02 | 99 |
| **51** | 325 | 4 | 2 | 1300 | 0.011 | 81 |
| **52** | 340 | 6 | 4 | 1440 | 0.013 | 79 |
| **53** | 423 | 4 | 4 | 1450 | 0.012 | 90 |
| **54** | 469 | 8 | 4 | 1200 | 0.011 | 78 |
| **55** | 534 | 7 | 2 | 1240 | 0.014 | 87 |
| **56** | 264 | 8 | 4 | 1550 | 0.015 | 83 |
| **57** | 364 | 6 | 2 | 1320 | 0.016 | 120 |
| **58** | 367 | 4 | 4 | 1550 | 0.017 | 114 |
| **59** | 235 | 6 | 2 | 1340 | 0.018 | 81 |
| **60** | 235 | 4 | 4 | 1290 | 0.019 | 96 |

### 9. Uzdevums

Līdzstrāvas paralēlas ierosmes dzinējs ar polu skaitu 2p, kura ierosmes tinuma pretestība *Rie*, pieslēgts pie līdzstrāvas tīkla ar spriegumu *UN*. Dzinēja enkura rotācijas frekvence *nN* = 1300, enkura tinuma pretestība *Re*, nominālā strāva *IN*, enkura tinuma vijumu skaits *N*, paralēlo zaru skaits 2*a* un tukšgaitas jaudas zudumi, kas sastāv no zudumiem tēraudā un mehāniskiem zudumiem ir *P*0 = *P*t + *Pmeh*. Aprēķināt inducēto pret-EDS, polu magnētisko plūsmu, elektromagnētisko griezes momentu un griezes momentu uz enkura vārpstas, kā arī dzinēja lietderības koeficientu un tukšgaitas momentu. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.10. tabulā.

1.10. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | | | | |
| **Varianti** | **UN, V** | **2p** | **nN, min-1** | **Rie, Ω** | **Re, Ω** | **IN, A** | **N** | **2a** | **P0, W** |
| **1** | 220 | 4 | 1300 | 200 | 0.17 | 90 | 360 | 2 | 1040 |
| **2** | 220 | 2 | 1300 | 200 | 0.15 | 78 | 355 | 4 | 700 |
| **3** | 220 | 4 | 1440 | 194 | 0.1 | 87 | 266 | 4 | 870 |
| **4** | 110 | 8 | 1450 | 150 | 0.09 | 83 | 230 | 4 | 780 |
| **5** | 110 | 6 | 1200 | 152 | 0.12 | 120 | 215 | 2 | 900 |
| **6** | 220 | 8 | 1240 | 171 | 0.13 | 114 | 540 | 4 | 800 |
| **7** | 110 | 4 | 1550 | 193 | 0.14 | 81 | 420 | 2 | 1080 |
| **8** | 220 | 2 | 1320 | 179 | 0.19 | 96 | 325 | 4 | 1100 |
| **9** | 220 | 8 | 1550 | 199 | 0.04 | 79 | 340 | 2 | 1060 |
| **10** | 110 | 6 | 1340 | 252 | 0.07 | 99 | 423 | 4 | 780 |
| **11** | 220 | 8 | 1290 | 152 | 0.11 | 81 | 469 | 4 | 1040 |
| **12** | 220 | 4 | 1300 | 231 | 0.22 | 79 | 534 | 2 | 700 |
| **13** | 220 | 4 | 1440 | 251 | 0.15 | 115 | 264 | 2 | 870 |
| **14** | 110 | 2 | 1450 | 272 | 0.1 | 121 | 364 | 4 | 780 |
| **15** | 110 | 8 | 1200 | 200 | 0.09 | 140 | 367 | 2 | 900 |
| **16** | 220 | 4 | 1240 | 150 | 0.12 | 121 | 235 | 4 | 800 |
| **17** | 110 | 2 | 1550 | 145 | 0.13 | 90 | 240 | 2 | 1080 |
| **18** | 220 | 4 | 1320 | 210 | 0.14 | 78 | 355 | 4 | 1100 |
| **19** | 220 | 2 | 1300 | 155 | 0.19 | 87 | 266 | 4 | 1060 |
| **20** | 110 | 4 | 1440 | 168 | 0.04 | 83 | 230 | 4 | 780 |
| **21** | 220 | 8 | 1450 | 214 | 0.07 | 120 | 215 | 2 | 1040 |
| **22** | 220 | 6 | 1200 | 157 | 0.11 | 114 | 540 | 4 | 700 |
| **23** | 220 | 8 | 1240 | 200 | 0.22 | 81 | 420 | 2 | 870 |
| **24** | 110 | 4 | 1550 | 194 | 0.15 | 96 | 325 | 4 | 780 |
| **25** | 110 | 2 | 1320 | 150 | 0.1 | 79 | 340 | 2 | 900 |
| **26** | 220 | 8 | 1550 | 152 | 0.09 | 99 | 423 | 4 | 800 |
| **27** | 110 | 6 | 1340 | 171 | 0.12 | 81 | 469 | 4 | 1080 |
| **28** | 220 | 8 | 1290 | 193 | 0.13 | 79 | 534 | 2 | 1100 |
| **29** | 220 | 4 | 1300 | 179 | 0.14 | 90 | 264 | 2 | 1060 |
| **30** | 110 | 4 | 1440 | 199 | 0.19 | 78 | 364 | 4 | 780 |
| **31** | 220 | 2 | 1450 | 252 | 0.04 | 87  1.10. tabulas turpinājums | 367 | 2 | 1040 |
| **32** | 220 | 8 | 1200 | 152 | 0.07 | 83 | 235 | 4 | 700 |
| **33** | 220 | 4 | 1240 | 231 | 0.11 | 120 | 266 | 4 | 870 |
| **34** | 110 | 2 | 1550 | 251 | 0.22 | 114 | 230 | 4 | 780 |
| **35** | 110 | 4 | 1320 | 272 | 0.15 | 81 | 215 | 2 | 900 |
| **36** | 220 | 2 | 1300 | 200 | 0.1 | 96 | 540 | 4 | 800 |
| **37** | 110 | 4 | 1440 | 150 | 0.15 | 79 | 420 | 2 | 1080 |
| **38** | 220 | 8 | 1450 | 200 | 0.1 | 99 | 325 | 4 | 1100 |
| **39** | 220 | 6 | 1200 | 194 | 0.09 | 81 | 340 | 2 | 1060 |
| **40** | 110 | 8 | 1240 | 150 | 0.12 | 79 | 423 | 4 | 780 |
| **41** | 220 | 4 | 1550 | 152 | 0.13 | 90 | 469 | 2 | 1040 |
| **42** | 220 | 2 | 1320 | 171 | 0.14 | 78 | 534 | 4 | 700 |
| **43** | 220 | 8 | 1550 | 193 | 0.19 | 87 | 264 | 4 | 870 |
| **44** | 110 | 6 | 1340 | 179 | 0.04 | 83 | 364 | 4 | 780 |
| **45** | 110 | 8 | 1290 | 199 | 0.07 | 120 | 367 | 2 | 900 |
| **46** | 220 | 4 | 1300 | 252 | 0.11 | 114 | 266 | 4 | 800 |
| **47** | 110 | 4 | 1440 | 152 | 0.22 | 81 | 230 | 2 | 1080 |
| **48** | 220 | 2 | 1450 | 231 | 0.15 | 96 | 215 | 4 | 1100 |
| **49** | 220 | 8 | 1200 | 251 | 0.1 | 79 | 540 | 2 | 1060 |
| **50** | 110 | 4 | 1300 | 272 | 0.09 | 99 | 420 | 4 | 780 |
| **51** | 220 | 2 | 1440 | 200 | 0.15 | 81 | 325 | 2 | 1040 |
| **52** | 220 | 4 | 1450 | 150 | 0.1 | 79 | 340 | 4 | 700 |
| **53** | 220 | 2 | 1200 | 145 | 0.09 | 90 | 423 | 4 | 870 |
| **54** | 110 | 4 | 1240 | 210 | 0.12 | 78 | 469 | 4 | 780 |
| **55** | 110 | 8 | 1550 | 200 | 0.13 | 87 | 534 | 2 | 900 |
| **56** | 220 | 6 | 1320 | 194 | 0.14 | 83 | 264 | 4 | 800 |
| **57** | 110 | 8 | 1550 | 150 | 0.19 | 120 | 364 | 2 | 1080 |
| **58** | 220 | 4 | 1340 | 152 | 0.04 | 114 | 367 | 4 | 1040 |
| **59** | 220 | 2 | 1290 | 171 | 0.07 | 81 | 235 | 2 | 700 |
| **60** | 110 | 8 | 1300 | 193 | 0.11 | 96 | 235 | 4 | 870 |

### 10. Uzdevums

Paralēlas ierosmes dzinējs pieslēgts līdzstrāvas tīklam ar spriegumu *UN*. Dzinēja enkura tinuma pretestība *Re*, enkurā inducētais pret-elektrodzinējspēks *Ei*. Aprēķināt strāvu dzinēja enkura ķēdē dzinēja darba režīmā un palaišanas sākuma momentā ar un bez palaišanas reostata, ja tā pretestība *Rp*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.11. tabulā.

1.11. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **UN, V** | **Re, Ω** | **Ei, V** | **Rp, Ω** |
| **1** | 220 | 0.1 | 205 | 1 |
| **2** | 220 | 0.17 | 200 | 1.2 |
| **3** | 220 | 0.15 | 200 | 0.8 |
| **4** | 220 | 0.1 | 194 | 0.9 |
| **5** | 220 | 0.3 | 105 | 0.95 |
| **6** | 220 | 0.12 | 152 | 0.97 |
| **7** | 220 | 0.13 | 171 | 0.77 |
| **8** | 220 | 0.14 | 193 | 1 |
| **9** | 220 | 0.19 | 179 | 1.25 |
| **10** | 220 | 0.04 | 199 | 1.2 |
| **11** | 220 | 0.07 | 200 | 1.1 |
| **12** | 220 | 0.11 | 152 | 1.15 |
| **13** | 220 | 0.22 | 152 | 1 |
| **14** | 220 | 0.15 | 152 | 0.9 |
| **15** | 220 | 0.1 | 152 | 1 |
| **16** | 220 | 0.09 | 200 | 1.2 |
| **17** | 220 | 0.12 | 150 | 0.8 |
| **18** | 220 | 0.13 | 145 | 0.9 |
| **19** | 220 | 0.14 | 210 | 0.95 |
| **20** | 220 | 0.19 | 155 | 0.97 |
| **21** | 220 | 0.04 | 168 | 0.77 |
| **22** | 220 | 0.07 | 214 | 1 |
| **23** | 220 | 0.11 | 157  1.11. tabulas turpinājums | 1.25 |
| **24** | 220 | 0.22 | 200 | 1.2 |
| **25** | 220 | 0.15 | 194 | 1.1 |
| **26** | 220 | 0.1 | 150 | 1.15 |
| **27** | 220 | 0.09 | 152 | 1 |
| **28** | 220 | 0.12 | 171 | 1 |
| **29** | 220 | 0.13 | 193 | 1.2 |
| **30** | 220 | 0.14 | 179 | 0.8 |
| **31** | 220 | 0.19 | 199 | 0.9 |
| **32** | 220 | 0.04 | 199 | 0.95 |
| **33** | 220 | 0.07 | 152 | 0.97 |
| **34** | 220 | 0.11 | 152 | 0.77 |
| **35** | 220 | 0.22 | 152 | 1 |
| **36** | 220 | 0.15 | 152 | 1.25 |
| **37** | 220 | 0.1 | 200 | 1.2 |
| **38** | 220 | 0.15 | 150 | 1.1 |
| **39** | 220 | 0.1 | 200 | 1 |
| **40** | 220 | 0.09 | 194 | 1.2 |
| **41** | 220 | 0.12 | 150 | 0.8 |
| **42** | 220 | 0.13 | 152 | 0.9 |
| **43** | 220 | 0.14 | 171 | 0.95 |
| **44** | 220 | 0.19 | 193 | 0.97 |
| **45** | 220 | 0.04 | 179 | 0.77 |
| **46** | 220 | 0.07 | 199 | 1 |
| **47** | 220 | 0.11 | 199 | 1.25 |
| **48** | 220 | 0.22 | 152 | 1.2 |
| **49** | 220 | 0.15 | 152 | 1.1 |
| **50** | 220 | 0.1 | 152 | 1.15 |
| **51** | 220 | 0.09 | 152 | 1 |
| **52** | 220 | 0.15 | 200 | 0.9 |
| **53** | 220 | 0.1 | 150 | 1 |
| **54** | 220 | 0.09 | 145 | 1.2 |
| **55** | 220 | 0.12 | 210 | 0.8 |
| **56** | 220 | 0.13 | 200  1.11. tabulas turpinājums | 0.9 |
| **57** | 220 | 0.14 | 194 | 0.95 |
| **58** | 220 | 0.19 | 150 | 0.97 |
| **59** | 220 | 0.04 | 152 | 0.77 |
| **60** | 220 | 0.07 | 171 | 1 |

### 11. Uzdevums

Paralēlas ierosmes dzinējs, kura nominālā jauda *PN*, lietderības koeficients *ηN*, enkura tinuma pretestība *Re*, pieslēgts līdzstrāvas tīklam ar spriegumu *UN*. Aprēķināt palaišanas reostata nepieciešamo pretestību, lai palaišanas strāva pārsniegtu nominālo strāvu ne vairāk, kā 2,5 reizes. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.12. tabulā.

1.12. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **PN, kW** | **ηN** | **Re, Ω** | **UN, V** |
| **1** | 18.7 | 0.85 | 0.01 | 220 |
| **2** | 15 | 0.9 | 0.17 | 220 |
| **3** | 13 | 0.82 | 0.15 | 220 |
| **4** | 17 | 0.97 | 0.1 | 220 |
| **5** | 15.9 | 0.97 | 0.09 | 220 |
| **6** | 21.9 | 0.9 | 0.12 | 220 |
| **7** | 20 | 0.82 | 0.13 | 220 |
| **8** | 14.6 | 0.97 | 0.14 | 220 |
| **9** | 17.8 | 0.85 | 0.19 | 220 |
| **10** | 19.5 | 0.9 | 0.04 | 220 |
| **11** | 18.7 | 0.82 | 0.07 | 220 |
| **12** | 15 | 0.97 | 0.11 | 220 |
| **13** | 13 | 0.85 | 0.22 | 220 |
| **14** | 17 | 0.9 | 0.15 | 220 |
| **15** | 15.9 | 0.82 | 0.1 | 220 |
| **16** | 21.9 | 0.97 | 0.09 | 220 |
| **17** | 20 | 0.85 | 0.12 | 220 |
| **18** | 14.6 | 0.9 | 0.13  1.12. tabulas turpinājums | 220 |
| **19** | 17.8 | 0.82 | 0.14 | 220 |
| **20** | 19.5 | 0.97 | 0.19 | 220 |
| **21** | 18.7 | 0.85 | 0.04 | 220 |
| **22** | 15 | 0.9 | 0.07 | 220 |
| **23** | 13 | 0.82 | 0.11 | 220 |
| **24** | 17 | 0.97 | 0.22 | 220 |
| **25** | 15.9 | 0.85 | 0.15 | 220 |
| **26** | 21.9 | 0.9 | 0.1 | 220 |
| **27** | 20 | 0.82 | 0.09 | 220 |
| **28** | 14.6 | 0.97 | 0.12 | 220 |
| **29** | 17.8 | 0.85 | 0.13 | 220 |
| **30** | 19.5 | 0.9 | 0.14 | 220 |
| **31** | 18.7 | 0.82 | 0.19 | 220 |
| **32** | 15 | 0.97 | 0.04 | 220 |
| **33** | 13 | 0.85 | 0.07 | 220 |
| **34** | 17 | 0.9 | 0.11 | 220 |
| **35** | 15.9 | 0.82 | 0.22 | 220 |
| **36** | 21.9 | 0.97 | 0.15 | 220 |
| **37** | 20 | 0.85 | 0.1 | 220 |
| **38** | 14.6 | 0.9 | 0.15 | 220 |
| **39** | 17.8 | 0.82 | 0.1 | 220 |
| **40** | 19.5 | 0.97 | 0.09 | 220 |
| **41** | 18.7 | 0.85 | 0.12 | 220 |
| **42** | 15 | 0.9 | 0.13 | 220 |
| **43** | 13 | 0.82 | 0.14 | 220 |
| **44** | 17 | 0.97 | 0.19 | 220 |
| **45** | 15.9 | 0.85 | 0.04 | 220 |
| **46** | 21.9 | 0.9 | 0.07 | 220 |
| **47** | 20 | 0.82 | 0.11 | 220 |
| **48** | 14.6 | 0.97 | 0.22 | 220 |
| **49** | 17.8 | 0.85 | 0.15 | 220 |
| **50** | 19.5 | 0.9 | 0.1 | 220 |
| **51** | 18.7 | 0.82 | 0.09  1.12. tabulas turpinājums | 220 |
| **52** | 15 | 0.97 | 0.15 | 220 |
| **53** | 13 | 0.85 | 0.1 | 220 |
| **54** | 17 | 0.9 | 0.09 | 220 |
| **55** | 15.9 | 0.82 | 0.12 | 220 |
| **56** | 21.9 | 0.97 | 0.13 | 220 |
| **57** | 20 | 0.85 | 0.14 | 220 |
| **58** | 14.6 | 0.9 | 0.19 | 220 |
| **59** | 17.8 | 0.82 | 0.04 | 220 |
| **60** | 19.5 | 0.97 | 0.07 | 220 |

### 12. Uzdevums

Paralēlas ierosmes dzinēja nominālā strāva *IN*, enkura tinumā inducētais pret-EDS *Ei*, enkura nominālā rotācijas frekvence *nN*, ierosmes tinuma pretestība *Rie*, lietderības koeficients *ηN*. Dzinējas pieslēgts līdzstrāvas tīklam ar spriegumu *UN*. Aprēķināt strāvu enkura tinumā Ie, jaudas zudumos dzinējā Δ*P* un tā nominālo griezes momentu *MN*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.13. tabulā.

1.13. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **IN, A** | **Ei, V** | **nN, min-1** | **Rie, Ω** | **η, %** | **UN, V** |
| **1** | 500 | 210 | 1450 | 50 | 89.5 | 220 |
| **2** | 450 | 205 | 1300 | 35 | 0.9 | 220 |
| **3** | 600 | 200 | 1440 | 55 | 0.82 | 220 |
| **4** | 450 | 200 | 1450 | 48 | 0.97 | 220 |
| **5** | 500 | 194 | 1200 | 34 | 0.97 | 220 |
| **6** | 670 | 105 | 1240 | 64 | 0.9 | 220 |
| **7** | 540 | 152 | 1550 | 29 | 0.82 | 220 |
| **8** | 770 | 171 | 1320 | 53 | 0.97 | 220 |
| **9** | 530 | 193 | 1550 | 26 | 0.85 | 220 |
| **10** | 510 | 179 | 1340 | 63 | 0.9 | 220 |
| **11** | 680 | 199 | 1290 | 52 | 0.82 | 220 |
| **12** | 550 | 199 | 1300 | 47 | 0.97  1.13. tabulas turpinājums | 220 |
| **13** | 500 | 152 | 1440 | 39 | 0.85 | 220 |
| **14** | 450 | 152 | 1450 | 50 | 0.9 | 220 |
| **15** | 600 | 152 | 1200 | 40 | 0.82 | 220 |
| **16** | 450 | 152 | 1240 | 35 | 0.97 | 220 |
| **17** | 500 | 200 | 1550 | 55 | 0.85 | 220 |
| **18** | 670 | 150 | 1320 | 48 | 0.9 | 220 |
| **19** | 540 | 145 | 1300 | 34 | 0.82 | 220 |
| **20** | 770 | 210 | 1440 | 64 | 0.97 | 220 |
| **21** | 530 | 155 | 1450 | 29 | 0.85 | 220 |
| **22** | 510 | 168 | 1200 | 53 | 0.9 | 220 |
| **23** | 680 | 214 | 1240 | 26 | 0.82 | 220 |
| **24** | 550 | 157 | 1550 | 63 | 0.97 | 220 |
| **25** | 500 | 200 | 1320 | 52 | 0.85 | 220 |
| **26** | 450 | 194 | 1550 | 47 | 0.9 | 220 |
| **27** | 600 | 150 | 1340 | 39 | 0.82 | 220 |
| **28** | 450 | 152 | 1290 | 50 | 0.97 | 220 |
| **29** | 500 | 171 | 1300 | 40 | 0.85 | 220 |
| **30** | 670 | 193 | 1440 | 30 | 0.9 | 220 |
| **31** | 540 | 179 | 1450 | 35 | 0.82 | 220 |
| **32** | 770 | 199 | 1200 | 55 | 0.97 | 220 |
| **33** | 530 | 199 | 1240 | 48 | 0.85 | 220 |
| **34** | 510 | 152 | 1550 | 34 | 0.9 | 220 |
| **35** | 500 | 152 | 1320 | 64 | 0.82 | 220 |
| **36** | 450 | 152 | 1300 | 29 | 0.97 | 220 |
| **37** | 600 | 152 | 1440 | 53 | 0.85 | 220 |
| **38** | 450 | 200 | 1450 | 26 | 0.9 | 220 |
| **39** | 500 | 150 | 1200 | 63 | 0.82 | 220 |
| **40** | 670 | 200 | 1240 | 52 | 0.97 | 220 |
| **41** | 540 | 194 | 1550 | 47 | 0.85 | 220 |
| **42** | 770 | 150 | 1320 | 39 | 0.9 | 220 |
| **43** | 500 | 152 | 1550 | 50 | 0.82 | 220 |
| **44** | 450 | 171 | 1340 | 40 | 0.97 | 220 |
| **45** | 600 | 193 | 1290 | 35 | 0.85  1.13. tabulas turpinājums | 220 |
| **46** | 450 | 179 | 1300 | 55 | 0.9 | 220 |
| **47** | 500 | 199 | 1440 | 48 | 0.82 | 220 |
| **48** | 670 | 152 | 1450 | 34 | 0.97 | 220 |
| **49** | 540 | 152 | 1200 | 64 | 0.85 | 220 |
| **50** | 770 | 200 | 1300 | 29 | 0.9 | 220 |
| **51** | 530 | 200 | 1440 | 53 | 0.82 | 220 |
| **52** | 510 | 200 | 1450 | 26 | 0.97 | 220 |
| **53** | 500 | 200 | 1200 | 63 | 0.85 | 220 |
| **54** | 450 | 150 | 1240 | 52 | 0.9 | 220 |
| **55** | 600 | 145 | 1550 | 47 | 0.82 | 220 |
| **56** | 450 | 210 | 1320 | 39 | 0.97 | 220 |
| **57** | 500 | 200 | 1550 | 50 | 0.85 | 220 |
| **58** | 670 | 194 | 1340 | 40 | 0.9 | 220 |
| **59** | 540 | 150 | 1290 | 30 | 0.82 | 220 |
| **60** | 770 | 152 | 1300 | 30 | 0.97 | 220 |

### 13. Uzdevums

Zināmi šādi paralēlās ierosmes dzinēja nominālie dati *PN*, *UN*, *nN*, *IN*. Sasilušā enkura un papildpolu pretestība ir *Re*, bet ierosmes tinuma pretestība *Rie*. Aprēķināt dzinēja griezes momentu nominālajā režīmā, kā arī dzinēja enkura griešanas ātrumu tukšgaitā. Enkura strāvu neievērot. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.14. tabulā.

1.14. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **PN, kW** | **UN, V** | **nN, min-1** | **IN, A** | **Re, Ω** | **Rie, Ω** |
| **1** | 130 | 220 | 600 | 640 | 0.00725 | 43.2 |
| **2** | 120 | 220 | 700 | 450 | 0.001 | 35 |
| **3** | 140 | 220 | 1500 | 600 | 0.008 | 55 |
| **4** | 110 | 220 | 1000 | 450 | 0.007 | 48 |
| **5** | 100 | 220 | 500 | 500 | 0.0065 | 34 |
| **6** | 150 | 220 | 750 | 670 | 0.0085 | 64 |
| **7** | 110 | 220 | 600 | 540 | 0.00725  1.14. tabulas turpinājums | 29 |
| **8** | 125 | 220 | 700 | 770 | 0.001 | 53 |
| **9** | 105 | 220 | 1500 | 530 | 0.008 | 26 |
| **10** | 130 | 220 | 1000 | 510 | 0.007 | 63 |
| **11** | 120 | 220 | 500 | 680 | 0.0065 | 52 |
| **12** | 140 | 220 | 750 | 550 | 0.0085 | 47 |
| **13** | 110 | 220 | 600 | 500 | 0.00725 | 39 |
| **14** | 100 | 220 | 700 | 450 | 0.001 | 50 |
| **15** | 150 | 220 | 1500 | 600 | 0.008 | 40 |
| **16** | 110 | 220 | 1000 | 450 | 0.007 | 35 |
| **17** | 125 | 220 | 500 | 500 | 0.0065 | 55 |
| **18** | 105 | 220 | 750 | 670 | 0.0085 | 48 |
| **19** | 130 | 220 | 600 | 540 | 0.00725 | 34 |
| **20** | 120 | 220 | 700 | 770 | 0.001 | 64 |
| **21** | 140 | 220 | 1500 | 530 | 0.008 | 29 |
| **22** | 110 | 220 | 1000 | 510 | 0.007 | 53 |
| **23** | 100 | 220 | 500 | 680 | 0.0065 | 26 |
| **24** | 150 | 220 | 750 | 550 | 0.0085 | 63 |
| **25** | 110 | 220 | 600 | 500 | 0.00725 | 52 |
| **26** | 125 | 220 | 700 | 450 | 0.001 | 47 |
| **27** | 105 | 220 | 1500 | 600 | 0.008 | 39 |
| **28** | 130 | 220 | 1000 | 450 | 0.007 | 50 |
| **29** | 120 | 220 | 500 | 500 | 0.0065 | 40 |
| **30** | 140 | 220 | 750 | 670 | 0.0085 | 30 |
| **31** | 110 | 220 | 600 | 540 | 0.00725 | 35 |
| **32** | 100 | 220 | 700 | 770 | 0.00725 | 55 |
| **33** | 150 | 220 | 1500 | 530 | 0.001 | 48 |
| **34** | 110 | 220 | 1000 | 510 | 0.008 | 34 |
| **35** | 125 | 220 | 500 | 500 | 0.007 | 64 |
| **36** | 105 | 220 | 750 | 450 | 0.0065 | 29 |
| **37** | 110 | 220 | 600 | 600 | 0.0085 | 53 |
| **38** | 125 | 220 | 700 | 450 | 0.00725 | 26 |
| **39** | 105 | 220 | 1500 | 500 | 0.001 | 63 |
| **40** | 130 | 220 | 1000 | 670 | 0.008  1.14. tabulas turpinājums | 52 |
| **41** | 120 | 220 | 500 | 540 | 0.007 | 47 |
| **42** | 140 | 220 | 750 | 770 | 0.0065 | 39 |
| **43** | 110 | 220 | 600 | 500 | 0.0085 | 50 |
| **44** | 100 | 220 | 700 | 450 | 0.00725 | 40 |
| **45** | 150 | 220 | 1500 | 600 | 0.00725 | 35 |
| **46** | 110 | 220 | 1000 | 450 | 0.001 | 55 |
| **47** | 125 | 220 | 500 | 500 | 0.008 | 48 |
| **48** | 105 | 220 | 750 | 670 | 0.007 | 34 |
| **49** | 110 | 220 | 600 | 540 | 0.0065 | 64 |
| **50** | 125 | 220 | 700 | 770 | 0.0085 | 29 |
| **51** | 105 | 220 | 1500 | 530 | 0.00725 | 53 |
| **52** | 130 | 220 | 1000 | 510 | 0.001 | 26 |
| **53** | 120 | 220 | 500 | 500 | 0.008 | 63 |
| **54** | 140 | 220 | 750 | 450 | 0.007 | 52 |
| **55** | 110 | 220 | 600 | 600 | 0.0065 | 47 |
| **56** | 110 | 220 | 700 | 450 | 0.0085 | 39 |
| **57** | 125 | 220 | 1500 | 500 | 0.00725 | 50 |
| **58** | 105 | 220 | 1000 | 670 | 0.001 | 40 |
| **59** | 130 | 220 | 500 | 540 | 0.008 | 30 |
| **60** | 120 | 220 | 750 | 770 | 0.007 | 30 |

### 14. Uzdevums

Virknes ierosmes dzinējs pieslēgts tīklam ar spriegumu *UN*. Dzinēja enkura rotācijas frekvence *nN*, griezes moments uz vārpstas *MN*, lietderības koeficients *ηN*, enkura tinuma pretestība *Re*, ierosmes tinuma pretestība *Rie*. Aprēķināt dzinēja nominālo jaudu, patērēto jaudu, patērēto strāvu no tīkla, jaudu zudumus enkurā un ierosmes tinumā, palaišanas reostata pretestību, ar kuru palaišanas strāvu samazina līdz 2,5∙*IeN* un palaišanas strāvu. Variantam atbilstoši izejas dati doti 1.15. tabulā.

1.15. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **UN, V** | **nN, min-1** | **MN, Nm** | **η, %** | **Re, Ω** | **Rie, Ω** |
| **1** | 220 | 2040 | 147.2 | 88 | 0.08 | 0.07 |
| **2** | 220 | 1420 | 205 | 90 | 0.03 | 0.06 |
| **3** | 220 | 1300 | 200 | 90 | 0.15 | 0.05 |
| **4** | 220 | 1000 | 200 | 90 | 0.1 | 0.09 |
| **5** | 220 | 980 | 194 | 90 | 0.09 | 0.08 |
| **6** | 220 | 1200 | 105 | 90 | 0.12 | 0.09 |
| **7** | 220 | 1320 | 152 | 90 | 0.13 | 0.07 |
| **8** | 220 | 1650 | 171 | 90 | 0.14 | 0.06 |
| **9** | 220 | 1240 | 193 | 90 | 0.19 | 0.05 |
| **10** | 220 | 1100 | 179 | 90 | 0.04 | 0.09 |
| **11** | 220 | 1250 | 199 | 90 | 0.07 | 0.08 |
| **12** | 220 | 850 | 199 | 90 | 0.11 | 0.09 |
| **13** | 220 | 920 | 152 | 90 | 0.22 | 0.07 |
| **14** | 220 | 1340 | 152 | 90 | 0.15 | 0.06 |
| **15** | 220 | 1520 | 152 | 90 | 0.1 | 0.05 |
| **16** | 220 | 1460 | 152 | 90 | 0.09 | 0.09 |
| **17** | 220 | 1420 | 200 | 90 | 0.12 | 0.08 |
| **18** | 220 | 1300 | 150 | 90 | 0.13 | 0.09 |
| **19** | 220 | 1000 | 145 | 90 | 0.14 | 0.07 |
| **20** | 220 | 980 | 210 | 90 | 0.19 | 0.06 |
| **21** | 220 | 1200 | 155 | 90 | 0.04 | 0.05 |
| **22** | 220 | 1320 | 168 | 90 | 0.07 | 0.09 |
| **23** | 220 | 1650 | 214 | 90 | 0.11 | 0.08 |
| **24** | 220 | 1240 | 157 | 90 | 0.22 | 0.09 |
| **25** | 220 | 1100 | 200 | 90 | 0.15 | 0.07 |
| **26** | 220 | 1250 | 194 | 90 | 0.1 | 0.06 |
| **27** | 220 | 850 | 150 | 90 | 0.09 | 0.05 |
| **28** | 220 | 920 | 152 | 90 | 0.12 | 0.09 |
| **29** | 220 | 1340 | 171 | 90 | 0.13 | 0.08 |
| **30** | 220 | 1520 | 193 | 90 | 0.14 | 0.09 |
| **31** | 220 | 1460 | 179 | 90  1.15. tabulas turpinājums | 0.19 | 0.07 |
| **32** | 220 | 1420 | 199 | 90 | 0.04 | 0.06 |
| **33** | 220 | 1300 | 199 | 90 | 0.07 | 0.05 |
| **34** | 220 | 1000 | 152 | 90 | 0.11 | 0.09 |
| **35** | 220 | 980 | 152 | 90 | 0.22 | 0.08 |
| **36** | 220 | 1200 | 152 | 90 | 0.15 | 0.09 |
| **37** | 220 | 1320 | 152 | 90 | 0.1 | 0.07 |
| **38** | 220 | 1650 | 200 | 90 | 0.15 | 0.06 |
| **39** | 220 | 1240 | 150 | 90 | 0.1 | 0.05 |
| **40** | 220 | 1100 | 200 | 90 | 0.09 | 0.09 |
| **41** | 220 | 1250 | 194 | 90 | 0.12 | 0.08 |
| **42** | 220 | 850 | 150 | 90 | 0.13 | 0.09 |
| **43** | 220 | 920 | 152 | 90 | 0.14 | 0.07 |
| **44** | 220 | 1340 | 171 | 90 | 0.19 | 0.06 |
| **45** | 220 | 1520 | 193 | 90 | 0.04 | 0.05 |
| **46** | 220 | 1460 | 179 | 90 | 0.07 | 0.09 |
| **47** | 220 | 1420 | 199 | 90 | 0.11 | 0.08 |
| **48** | 220 | 1300 | 152 | 90 | 0.22 | 0.09 |
| **49** | 220 | 1000 | 152 | 90 | 0.15 | 0.07 |
| **50** | 220 | 980 | 200 | 90 | 0.1 | 0.06 |
| **51** | 220 | 1200 | 200 | 90 | 0.09 | 0.05 |
| **52** | 220 | 1320 | 200 | 90 | 0.15 | 0.09 |
| **53** | 220 | 1650 | 200 | 90 | 0.1 | 0.08 |
| **54** | 220 | 1240 | 150 | 90 | 0.09 | 0.09 |
| **55** | 220 | 1100 | 145 | 90 | 0.12 | 0.07 |
| **56** | 220 | 1250 | 210 | 90 | 0.13 | 0.06 |
| **57** | 220 | 850 | 200 | 90 | 0.14 | 0.05 |
| **58** | 220 | 920 | 194 | 90 | 0.19 | 0.09 |
| **59** | 220 | 1340 | 150 | 90 | 0.04 | 0.08 |
| **60** | 220 | 1520 | 152 | 90 | 0.07 | 0.09 |

# 2. Transformatori

## 2.1. Transformatoru nozīme un uzdevums

Mūsdienās elektrisko enerģiju ražo centralizēti lieljaudas elektrostacijās. Vienīgi termoelektrocentrāles, kurās ražo elektrisko ener­ģiju un siltumu, būvē lielās pilsētās, lai tās apgādātu arī ar siltumu. Tātad elektrostacijas gandrīz vienmēr atrodas ļoti tālu no lielām elektriskās enerģijas patēriņa vietām. Elektrisko enerģiju no elektro­stacijām patēriņa centriem pievada pa gaisvadu līnijām.

Tā kā enerģijas zudumi, kas siltuma veidā izdalās pārvades līnijā, proporcionāli līnijas strāvas kvadrātam, tad, lai elektriskās enerģijas pārvade būtu ekonomiska, līnijas strāvai jābūt mazai, bet pārvades līnijas spriegumam, lai nodrošinātu nepieciešamo līnijas caurlaides spēju, pietiekami augstam.

Elektrostacijās uzstādīto trīsfāzu maiņstrāvas ģe­neratoru nominālie spriegumi — 3,15; 6,3; 10,5 vai 15,75 kV — ir par zemiem ekonomiskai elektriskās enerģijas pārvadīšanai (augstāka sprieguma ģeneratoru būve saistīta ar konstruk­tīvām grūtībām).

Tādēļ elektrostacijās ģeneratoru spriegums ir jāpaaugstina līdz 35, 110, 220, 330, 500 vai pat 750 kV. Jo garāka pārvades līnija un jo lielāka pārvadāmā jauda, jo augstākam jābūt sprie­gumam. Bet elektriskās enerģijas patērētāji parasti pa­redzēti spriegumiem līdz 1000 V. Tikai lieljaudas elektrodzinējus būvē 3, 6 un 10 kV spriegu­miem. Tāpēc ekonomiskai elektriskās enerģijas pārvadei un sadalei elektroenerģētiskajā sistēmā starp ģenera­toru un patērētājiem sprieguma skaitliskā vērtība vairākas reizes jāmaina. Šo uzdevumu veic transformatori, kuri, izmainot sprie­guma skaitlisko vērtību, reizē izmaina arī strāvas vērtību. Maiņ­strāvas frekvenci transformācijas process neietekmē.

Neskatoties uz transformatoru izveidojumu un izmanto­šanas daudzveidību, elektromagnētiskie procesi transformatoros būtībā ir vienādi. Par transformatoru sauc statisku elektromagnētisku ierīci, kuras uzdevums ir pārveidot maiņstrāvas spriegumu. Transformatorus lieto ļoti plaši, galvenokārt tur, kur nepiecie­šams pārvadīt elektrisko enerģiju lielos attālumos.

Vienu un to pašu elektrisko jaudu izdevīgāk pār­vadīt ar augstāku spriegumu un attiecīgi mazāku strāvu. Tādā gadī­jumā samazinās jaudas zudumi vadu silšanas dēļ. Šie zudumi ir proporcionāli strāvai otrajā pakāpē. Rodas arī iespēja lietot vadus ar mazāku šķērsgriezumu un izgatavot tos no lētāka materiāla nekā varš, piemēram, no tērauda vai no tērauda un alu­mīnija. Transformatorus, kuru uzdevums paaugstināt spriegumu, sauc par paaugstinošiem, bet tos, kas pazemina spriegumu par pazeminošiem.

Pēc fāzu skaita transformatorus iedala vienfāzes un trīsfāzu transformatoros.

Pēc uzdevuma izšķir šādus transformatorus:

1. jaudas transformatorus — spēka un apgaismes iekārtu barošanai;
2. speciālos transformatorus — speciāla uzdevuma patērētāju (elektrokrāšņu, elektrisko metināšanas aparātu u. c.) barošanai;
3. mērtransformatorus — mēraparātu pieslēgšanai;
4. autotransformatorus — sprieguma pārveidošanai nelielās robežās.

To tinumu, kuram pievada maiņstrāvas enerģiju no tīkla, sauc par primāro, bet to, no kura enerģiju aizvada, — par sekundāro. Atkarībā no tā, kādam spriegumam tinumi aprēķināti, izšķir aug­stākā un zemākā sprieguma tinumus. Visus lielumus, kas attiecas uz primāro vai sekundāro tinumu, sauc par primārajiem vai sekun­dārajiem un apzīmē attiecīgi ar indeksu 1 vai 2.

## 2.2. Transformatoru nominālie lielumi

Transformatora nominālos datus, kuriem tas aprēķināts izgatavotājrūpnīcā visam ekspluatācijas laikam, uzrāda piestiprinātajā plāksnītē — pasē. Tie ir:

* nominālā pilnā jauda SN, kV·A;
* nominālais līnijas primārais spriegums U1lN, V vai kV;
* nominālais līnijas sekundārais spriegums U2lN, V vai kV;
* nominālā līnijas primārā strāva I1lN, A;
* nominālā līnijas sekundārā strāva I2lN, A;
* nominālā frekvence f, Hz;
* fāžu skaits;
* tinumu savienojumu shēma un grupa;
* īsslēguma spriegums uk, %;
* darba režīms un dzesēšanas veids;
* transformatora pilnā masa, kg;
* eļļas masa, kg;
* aktīvās daļas masa, kg.

Transformatora nominālos spriegumus (primāro un sekundāro) nosaka tukšgaitas režīmā. Primārā un sekundārā tinuma nominālās strāvas atbilst transformatora nominālajai jaudai un nominālajiem spriegumiem.

Par transformatora nominālo jaudu SN sauc jaudu, ko transformators atdod no sekundārā tinuma spailēm.

Vienfāzes transformatora nominālo jaudu aprēķina kā

SN = U1lN·I1lN, (2.1.)

bet trīsfāzu transformatoram

SN = U11N ·I11N = 3UlfN ·IlfN, (2.2.)

kur UlfN, IlfN — primārā tinuma nominālais fāzes spriegums un fāzes strāva.

Par primāro nominālo spriegumu U1N sauc tīkla spriegumu, kuram transformators aprēķināts (paredzēts).

Par sekundāro nominālo spriegumu U2N sauc sprie­gumu starp transformatora sekundārā tinuma spailēm tukšgaitas režīmā pie nominālā primārā sprieguma UIN.

Par nominālajām strāvām — primāro I1N un sekundāro I2N — sauc strāvas, kas atbilst sprieguma un jaudas nominālajām vērtī­bām.

Trīsfāzu transformatora nominālās strāvas

.

Vienfāzes transformatora nominālās strāvas

.

Pie tam, tā kā transformatora lietderības koeficients ir pietie­kami liels, pieņem, ka primārā un sekundārā tinuma jaudas ir vie­nādas. Jāpiezīmē, ka tehniskajā pasē arvien uzrāda līnijas strāvas un līnijas sprieguma vērtības.

**2.1. Piemērs.** Noteikt vienfāzu transformatora nominālās strāvas un īsslēguma strāvas I1k un I2k, ja tā pilnā jauda SN = 250 VA, primārais nominālais spriegums U1N = 220 V, sekundārais nominālais spriegums U2N = 12 V un īsslēguma spriegums uk = 4 %.

Atrisinājums.

1. Primārā nominālā strāva

A;

2. Sekundārā nominālā strāva

A.

3. Primārā nominālā strāva

A;

4. Sekundārā nominālā strāva

A.

**2.2. Piemērs.** Noteikt trīsfāzu transformatora nominālās strāvas I1N un I2N, ja tā jauda 180 kVA un spriegums attiecīgi U1N / U2N ir 10 /0,4 kV.

Atrisinājums.

1. Primārā nominālā strāva

A;

2. Sekundārā nominālā strāva

A.

## 2.3. Vienfāzes transformatora darbības princips

Vienfāzes divtinumu transformatora ar tērauda serdi (2.1. att.) darbības process un elektromagnētiskās sakarības ir raksturīgas visu veidu transformatoriem.

Transformatora galvenās sastāvdaļas ir no elektrotehniskā tē­rauda skārda izgatavota noslēgta serde un divi elek­triski izolēti uz serdes novietoti tinumi.

Tinumu, ko pieslēdz maiņsprieguma avotam, sauc par pri­māro tinumu, bet tinumu, no kura elektrisko enerģiju pie­vada patērētājiem, sauc par sekundāro. Primārā tinuma spailes (A un X) pievieno maiņsprieguma (barošanas) tīklam, bet sekundārā tinuma spailēm (a un x) pieslēdz patērētāju (slodzes pretestība Zsl).

Visus lielumus (spriegumus, strāvas, jaudas u.c.), kas attie­cas uz šiem abiem tinumiem, sauc par primārajiem vai sekundā­rajiem, un to burtu apzīmējumiem pievieno indeksus 1 vai 2.

|  |
| --- |
| 2.1. att. Vienfāzes transformatora principiālā shēma. |

Ja primārajam tinumam pievada sinusoidālu spriegumu u1 tad primārajā tinumā plūst periodiska nesinusoidāla strāva i1.

Tāpat kā spolē ar tērauda serdi, primārā strāva i1 transforma­tora serdē ar savu magnetizējošo spēku F1 = i1·w1 uztur sinusoidālu magnētisko plūsmu Ф, kura saķēdēta ar abiem transformatora tinumiem.

Periodiski mainīgā plūsma Ф abos tinumos inducē EDS:

 (2.3.)

kur w1 un w2 — primārā un sekundārā tinuma vijumu skaits.

Pievienojot sekundārajam tinumam patērētāju — slodzes pretestību Zsl, šajā tinumā inducētais elektrodzinējspēks e2 no­slēgtajā ķēdē uztur sekundāro strāvu i2, bet uz tā spailēm a un x ir spriegums u2, t. i., patērētājs no sekun­dārā tinuma saņem elektrisko enerģiju. Tātad, serdes magnētisko plūsmu Ф slogotā transformatorā rada abu tinumu strāva (i1 – i2).

Transformatora darbības fizikālajā norisē izšķiroša loma ir serdes magnētiskajai plūsmai Ф, kura magnētiski saista primāro un sekun­dāro tinumu un primārajam tinumam pievadīto elektrisko enerģiju nodod sekundāra­jam tinumam: primārais ti­nums tam pievadīto elektrisko enerģiju pārvērš magnētiskajā, bet sekundā­rajā tinumā magnētiskās plūsmas enerģija pārvēr­šas atkal elektriskajā enerģijā, ko raksturojam ar lielumiem u2 un i2.

Transformators ir maiņstrāvas aparāts: ja primāro tinumu pie­vienotu līdzstrāvas avotam, tad magnētiskā plūsma Ф serdē būtu nemainīga un tādēļ EDS tinumos neinducētos, izņemot primārā tinuma pieslēgšanas un atslēgšanas momentu.

Transformatora tinumos inducēto EDS efektīvās vērtības E1 un E2 nosaka saskaņā ar izteiksmi (2.3), pēc kuras aprēķina spolē ar tērauda serdi inducēto EDS:

E1 = 4,44fw1Фm,

E2 = 4,44fw2Фm, (2.4.)

kur E1 – primārā tinuma pašindukcijas EDS, V;

E2 – sekundārā tinuma inducētais savstarpējās indukcijas EDS, V;

f – maiņstrāvas tīkla frekvence, Hz;

Фm – magnētiskas plūsmas amplitūdas (maksimālā) vērtība, Wb.

Abos tinumos inducētie EDS E1 un E2 sakrīt fāzē, jo tos rada viena un tā pati periodiski mainīgā magnētiskā plūsma Ф. Primārajā un sekundārajā tinumā inducēto EDS attiecību:

 (2.5.)

sauc par transformatora transformācijas koefi­cientu.

Transformācijas process transformatorā saistīts ar visai ma­ziem enerģijas zudumiem, tādēļ transformatoru lietderības koefi­cienti ir ļoti augsti: normāli slogotiem lieljaudas transformato­riem līdz 99%. To ievērojot, varam pieņemt, ka primārā tinuma uzņemtās jau­das momentānā vērtība p1 aptuveni vienāda ar sekundārā tinuma atdotās jaudas momentāno vērtību p2.

p1 ≈ p2 vai u1i1 ≈ u2i2.

Pārejot uz efektīvajām vērtībām, iegūstam, ka

 (2.6.)

t. i., transformatorā ar slodzi, kas tuva nominālajai, strāvas tinu­mos ir apgriezti proporcionālas spriegumiem. Aptuveni var pieņemt, ka transformatora tinumos inducētie elektrodzinējspēki E1 un E2 vienādi ar primāro un sekundāro spriegumu U1 un U2. Tad

 vai

 (2.7.)

t. i., strāvas transformatora tinumos praktiski ir apgriezti propor­cionālas tinumu vijumu skaitam. Nepieciešamo sprieguma skaitliskšs vērtības iz­maiņu panāk, attiecīgi izvēloties transformatora tinumu vijumu skaitu.

Ja w2 > w1 tad transformators spriegumu paaugstina (U2 > U1), ja w2 < w1 tad spriegumu pazemina (U2 < U1).

Transformatori ar w2 = w1 tikai elektriski atdala divas maiņ­strāvas ķēdes, tās tad saistītas tikai magnētiski, un U2 = Ul. Transformatora transformācijas koeficientu neievērojot jaudas zudumus transformatorā aprēķina pēc formulas:



Ja k < 1, tad transformators ir spriegumu paaugstinošs, bet, ja k > 1, tad – pazeminošs. Transformatoru koeficientu pieraksta, piemēram, šādi: 10/0,4, kur 10 kV – primārā tinuma spriegums, bet 0,4 kV – sekundārā tinuma spriegums. Transformatora lietderīgo jaudu, kas atdota pie jebkuras noslodzes nosaka:

 kur

kn – transformatora noslodzes koeficients;

S2 – transformatora sekundārā tinuma pilnā jauda;

φ2 – fāžu nobīdes leņķis starp spriegumu un strāvu sekundārajā tinumā. Transformatora noslodzes koeficientu aprēķina pēc izteiksmes

 kur

I2 – sekundārā tinuma strāva pie dotās slodzes. Lietderības koeficientu vispārīgā gadījuma pie dažādām slodzēm aprēķina šādi

 kur

P1 – transformatoram pievadītā aktīvā jauda;

P2 – transformatora atdotā aktīvā jauda;

ΔP = ΔPm + ΔPe – summārie zudumi transformatorā;

ΔPm ≈ P0 – magnētiskie zudumi transformatora serdē tukšgaitas mēģinājumā;

ΔPe = kn2·Pk – elektriskie zudumi transformatora tinumos īsslēguma mēģinājumā;

SN – transformatora nominālā (sekundārā) pilnā jauda;

cosφ2 – slodzes jaudas koeficients, kas atkarīgs no slodzes rakstura.

Maksimālais lietderības koeficients atbilst optimālajam slodzes koeficientam



kur P0 un PK – tukšgaitas un īsslēguma zudumi.

Spēka transformatoru nominālie lietderības koeficienti ir ļoti augsti – lieljaudas transformatoriem pārsniedz 99%, un to maksimālās vērtības atbilst slodzēm ar Kn = 0,5-0,7. Raksturīgi, ka transformatora lietderības koeficients samērā maz mainās slodzes robežās no 0,25 līdz 1.25 no nominālās.

**2.3. Piemērs.** Transformatoram ar jaudu *SN* = 560 kVA, spriegumiem 35/10,5 kV, strādājot ar nominālo spriegumu, tukšgaitas zudumi ir 3350 W, bet īsslēguma mēģinājumā, ja strāvas ir nominālas, zudumi ir 9400 W. Aprēķināt maksimālajam lietderības koeficientam atbilstošo noslodzes koeficientu un maksimālo lietderības koeficientu ηmax, ja dots jaudas koeficients cosφsl = 0,69.

Atrisinājums.

1. Maksimālajam lietderības koeficientam atbilstošais noslodzes koeficients



2. Maksimālais lietderības koeficients



**2.4. Piemērs.** Aprēķināt inducēto EDS transformatora primārajā un sekundārajā tinumā, ja primārā tinuma vijumu skaits *w*1 = 1000 un sekundārā *w*2 = 55. Transformators pieslēgts tīklam ar frekvenci *f* = 400 Hz un magnētiskā plūsma serdē ir Ф*m* = 1,25·10-4 Wb.

Atrisinājums.

1. Inducētais EDS transformatora primārajā tinumā



2. Inducētais EDS transformatora sekundārajā tinumā



**2.5. Piemērs.** Vienfāzes sausā apgaismošanas transformatora jauda *SN* = 250 VA, nominālais primārais spriegums *U*1*N* = 220 V, primārā tinuma vijumu skaits *w*1 = 843, bet sekundārā *w*2 = 46. Aprēķināt transformatora transformācijas koeficientu, sekundāro spriegumu, nominālo primāro un sekundāro strāvu.

Atrisinājums.

1. Transformatora transformācijas koeficients



2. Sekundāro spriegumu izsaka no formulas  Atrod, ka



3. Transformatora nominālā primārā strāva



4. Transformatora nominālā sekundārā strāva



**2.6. Piemērs.** Vienfāzes eļļas transformatora pases dati: SN = 6667 kVA, U1N = 35 kV, U2N = 10 kV, P0 = 17 kW, PK = 53,5 kW, I0 = 3 % un UK = 8 %. Aprēķināt transformatora transformācijas koeficientu, lietderības koeficientu pie noslodzes *kn* = 50 % un cos*φ*2 = 0,8, tukšgaitas strāvu un īsslēguma spriegumu.

Atrisinājums.

1. Transformatora transformācijas koeficients



2. Transformatora nominālā primārā strāva



3. Transformatora nominālā sekundārā strāva



4. Transformatora primārā un sekundārā strāva pie *kn* = 50 %





5. Transformatora lietderīga jauda



6. Transformatora lietderības koeficients



7. Tukšgaitas strāvu izsaka no formulas

 Atrod, ka



8. Īsslēguma spriegumu izsaka no formulas

 Atrod, ka



**2.7. Piemērs.** Transformatora sekundārajam tinumam pieslēgta slodze, kuras aktīva pretestība *R*2 = 3 Ω un induktīvā pretestība *XL*2 = 4 Ω. Aprēķināt transformatora aktīvo jaudu, kādu tas patērē no tīkla, ja transformatora lietderības koeficients *η* = 93 %, bet sekundārā tinuma spriegums *U*2 = 36 V.

Atrisinājums.

1. Slodzes pilnā pretestība



2. Jaudas koeficients



3. Transformatora pilnā jauda



4. Transformatora lietderīga jauda

*P*2 = *S*2·cos*φ*2 = 259,2·0,6 = 155,52 W;

5. Transformatora uzņemtā jauda



## 2.4. Transformatora tukšgaita

Transformators darbojas tukšgaitā tad, kad tā primārajam tinumam pievada spriegumu U1 bet sekundārā ķēde ir pārtraukta (I2 = 0).

Primārais spriegums U1 primārajā tinumā uztur tukšgai­tas strāvu I0. Transformatora uzrakstu plāksnītē un katalo­gos tukšgaitas strāvu I0 uzdod procentos no nominālās primārās strāvas I1n, ko saņem normāli (nomināli) slogots transformators, ja U1 = Uln. Spēka transformatoru tukšgaitas strā­vas ir relatīvi visai mazas:

I0 = (2,5-10)% I1n,

pie tam, jo lielāka transformatora jauda, jo relatīvi mazāka I0. Pēc sava rakstura I0 ir gandrīz tīri induktīva (magnetizēšanas) strāva.

Primārajā tinumā plūsto­šās tukšgaitas strāvas I0 magnetizējošais spēks I0w1 rada magnētisko plūsmu, kas sastāv no di­vām komponentēm: no gal­venās magnētiskās plūsmas Ф, kura noslē­dzas tērauda serdē un tātad caurtver abus tinumus, un no relatīvi nelielas izkliedes plūsmas Фσ1; tā pilnīgi vai daļēji noslēdzas gaisā ap primāra tinuma vijumiem, neskarot sekundāro tinumu. Galvenā plūsma Ф tinumos inducē EDS E1 un E2, kuri atpaliek fāze no plūsmas Ф par 90°.

Primārā tinuma izkliedes plūsma Φσ1 inducē primārajā tinumā izkliedes EDS Eσ1, kam ir pašindukcijas EDS raksturs un kas atpaliek fāzē no izkliedes plūsmas Фσ1 par 90°:

Eσ1 = 4,44fω Φσ1m (2.8.)

Magnētisko pretestību izkliedes plūsmai Фσ1 praktiski rada tikai neferomagnētiska vide ar konstantu magnētisko caurlaidību (gaiss, varš u. c). Tādēļ var pieņemt, ka plūsma Фσ1 proporcio­nāla primārajai strāvai un sakrīt ar to fāzē.

Tā kā transformatora tukšgaitā I2 = 0, tad sekundārajā tinumā inducētais E2 vienāds ar sekundāro tukšgaitas spriegumu U20:

U20 = E2.

Tukšgaitas strāvu I0 rada primārā sprieguma U1 un primārajā tinumā inducēto E1 un Eσ1 kopēja darbība.

## 2.5. Trīsfāzu transformatori

Trīsfāzu maiņsprieguma transformēšanu var realizēt divējādi: izmantojot trīs vienādus saslēgtus vienfāzes transformatorus vai lietojot speciālu trīsfāzu transformatoru.

Energosistēmās pa lielākai daļai izmanto trīsfāzu trans­formatorus, jo tie ir lētāki, ar augstāku lietderības koeficientu un aizņem mazāk vietas nekā trīs vienfāzes transformatori tai pašai nominālajai jaudai SN. Taču triju vienfāzes transformatoru grupas viena atsevišķa transformatora svars un gabarīti ir mazāki nekā atbilstošam trīsfāzu transformatoram.

Trīsfāzu transformatoru spailēm pieņemti šādi burtu apzīmē­jumi: augstākā sprieguma (AS) pusē: A, B, C — tinumu sākumi, X, Y, Z — tinumu beigas; zemākā sprieguma (ZS) pusē attiecīgi a, b, c un x, y, z. Apzīmējumi «sākums» un «beigas» ir nepieciešami pareizai fāzu tinumu saslēgšanai.

Trīsfāzu transformatoru primāros un sekundāros tinumus var saslēgt zvaigznē (Y) vai trīsstūri (Δ). Mazas un vidējas jaudas transformatoriem zemākā sprieguma tinumu var saslēgt arī zigzagzvaigznē (): katru šī tinuma fāzi sadala divās vienādās daļās, kuras novieto uz serdes diviem dažādiem stieņiem.

Pieņemtajos tinumu slēgumu shēmu apzīmējumos vispirms pa­rāda augstākā sprieguma (AS) tinumu saslēgšanas shēmu, bet aiz slīpās svītras — zemākā sprieguma (ZS).

Saskaņā ar standartu praksē izmanto šādas trīsfāzu tinumu slēgumu shēmas:

Ү/Ү0 — zvaigzne-zvaigzne ar nullpunkta izvadu;

Ү/Δ — zvaigzne-trīsstūris;

Ү0/Δ — zvaigzne ar nullpunkta izvadu-trīsstūris;

Δ/ Ү0 — trīsstūris-zvaigzne ar nullpunkta izvadu;

Ү/ — zvaigzne-zigzagzvaigzne ar nullpunkta izvadu.

Trīsfāzu transformatoru sekundārā sprieguma vērtība ir at­karīga ne tikai no primārā un sekundārā tinuma vijumu skaita attiecības kf, bet arī no tinumu slēguma shēmas un savienojumu grupas: ja līniju spriegumu transformācijas koe­ficients

 (2.9.)

un fāzu spriegumu transformācijas koeficients

 (2.10.)

tad transformācijas koeficientus transformatoru standarta savie­nojumu grupām aprēķina pēc šādām izteiksmēm:







kur ω1 un ω2 – augstākā un zemākā sprieguma tinuma vijumu skaits;

Uf1 un Uf2 – augstākais un zemākais fāžu spriegums;

Ul1 un Ul2 - augstākais un zemākais līnijas spriegums.

**2.8. Piemērs.** Trīsfāzu transformatoru raksturo sekojošie dati: nominālā jauda *SN* = 63 kVA, augstākais nominālais līnijas spriegums *U*1*Nl* = 20 kV, zemākais nominālais līnijas spriegums *U*2*Nl* = 400 V, primārais un sekundārais tinums saslēgti zvaigznē, serdes šķērsgriezums *SS* = 100 cm2, magnētiskas indukcijas maksimālā vērtība *Bm* = 1,5 T. Aprēķināt tinumu nominālās strāvas un katras fāzes tinumu vijumu skaitu, ja maiņstrāvas frekvence *f* = 50 Hz.

Atrisinājums.

1. Augstāka un zemākā sprieguma tinumu nominālās līnijas strāvas





2. Augstākā un zemākā sprieguma tinumos inducēto EDS lielumi neievērojot augstākā sprieguma tinumu zudumus tukšgaitā





3. Augstākā un zemākā sprieguma tinumu katras fāzes vijumu skaitu izsaka no formulas

. Atrod, ka





**2.9. Piemērs.** Trīsfāžu transformatora katras fāzes augstākā sprieguma tinuma (primāro) vijumu skaits *w*1 = 1000, bet zemākā (sekundārā) - *w*2 = 200 un augstākā sprieguma tinumu fāzes spriegums *Uf*1 = 1000 V. Aprēķināt zemākā sprieguma tinumu fāzes spriegumu, fāžu un līnijas spriegumu transformācijas koeficientus, ja transformatora tinumus saslēdz šādās slēgumu shēmas: zvaigzne-zvaigzne ar neitrālo izvadu (Y/Ұ), zvaigzne-trīsstūris (Y/Δ) un trīsstūris-zvaigzne ar neitrālo izvadu (Δ/Ұ).

Atrisinājums.

1. Sekundāro tinumu fāžu spriegumi



2. Fāžu spriegumu transformācijas koeficients



3. Līnijas spriegumu transformācijas koeficients, ja slēgumu shēma zvaigzne-zvaigzne ar neitrālo izvadu (Y/Ұ)



Tātad 

4. Līnijas spriegumu transformācijas koeficients, ja slēgumu shēma zvaigzne-trīsstūris (Y/Δ)



Tātad 

5. Līnijas spriegumu transformācijas koeficients, ja slēgumu shēma trīsstūris-zvaigzne ar neitrālo izvadu (Δ /Ұ)



Tātad 

**2.10. Piemērs.** Trīsfāzu transformatora nominālie dati: *SN* = 100 kVA, *U*1*N* = 20 kV, *U*2*N* = 400 V, *P*0 = 900 W, *PK* = 6 kW. Primārais tinums savienots trīsstūrī, sekundārais - zvaigznē. Aprēķināt tinumos inducētos fāžu EDS, tinumu nominālās strāvas un slodžu strāvas, transformatoru lietderības koeficientu pie dažādām slodzēm, ja transformatoram pieslēgta slodze *P*2 = 63 kW un cos*φ*2 = 0,9.

Atrisinājums.

1. Tinumos inducētie fāžu EDS, ja Δ/Y

*Ef*1 ≈ *U*1*N* = 20 kV;



2. Nominālās strāvas līnijā





3. Tinumu nominālās (fāzes) strāvas, ja Δ/Y



*I*2*Nf* = *I*2*Nl* = 144,5 A;

4. Nominālais lietderības koeficients, ja *kn* = 1



5. Transformatora noslodzes koeficients



6. Līnijas strāvas pie *kn* = 0,7





7. Strāvas tinumos, ja *kn* = 0,7 un Δ/Y



*I*2*f* = *I*2*l* = 101 A;

8. Lietderības koeficients pie dotas slodzes (*kn* = 0,7)



9. Optimālais noslodzes koeficients



10. Maksimālais lietderības koeficients



**2.11. Piemērs.** Trīsfāzu transformatoru raksturo sekojošie dati: *SN* = 60 kVA, *U*1*N* = 35 kV, *U*2*N* = 400 V, *I*0 = 11,1 %, *P*0 = 501 W, *PK* = 1208 W, tinuma slēguma grupa Y/Δ – 11. Atrast nominālo strāvu, tukšgaitas strāvu, fāzes spriegumus un fāzes strāvas.

Atrisinājums.

1. Transformatora nominālās strāvas līnijā





2. Tukšgaitas strāva (primārajā pusē)



3. Transformatora primārais tinums saslēgts zvaigznē, bet sekundārais - trīsstūrī, tāpēc fāzu spriegumi





4. Transformatora fāzes strāvas





**2.12. Piemērs.** Atrast trīsfāzu transformatoram TCM-320/35 slodzes koeficientu *kn*, kurš atbilst maksimālajam lietderības koeficientam un maksimālo lietderības koeficienta vērtību, ja cos*φsl* = 0,7. Transformatora tehniskie dati: *SN* = 320 kVA, *U*1*N* = 35 kV, *U*2*N* = 6,3 kV, *UK%* = 4,8 %, *P*0 = 1,75 kW, *PK* = 4,793 kW.

Atrisinājums.

Lietderības koeficients



sasniedz maksimālo vērtību, ja

Tad



## 2.6. TRANSFORMATORU PARALĒLĀ DARBĪBA

Divi vai vairāki transformatori darbojas paralēli, ja to primārie tinumi pieslēgti kopējam primārajam tīklam, bet sekundārie tinumi — kopējam sekundārajam tīklam.

**Noteikumi par transformatoru saslēgšanu paralēlai darbībai.** Trīsfāzu transformatorus var saslēgt paralēlai darbībai, ja ievē­roti šādi noteikumi:

a) līniju spriegumu transformācijas koeficienti tukšgaitas re­žīmā ir vienādi (trans­formācijas koeficientu k pieļaujamā atšķirība ±0,5%):

kI = kII = kIII = ∙∙∙ = kn;

|  |
| --- |
| 2.2. att. Divi para­lēli saslēgti transfor­matori (vienlīnijas shēma). |

b) transformatoru īsslēguma spriegumi ir vienādi (pieļaujama novirze līdz ±10% no īsslēguma sprie­gumu vidējās vērtības):

UkI = UkII = UkIII = ∙∙∙ = Ukn;

1. transformatoru tinumu savienojumu grupas ir vienādas.

Ja paralēli darbojas transformatori ar dažādiem īsslēguma spriegumiem, tad transformators ar mazāko īsslēguma sprieguma vērtību tiek pārslogots.

Slodzes sadalījumu starp paralēli strādājošiem transformatoriem nosaka pēc formulas



kur SX – dotā transformatora slodze, kVA;

S – visas paralēlās grupas kopēja slodze, kVA;

UKX – dotā transformatora īsslēguma spriegums, %;

SNX - dotā transformatora nominālā jauda, kVA.

Ja transformatoru transformācijas koeficienti ir dažādi, tad transformatoru tinumos plūst izlīdzinošā strāva, kas pārslogo to transformatoru, kuram mazāks transformācijas koeficients. Izlīdzinošo strāvu var aprēķināt, lietojot formulu



kur a – sekundāro spriegumu starpība, %;

 - otrā transformatora (ar lielāko jaudu) nominālās strāvas IN2 attiecība pret pirmā transformatora (ar mazāko jaudu) nominālo strāvu IN1;

UK1 un UK2 – transformatoru īsslēguma spriegumi.

**2.13. Piemērs.** Pārbaudīt, vai var saslēgt paralēlai darbībai divus transformatorus, kuriem ir šādi pases dati:

1. *SN*1 = 400 kVA, *UN*1 = 10,5/0,4 kV, *UK*1 = 4,5 %, Y/Ұ – 0;

2. *SN*2 = 630 kVA, *UN*2 = 10/0,38 kV, *UK*2 = 5,5 %, Y/Ұ – 0.

Kā kopējā slodze 1000 kVA sadalās starp transformatoriem?

Atrisinājums.

1. Transformatoru transformācijas koeficienti



2. Koeficientu vidējā ģeometriskā vērtība



3. Koeficientu starpība



t.i.,  Saskaņā ar pirmo noteikumu paralēlā darbība ir pieļaujama.

4. Īsslēguma spriegumu vidējā aritmētiskā vērtība



5. Īsslēguma spriegumu starpība (novirze)



Saskaņā ar otro noteikumu paralēlā darbība nav pieļaujama, jo sprieguma novirze Δ*UK*% > 10 %. Saskaņā ar trešo noteikumu paralēlā darbība ir pieļaujama, jo tinumu savienojumu grupas ir vienādas.

6. Aprēķināsim, kā sadalās kopēja slodze 1000 kVA starp abiem transformatoriem, ja tos saslēdz paralēlai darbībai.

Pirmā transformatora slodze



Otrā transformatora slodze



Kā redzams, pirmais transformators tiek pārslogots, bet otrais – nepietiekami noslogots.

**2.14. Piemērs.** Aprēķināt izlīdzinošo strāvu un izlīdzinošo strāvu nominālās strāvas daļās, ja paralēli saslēgti divi vienādas jaudas transformatori (*IN*1 = *IN*2 = 3,5 A) – viens ar tinumu savienojumu grupu Y/Ұ – 0, otrs – ar grupu Y/Δ – 11. *UK*1 = *UK*2 = 5,5 %. Līniju vektoru leņķiskā nobīde α = 300.

Atrisinājums.

Ja transformācijas koeficienti un īsslēguma spriegumi vienādi, izlīdzinošo strāvu var aprēķināt pēc formulas:



kur *α* – leņķis starp transformatoru līniju spriegumu vektoriem;

*UK*1 un *UK*2 – transformatoru īsslēguma spriegumi, %;

*IN*1 un *IN*2 – transformatoru nominālās strāvas, A.

1. Izlīdzinošā strāva nominālās strāvas daļās:



Izlīdzinošā strāva ir 4,71 reizes lielāka par nominālo strāvu.

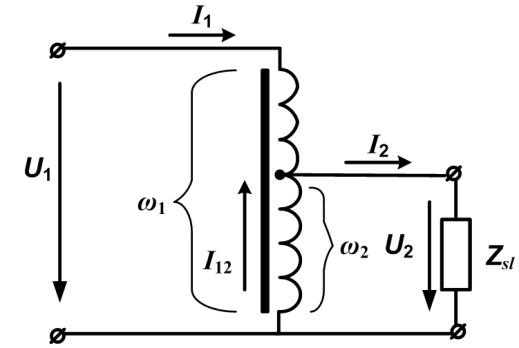
2. Izlīdzinošās strāvas vērtība:



## 2.7. Autotransformatori

Autotransformators atšķiras no parasta divtinumu transformatora ar to, ka tam ir tikai viens tinums. Primārais un sekundārais tinums veido vienu kopīgu elektrisko ķēdi, un zemākā sprieguma tinums ir daļa no augstākā sprieguma tinuma (2.3. att.). Tādējādi autotransformatora primārā un sekundārā ķēde ir saistītas ne tikai magnētiski, bet arī elektriski. Transformācijas koeficientu autotransformatoram nosaka:



****

2.3. att. Vienfāzes pazeminošā autotransformatora shēma.

Tinumu kopīgā daļā plūstošā strāva I12 pazeminoša autotransformatorā ir vienāda ar slodzes strāvas I2 un primārās strāvas I1 starpību

I12 = I2 – I1.

Sekundārā tinuma jaudu aprēķina



kur Sm – jauda, kuru sekundārajai ķēdei no primārās ķēdes nodod ar elektromagnētisko lauku (elektromagnētiskā jauda);

Se – jauda, kuru sekundārais tinums saņem tieši no tīkla (bez magnētiskā lauka līdzdalības). Autotransformatoram salīdzinājumā ar parasto divtinumu transformatoru ir šādas priekšrocības un trūkumi.

Priekšrocības: mazāks aktīvo materiāla (vara, elektrotehniska tērauda) patēriņš, mazāki gabarīti, augstāks lietderības koeficients (pat līdz 99,7%), ekonomiskāks.

Trūkums: tā kā starp primāro un sekundāro tinumu pastāv elektriskā saite, tad augstākais spriegums var nokļūt zemākā sprieguma tīklā.

**2.15. Piemērs.** Vienfāzes pazeminošā autotransformatora nominālā jauda SN = 1760 VA, primārā strāva *I*1 = 8 A un sekundārais spriegums *U*2 = 100 V. Aprēķināt autotransformatora primāro spriegumu, transformācijas koeficientu, slodzes strāvu, strāvu kopējā tinumu daļā un sekundāro tinumu jaudu.

Atrisinājums.

1. Primārais spriegums



2. Transformācijas koeficients



3. Slodzes strāva



4. Strāva kopējā tinumu daļā



5. Sekundārā tinuma jauda



## 2.8. Transformatoru aprēķina uzdevumi

### 1. Uzdevums

Noteikt vienfāzu transformatora nominālās strāvas un īsslēguma strāvas I1k un I2k, ja tā pilnā jauda ir SN, primārais nominālais spriegums U1N, sekundārais nominālais spriegums U2N un īsslēguma spriegums uk. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.1. tabulā.

2.1. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **SN, VA** | **U1N, V** | **U2N, V** | **uk, %** |
| **1** | 250 | 220 | 12 | 4 |
| **2** | 300 | 380 | 220  2.1. tabulas turpinājums | 5 |
| **3** | 500 | 380 | 220 | 3 |
| **4** | 100 | 690 | 380 | 4,5 |
| **5** | 160 | 380 | 220 | 3 |
| **6** | 540 | 220 | 24 | 4 |
| **7** | 280 | 380 | 220 | 5,3 |
| **8** | 330 | 690 | 220 | 3,9 |
| **9** | 550 | 220 | 24 | 4 |
| **10** | 190 | 220 | 12 | 5 |
| **11** | 520 | 380 | 220 | 3 |
| **12** | 300 | 220 | 12 | 4,5 |
| **13** | 250 | 380 | 220 | 3 |
| **14** | 300 | 380 | 220 | 4 |
| **15** | 500 | 690 | 380 | 5,3 |
| **16** | 100 | 380 | 220 | 3,9 |
| **17** | 160 | 220 | 24 | 4 |
| **18** | 540 | 380 | 220 | 5 |
| **19** | 280 | 690 | 220 | 3 |
| **20** | 330 | 220 | 24 | 4,5 |
| **21** | 550 | 220 | 12 | 3 |
| **22** | 190 | 380 | 220 | 4 |
| **23** | 520 | 220 | 12 | 5,3 |
| **24** | 300 | 380 | 220 | 3,9 |
| **25** | 250 | 380 | 220 | 4 |
| **26** | 300 | 690 | 380 | 5 |
| **27** | 500 | 380 | 220 | 3 |
| **28** | 100 | 220 | 24 | 4,5 |
| **29** | 160 | 380 | 220 | 3 |
| **30** | 540 | 690 | 220 | 4 |
| **31** | 280 | 220 | 24 | 5,3 |
| **32** | 330 | 220 | 12 | 3,9 |
| **33** | 550 | 380 | 220 | 4 |
| **34** | 190 | 220 | 12 | 5 |
| **35** | 520 | 380 | 220  2.1. tabulas turpinājums | 3 |
| **36** | 300 | 380 | 220 | 4,5 |
| **37** | 250 | 690 | 380 | 3 |
| **38** | 300 | 380 | 220 | 4 |
| **39** | 500 | 220 | 24 | 5,3 |
| **40** | 100 | 380 | 220 | 3,9 |
| **41** | 160 | 690 | 220 | 4 |
| **42** | 540 | 220 | 24 | 5 |
| **43** | 280 | 220 | 12 | 3 |
| **44** | 330 | 380 | 220 | 4,5 |
| **45** | 550 | 220 | 12 | 3 |
| **46** | 190 | 380 | 220 | 4 |
| **47** | 520 | 380 | 220 | 5,3 |
| **48** | 250 | 220 | 380 | 3,9 |
| **49** | 250 | 380 | 220 | 4 |
| **50** | 300 | 220 | 12 | 5 |
| **51** | 500 | 380 | 220 | 3 |
| **52** | 100 | 380 | 220 | 4,5 |
| **53** | 160 | 690 | 380 | 4 |
| **54** | 540 | 380 | 220 | 5 |
| **55** | 280 | 220 | 24 | 3 |
| **56** | 330 | 380 | 220 | 4,5 |
| **57** | 550 | 690 | 220 | 3 |
| **58** | 190 | 220 | 24 | 4 |
| **59** | 520 | 220 | 12 | 5,3 |
| **60** | 300 | 380 | 220 | 3,9 |

### 2. Uzdevums

Noteikt trīsfāzu transformatora nominālās strāvas I1N un I2N, ja tā jauda ir SN un spriegums attiecīgi U1N un U2N. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | |
| **Varianti** | **SN, kVA** | **U1N, kV** | **U2N, kV** |
| **1** | 180 | 10 | 0,4 |
| **2** | 200 | 10 | 0,23 |
| **3** | 150 | 20 | 0,4 |
| **4** | 310 | 35 | 6 |
| **5** | 230 | 20 | 0,23 |
| **6** | 140 | 20 | 0,4 |
| **7** | 210 | 35 | 0,4 |
| **8** | 550 | 6 | 0,23 |
| **9** | 220 | 10 | 0,4 |
| **10** | 190 | 6 | 0,23 |
| **11** | 510 | 20 | 0,4 |
| **12** | 280 | 10 | 0,23 |
| **13** | 180 | 10 | 0,4 |
| **14** | 200 | 20 | 6 |
| **15** | 150 | 35 | 0,23 |
| **16** | 310 | 20 | 0,4 |
| **17** | 230 | 20 | 0,4 |
| **18** | 140 | 35 | 0,23 |
| **19** | 210 | 6 | 0,4 |
| **20** | 550 | 10 | 0,23 |
| **21** | 220 | 6 | 0,4 |
| **22** | 190 | 20 | 0,23 |
| **23** | 510 | 10 | 0,4 |
| **24** | 280 | 10 | 6 |
| **25** | 180 | 20 | 0,23 |
| **26** | 200 | 35 | 0,4 |
| **27** | 150 | 20 | 0,4 |
| **28** | 310 | 20 | 0,23 |
| **29** | 230 | 35 | 0,4 |
| **30** | 140 | 6 | 0,23 |
| **31** | 210 | 10 | 0,4  2.2. tabulas turpinājums |
| **32** | 550 | 6 | 0,23 |
| **33** | 220 | 20 | 0,4 |
| **34** | 190 | 10 | 6 |
| **35** | 510 | 10 | 0,23 |
| **36** | 280 | 20 | 0,4 |
| **37** | 180 | 35 | 0,4 |
| **38** | 200 | 20 | 0,23 |
| **39** | 150 | 20 | 0,4 |
| **40** | 310 | 35 | 0,23 |
| **41** | 230 | 6 | 0,4 |
| **42** | 140 | 10 | 0,23 |
| **43** | 210 | 6 | 0,4 |
| **44** | 550 | 20 | 6 |
| **45** | 220 | 10 | 0,23 |
| **46** | 190 | 10 | 0,4 |
| **47** | 510 | 20 | 0,4 |
| **48** | 280 | 35 | 0,23 |
| **49** | 180 | 20 | 0,4 |
| **50** | 200 | 20 | 0,23 |
| **51** | 150 | 35 | 0,4 |
| **52** | 310 | 10 | 0,23 |
| **53** | 230 | 10 | 0,4 |
| **54** | 140 | 20 | 6 |
| **55** | 210 | 35 | 0,23 |
| **56** | 550 | 20 | 0,4 |
| **57** | 220 | 20 | 0,4 |
| **58** | 190 | 35 | 0,23 |
| **59** | 510 | 6 | 0,4 |
| **60** | 280 | 10 | 0,23 |

### 3. Uzdevums

Transformatoram ar jaudu ir *SN*, spriegumiem 35/10,5 kV, strādājot ar nominālo spriegumu, tukšgaitas zudumi ir P0, bet īsslēguma mēģinājumā, ja strāvas ir nominālas, zudumi ir Pk. Aprēķināt maksimālajam lietderības koeficientam atbilstošo noslodzes koeficientu kn un maksimālo lietderības koeficientu ηmax, ja dots jaudas koeficients cosφsl. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.3. tabulā.

2.3. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | |
| **Varianti** | **SN, kVA** | **U1N/U2N, kV** | **cosφsl** | **P0, kW** | **Pk, kW** |
| **1** | 560 | 35/10,5 | 0,69 | 0,335 | 0,94 |
| **2** | 550 | 35/10,5 | 0,64 | 0,335 | 1 |
| **3** | 300 | 35/10,5 | 0,7 | 0,53 | 1,1 |
| **4** | 440 | 35/10,5 | 0,55 | 0,233 | 0,93 |
| **5** | 310 | 35/10,5 | 0,65 | 0,177 | 1,12 |
| **6** | 390 | 35/10,5 | 0,69 | 0,233 | 0,95 |
| **7** | 420 | 35/10,5 | 0,73 | 0,432 | 0,93 |
| **8** | 190 | 35/10,5 | 0,61 | 0,16 | 0,844 |
| **9** | 345 | 35/10,5 | 0,68 | 0,23 | 1,15 |
| **10** | 425 | 35/10,5 | 0,69 | 0,335 | 0,89 |
| **11** | 380 | 35/10,5 | 0,64 | 0,236 | 0,94 |
| **12** | 560 | 35/10,5 | 0,7 | 0,31 | 1 |
| **13** | 550 | 35/10,5 | 0,55 | 0,335 | 1,1 |
| **14** | 300 | 35/10,5 | 0,65 | 0,335 | 0,93 |
| **15** | 440 | 35/10,5 | 0,69 | 0,53 | 1,12 |
| **16** | 310 | 35/10,5 | 0,73 | 0,233 | 0,95 |
| **17** | 390 | 35/10,5 | 0,61 | 0,177 | 0,93 |
| **18** | 420 | 35/10,5 | 0,68 | 0,233 | 0,844 |
| **19** | 190 | 35/10,5 | 0,69 | 0,432 | 1,15 |
| **20** | 345 | 35/10,5 | 0,64 | 0,16 | 0,89 |
| **21** | 425 | 35/10,5 | 0,7 | 0,23 | 0,94 |
| **22** | 380 | 35/10,5 | 0,55 | 0,335 | 1 |
| **23** | 560 | 35/10,5 | 0,65 | 0,236  2.3. tabulas turpinājums | 1,1 |
| **24** | 550 | 35/10,5 | 0,69 | 0,31 | 0,93 |
| **25** | 300 | 35/10,5 | 0,73 | 0,335 | 1,12 |
| **26** | 440 | 35/10,5 | 0,61 | 0,335 | 0,95 |
| **27** | 310 | 35/10,5 | 0,68 | 0,53 | 0,93 |
| **28** | 390 | 35/10,5 | 0,69 | 0,233 | 0,844 |
| **29** | 420 | 35/10,5 | 0,64 | 0,177 | 1,15 |
| **30** | 190 | 35/10,5 | 0,7 | 0,233 | 0,89 |
| **31** | 345 | 35/10,5 | 0,55 | 0,432 | 0,94 |
| **32** | 425 | 35/10,5 | 0,65 | 0,16 | 1 |
| **33** | 380 | 35/10,5 | 0,69 | 0,23 | 1,1 |
| **34** | 560 | 35/10,5 | 0,73 | 0,335 | 0,93 |
| **35** | 550 | 35/10,5 | 0,61 | 0,236 | 1,12 |
| **36** | 300 | 35/10,5 | 0,68 | 0,31 | 0,95 |
| **37** | 440 | 35/10,5 | 0,69 | 0,335 | 0,93 |
| **38** | 310 | 35/10,5 | 0,64 | 0,335 | 0,844 |
| **39** | 390 | 35/10,5 | 0,7 | 0,53 | 1,15 |
| **40** | 420 | 35/10,5 | 0,55 | 0,233 | 0,89 |
| **41** | 190 | 35/10,5 | 0,65 | 0,177 | 0,94 |
| **42** | 345 | 35/10,5 | 0,69 | 0,233 | 1 |
| **43** | 425 | 35/10,5 | 0,73 | 0,432 | 1,1 |
| **44** | 380 | 35/10,5 | 0,61 | 0,16 | 0,93 |
| **45** | 560 | 35/10,5 | 0,68 | 0,23 | 1,12 |
| **46** | 550 | 35/10,5 | 0,69 | 0,335 | 0,95 |
| **47** | 300 | 35/10,5 | 0,64 | 0,236 | 0,93 |
| **48** | 560 | 35/10,5 | 0,7 | 0,31 | 0,844 |
| **49** | 550 | 35/10,5 | 0,55 | 0,335 | 1,15 |
| **50** | 560 | 35/10,5 | 0,65 | 0,335 | 0,89 |
| **51** | 550 | 35/10,5 | 0,69 | 0,53 | 0,94 |
| **52** | 300 | 35/10,5 | 0,64 | 0,233 | 1 |
| **53** | 440 | 35/10,5 | 0,69 | 0,177 | 1,1 |
| **54** | 310 | 35/10,5 | 0,64 | 0,233 | 0,93 |
| **55** | 390 | 35/10,5 | 0,7 | 0,432 | 1,12 |
| **56** | 420 | 35/10,5 | 0,55 | 0,16  2.3. tabulas turpinājums | 0,95 |
| **57** | 190 | 35/10,5 | 0,65 | 0,23 | 0,93 |
| **58** | 345 | 35/10,5 | 0,69 | 0,335 | 0,844 |
| **59** | 425 | 35/10,5 | 0,73 | 0,236 | 1,15 |
| **60** | 380 | 35/10,5 | 0,61 | 0,31 | 0,89 |

### 4. Uzdevums

Aprēķināt inducēto EDS transformatora primārajā un sekundārajā tinumā, ja primārā tinuma vijumu skaits ir *w*1 un sekundārā *w*2. Transformators pieslēgts tīklam ar frekvenci *f* un magnētiskā plūsma serdē ir Ф*m*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.4. tabulā.

2.4. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **w1** | **w2** | **f, Hz** | **Фm, Wb** |
| **1** | 1000 | 55 | 400 | 0,000125 |
| **2** | 2000 | 35 | 350 | 0,00021 |
| **3** | 1900 | 53 | 430 | 0,000132 |
| **4** | 1860 | 34 | 310 | 0,000115 |
| **5** | 2300 | 47 | 550 | 0,000145 |
| **6** | 2100 | 88 | 520 | 0,000235 |
| **7** | 2320 | 56 | 360 | 0,000125 |
| **8** | 3290 | 73 | 410 | 0,000125 |
| **9** | 3160 | 90 | 440 | 0,00021 |
| **10** | 3200 | 41 | 310 | 0,000132 |
| **11** | 2200 | 29 | 460 | 0,000115 |
| **12** | 3210 | 55 | 270 | 0,000145 |
| **13** | 1000 | 35 | 580 | 0,000235 |
| **14** | 2000 | 53 | 400 | 0,000125 |
| **15** | 1900 | 34 | 350 | 0,000125 |
| **16** | 1860 | 47 | 430 | 0,00021 |
| **17** | 2300 | 88 | 310 | 0,000132 |
| **18** | 2100 | 56 | 550 | 0,000115  2.4. tabulas turpinājums |
| **19** | 2320 | 73 | 520 | 0,000145 |
| **20** | 3290 | 90 | 360 | 0,000235 |
| **21** | 3160 | 41 | 410 | 0,000125 |
| **22** | 3200 | 29 | 440 | 0,000125 |
| **23** | 2200 | 55 | 310 | 0,00021 |
| **24** | 3210 | 35 | 460 | 0,000132 |
| **25** | 1000 | 53 | 270 | 0,000115 |
| **26** | 2000 | 34 | 580 | 0,000145 |
| **27** | 1900 | 47 | 400 | 0,000235 |
| **28** | 1860 | 88 | 350 | 0,000125 |
| **29** | 2300 | 56 | 430 | 0,000125 |
| **30** | 2100 | 73 | 310 | 0,00021 |
| **31** | 2320 | 90 | 550 | 0,000132 |
| **32** | 3290 | 41 | 520 | 0,000115 |
| **33** | 3160 | 29 | 360 | 0,000145 |
| **34** | 3200 | 55 | 410 | 0,000235 |
| **35** | 2200 | 35 | 440 | 0,000125 |
| **36** | 3210 | 53 | 310 | 0,000125 |
| **37** | 1000 | 34 | 460 | 0,00021 |
| **38** | 2000 | 47 | 270 | 0,000132 |
| **39** | 1900 | 88 | 580 | 0,000115 |
| **40** | 1860 | 56 | 400 | 0,000145 |
| **41** | 2300 | 73 | 350 | 0,000235 |
| **42** | 2100 | 90 | 430 | 0,000125 |
| **43** | 2320 | 41 | 310 | 0,000125 |
| **44** | 3290 | 29 | 550 | 0,00021 |
| **45** | 3160 | 55 | 520 | 0,000132 |
| **46** | 3200 | 35 | 360 | 0,000115 |
| **47** | 2200 | 53 | 410 | 0,000145 |
| **48** | 3210 | 34 | 400 | 0,000235 |
| **49** | 1000 | 47 | 350 | 0,000125 |
| **50** | 2000 | 55 | 430 | 0,000125 |
| **51** | 1900 | 35 | 310 | 0,00021  2.4. tabulas turpinājums |
| **52** | 1860 | 53 | 550 | 0,000132 |
| **53** | 2300 | 34 | 520 | 0,000115 |
| **54** | 2100 | 47 | 360 | 0,000145 |
| **55** | 2320 | 88 | 410 | 0,000235 |
| **56** | 3290 | 56 | 440 | 0,000125 |
| **57** | 3160 | 73 | 310 | 0,000125 |
| **58** | 3200 | 90 | 460 | 0,00021 |
| **59** | 2200 | 41 | 270 | 0,000132 |
| **60** | 3210 | 29 | 580 | 0,000115 |

### 5. Uzdevums

Vienfāzes sausā apgaismošanas transformatora jauda ir *SN*, nominālais primārais spriegums *U*1*N*, primārā tinuma vijumu skaits *w*1, bet sekundārā *w*2. Aprēķināt transformatora transformācijas koeficientu, sekundāro spriegumu, nominālo primāro un sekundāro strāvu. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.5. tabulā.

2.5. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **SN, VA** | **U1N, V** | **w1** | **w2** |
| **1** | 250 | 220 | 843 | 46 |
| **2** | 200 | 380 | 550 | 35 |
| **3** | 150 | 380 | 300 | 53 |
| **4** | 310 | 690 | 440 | 34 |
| **5** | 230 | 380 | 310 | 47 |
| **6** | 140 | 220 | 390 | 88 |
| **7** | 210 | 380 | 420 | 56 |
| **8** | 550 | 690 | 190 | 73 |
| **9** | 220 | 220 | 345 | 90 |
| **10** | 190 | 220 | 425 | 41 |
| **11** | 510 | 380 | 380 | 29 |
| **12** | 280 | 220 | 560 | 55 |
| **13** | 180 | 380 | 550  2.5. tabulas turpinājums | 35 |
| **14** | 200 | 380 | 300 | 53 |
| **15** | 150 | 690 | 440 | 34 |
| **16** | 310 | 380 | 310 | 47 |
| **17** | 230 | 220 | 390 | 88 |
| **18** | 140 | 380 | 420 | 56 |
| **19** | 210 | 690 | 190 | 73 |
| **20** | 550 | 220 | 345 | 90 |
| **21** | 220 | 220 | 425 | 41 |
| **22** | 190 | 380 | 380 | 29 |
| **23** | 510 | 220 | 560 | 55 |
| **24** | 280 | 380 | 550 | 35 |
| **25** | 180 | 380 | 300 | 53 |
| **26** | 200 | 690 | 440 | 34 |
| **27** | 150 | 380 | 310 | 47 |
| **28** | 310 | 220 | 390 | 88 |
| **29** | 230 | 380 | 420 | 56 |
| **30** | 140 | 690 | 190 | 73 |
| **31** | 210 | 220 | 345 | 90 |
| **32** | 550 | 220 | 425 | 41 |
| **33** | 220 | 380 | 380 | 29 |
| **34** | 190 | 220 | 560 | 55 |
| **35** | 510 | 380 | 550 | 35 |
| **36** | 280 | 380 | 300 | 53 |
| **37** | 180 | 690 | 440 | 34 |
| **38** | 200 | 380 | 310 | 47 |
| **39** | 150 | 220 | 390 | 88 |
| **40** | 310 | 380 | 420 | 56 |
| **41** | 230 | 690 | 190 | 73 |
| **42** | 140 | 220 | 345 | 90 |
| **43** | 210 | 220 | 425 | 41 |
| **44** | 550 | 380 | 380 | 29 |
| **45** | 220 | 220 | 560 | 55 |
| **46** | 190 | 380 | 550  2.5. tabulas turpinājums | 35 |
| **47** | 510 | 380 | 300 | 53 |
| **48** | 280 | 220 | 560 | 34 |
| **49** | 180 | 380 | 550 | 47 |
| **50** | 200 | 220 | 560 | 55 |
| **51** | 150 | 380 | 550 | 35 |
| **52** | 310 | 380 | 300 | 53 |
| **53** | 230 | 690 | 440 | 34 |
| **54** | 140 | 380 | 310 | 47 |
| **55** | 210 | 220 | 390 | 88 |
| **56** | 550 | 380 | 420 | 56 |
| **57** | 220 | 690 | 190 | 73 |
| **58** | 190 | 220 | 345 | 90 |
| **59** | 510 | 220 | 425 | 41 |
| **60** | 280 | 380 | 380 | 29 |

### 

### 6. Uzdevums

Vienfāzes eļļas transformatora pases dati: SN, U1N, U2N, P0, PK, I0 un UK. Aprēķināt transformatora transformācijas koeficientu, lietderības koeficientu pie noslodzes *kn* un cos*φ*2, tukšgaitas strāvu un īsslēguma spriegumu. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.6. tabulā.

2.6. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | | | | |
| **Varianti** | **SN, kVA** | **U1N, kV** | **U2N, kV** | **P0, kW** | **Pk, kW** | **I0, %** | **Uk, %** | **kn, %** | **cosφ2** |
| **1** | 6667 | 35 | 10 | 17 | 53,5 | 3 | 8 | 50 | 0,8 |
| **2** | 5680 | 35 | 10 | 20 | 35 | 2 | 10 | 55 | 0,7 |
| **3** | 3600 | 35 | 20 | 35 | 53 | 3 | 8 | 40 | 0,9 |
| **4** | 7620 | 35 | 20 | 20 | 34 | 2 | 9 | 55 | 0,85 |
| **5** | 4230 | 35 | 20 | 20 | 47 | 3 | 6 | 40 | 0,95 |
| **6** | 3290 | 35 | 20 | 35 | 88 | 4 | 7 | 45 | 0,75 |
| **7** | 4170 | 35 | 6 | 10 | 56 | 4  2.6. tabulas turpinājums | 8 | 60 | 0,9 |
| **8** | 4990 | 35 | 6 | 10 | 73 | 5 | 7 | 60 | 0,8 |
| **9** | 6667 | 35 | 10 | 20 | 90 | 3 | 9 | 50 | 0,7 |
| **10** | 5680 | 35 | 6 | 35 | 41 | 2 | 11 | 55 | 0,9 |
| **11** | 3600 | 35 | 20 | 20 | 29 | 3 | 8 | 50 | 0,85 |
| **12** | 7620 | 35 | 10 | 20 | 55 | 2 | 10 | 55 | 0,95 |
| **13** | 4230 | 35 | 10 | 35 | 35 | 3 | 8 | 40 | 0,75 |
| **14** | 3290 | 35 | 20 | 20 | 53 | 4 | 9 | 55 | 0,9 |
| **15** | 4170 | 35 | 20 | 35 | 34 | 4 | 6 | 40 | 0,8 |
| **16** | 4990 | 35 | 20 | 20 | 47 | 5 | 7 | 45 | 0,7 |
| **17** | 6667 | 35 | 20 | 20 | 88 | 3 | 8 | 60 | 0,9 |
| **18** | 5680 | 35 | 6 | 35 | 56 | 2 | 7 | 60 | 0,85 |
| **19** | 3600 | 35 | 6 | 10 | 73 | 3 | 9 | 50 | 0,95 |
| **20** | 7620 | 35 | 10 | 10 | 90 | 2 | 11 | 55 | 0,75 |
| **21** | 4230 | 35 | 6 | 20 | 41 | 3 | 8 | 50 | 0,9 |
| **22** | 3290 | 35 | 20 | 35 | 29 | 4 | 10 | 55 | 0,8 |
| **23** | 4170 | 35 | 10 | 20 | 55 | 4 | 8 | 40 | 0,7 |
| **24** | 4990 | 35 | 10 | 20 | 35 | 5 | 9 | 55 | 0,9 |
| **25** | 6667 | 35 | 20 | 35 | 53 | 3 | 6 | 40 | 0,85 |
| **26** | 5680 | 35 | 20 | 20 | 34 | 2 | 7 | 45 | 0,95 |
| **27** | 3600 | 35 | 20 | 35 | 47 | 3 | 8 | 60 | 0,75 |
| **28** | 7620 | 35 | 20 | 20 | 88 | 2 | 7 | 60 | 0,9 |
| **29** | 4230 | 35 | 6 | 20 | 56 | 3 | 9 | 50 | 0,8 |
| **30** | 3290 | 35 | 6 | 35 | 73 | 4 | 11 | 55 | 0,7 |
| **31** | 4170 | 35 | 10 | 10 | 90 | 4 | 8 | 50 | 0,9 |
| **32** | 4990 | 35 | 6 | 10 | 41 | 5 | 10 | 55 | 0,85 |
| **33** | 6667 | 35 | 20 | 20 | 29 | 3 | 8 | 40 | 0,95 |
| **34** | 5680 | 35 | 10 | 35 | 55 | 2 | 9 | 55 | 0,75 |
| **35** | 3600 | 35 | 10 | 20 | 35 | 3 | 6 | 40 | 0,9 |
| **36** | 7620 | 35 | 20 | 20 | 53 | 2 | 7 | 45 | 0,8 |
| **37** | 4230 | 35 | 20 | 35 | 34 | 3 | 8 | 60 | 0,7 |
| **38** | 3290 | 35 | 20 | 20 | 47 | 4 | 7 | 60 | 0,9 |
| **39** | 4170 | 35 | 20 | 35 | 88 | 4 | 9 | 50 | 0,85 |
| **40** | 4990 | 35 | 6 | 20 | 56 | 5  2.6. tabulas turpinājums | 11 | 55 | 0,95 |
| **41** | 6667 | 35 | 6 | 20 | 73 | 3 | 8 | 50 | 0,75 |
| **42** | 5680 | 35 | 10 | 35 | 90 | 2 | 10 | 55 | 0,9 |
| **43** | 3600 | 35 | 6 | 10 | 41 | 3 | 8 | 40 | 0,8 |
| **44** | 7620 | 35 | 20 | 10 | 29 | 2 | 9 | 55 | 0,7 |
| **45** | 4230 | 35 | 10 | 20 | 55 | 3 | 6 | 40 | 0,9 |
| **46** | 3290 | 35 | 10 | 35 | 35 | 4 | 7 | 45 | 0,85 |
| **47** | 4170 | 35 | 20 | 20 | 53 | 4 | 8 | 60 | 0,95 |
| **48** | 4990 | 35 | 20 | 20 | 34 | 5 | 7 | 60 | 0,75 |
| **49** | 6667 | 35 | 20 | 35 | 47 | 3 | 9 | 50 | 0,9 |
| **50** | 5680 | 35 | 20 | 20 | 55 | 2 | 11 | 55 | 0,8 |
| **51** | 3600 | 35 | 10 | 35 | 35 | 3 | 8 | 50 | 0,7 |
| **52** | 7620 | 35 | 10 | 20 | 53 | 2 | 10 | 55 | 0,9 |
| **53** | 4230 | 35 | 10 | 20 | 34 | 3 | 8 | 40 | 0,85 |
| **54** | 6667 | 35 | 20 | 35 | 47 | 4 | 9 | 55 | 0,95 |
| **55** | 5680 | 35 | 20 | 10 | 88 | 4 | 6 | 40 | 0,75 |
| **56** | 3600 | 35 | 20 | 10 | 56 | 5 | 7 | 45 | 0,9 |
| **57** | 7620 | 35 | 20 | 20 | 73 | 3 | 8 | 60 | 0,8 |
| **58** | 4230 | 35 | 6 | 35 | 90 | 2 | 7 | 60 | 0,7 |
| **59** | 3290 | 35 | 6 | 20 | 41 | 3 | 9 | 50 | 0,9 |
| **60** | 4170 | 35 | 10 | 20 | 29 | 2 | 11 | 55 | 0,85 |

### 7. Uzdevums

Transformatora sekundārajam tinumam pieslēgta slodze, kuras aktīva pretestība ir *R*2 un induktīvā pretestība *XL*2. Aprēķināt transformatora aktīvo jaudu, kādu tas patērē no tīkla, ja transformatora lietderības koeficients *η*, bet sekundārā tinuma spriegums *U*2. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.7. tabulā.

2.7. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **R2, Ω** | **X2, Ω** | **η, %** | **U2, V** |
| **1** | 3 | 4 | 93 | 36 |
| **2** | 5 | 5 | 95 | 35  2.7. tabulas turpinājums |
| **3** | 3 | 6 | 98 | 53 |
| **4** | 4,5 | 7 | 99 | 34 |
| **5** | 3 | 8 | 93 | 47 |
| **6** | 4 | 9 | 90 | 88 |
| **7** | 5,3 | 8 | 94 | 56 |
| **8** | 3,9 | 7 | 96 | 73 |
| **9** | 4 | 6 | 94 | 90 |
| **10** | 5 | 5 | 93 | 41 |
| **11** | 3 | 4 | 95 | 29 |
| **12** | 4,5 | 3 | 98 | 55 |
| **13** | 3 | 2 | 99 | 35 |
| **14** | 4 | 4 | 93 | 53 |
| **15** | 5,3 | 5 | 90 | 34 |
| **16** | 3,9 | 6 | 94 | 47 |
| **17** | 4 | 7 | 96 | 88 |
| **18** | 5 | 8 | 94 | 56 |
| **19** | 3 | 9 | 93 | 73 |
| **20** | 4,5 | 8 | 95 | 90 |
| **21** | 3 | 7 | 98 | 41 |
| **22** | 4 | 6 | 99 | 29 |
| **23** | 5,3 | 5 | 93 | 55 |
| **24** | 3,9 | 4 | 90 | 35 |
| **25** | 4 | 3 | 94 | 53 |
| **26** | 5 | 2 | 96 | 34 |
| **27** | 3 | 4 | 94 | 47 |
| **28** | 4,5 | 5 | 93 | 88 |
| **29** | 3 | 6 | 95 | 56 |
| **30** | 4 | 7 | 98 | 73 |
| **31** | 5,3 | 8 | 99 | 90 |
| **32** | 3,9 | 9 | 93 | 41 |
| **33** | 4 | 8 | 90 | 29 |
| **34** | 5 | 7 | 94 | 55 |
| **35** | 3 | 6 | 96 | 35  2.7. tabulas turpinājums |
| **36** | 4,5 | 5 | 94 | 53 |
| **37** | 3 | 4 | 93 | 34 |
| **38** | 4 | 3 | 95 | 47 |
| **39** | 5,3 | 2 | 98 | 88 |
| **40** | 3,9 | 4 | 99 | 56 |
| **41** | 4 | 5 | 93 | 73 |
| **42** | 5 | 6 | 90 | 90 |
| **43** | 3 | 7 | 94 | 41 |
| **44** | 4,5 | 8 | 96 | 29 |
| **45** | 3 | 9 | 94 | 55 |
| **46** | 4 | 8 | 93 | 35 |
| **47** | 5,3 | 7 | 95 | 53 |
| **48** | 3,9 | 6 | 98 | 34 |
| **49** | 4 | 5 | 99 | 47 |
| **50** | 5 | 4 | 93 | 55 |
| **51** | 3 | 3 | 90 | 35 |
| **52** | 4,5 | 2 | 94 | 53 |
| **53** | 4 | 4 | 96 | 34 |
| **54** | 5 | 5 | 94 | 47 |
| **55** | 3 | 6 | 93 | 88 |
| **56** | 4,5 | 7 | 95 | 56 |
| **57** | 3 | 8 | 98 | 73 |
| **58** | 4 | 9 | 99 | 90 |
| **59** | 5,3 | 8 | 93 | 41 |
| **60** | 3,9 | 7 | 90 | 29 |

### 8. Uzdevums

Trīsfāzu transformatoru raksturo sekojošie dati: nominālā jauda ir *SN*, augstākais nominālais līnijas spriegums *U*1*Nl*, zemākais nominālais līnijas spriegums *U*2*Nl*, primārais un sekundārais tinums saslēgti zvaigznē, serdes šķērsgriezums *SS*, magnētiskas indukcijas maksimālā vērtība *Bm*. Aprēķināt tinumu nominālās strāvas un katras fāzes tinumu vijumu skaitu, ja maiņstrāvas frekvence *f* = 50 Hz. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.8. tabulā.

2.8. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | |
| **Varianti** | **S1N, kVA** | **U1N, kV** | **U2N, kV** | **SS, cm2** | **Bm, T** |
| **1** | 63 | 20 | 0,4 | 100 | 1,5 |
| **2** | 35 | 10 | 0,4 | 105 | 1,6 |
| **3** | 53 | 20 | 0,4 | 108 | 1,3 |
| **4** | 34 | 20 | 0,4 | 96 | 1,4 |
| **5** | 47 | 20 | 0,4 | 98 | 1,35 |
| **6** | 88 | 20 | 0,4 | 99 | 1,2 |
| **7** | 56 | 6 | 0,4 | 109 | 1,5 |
| **8** | 73 | 6 | 0,4 | 112 | 1,55 |
| **9** | 90 | 10 | 0,4 | 100 | 1,45 |
| **10** | 41 | 6 | 0,4 | 105 | 1,5 |
| **11** | 29 | 20 | 0,4 | 108 | 1,6 |
| **12** | 55 | 10 | 0,4 | 96 | 1,3 |
| **13** | 35 | 10 | 0,4 | 98 | 1,4 |
| **14** | 53 | 20 | 0,4 | 99 | 1,35 |
| **15** | 34 | 20 | 0,4 | 109 | 1,2 |
| **16** | 47 | 20 | 0,4 | 112 | 1,5 |
| **17** | 88 | 20 | 0,4 | 100 | 1,55 |
| **18** | 56 | 6 | 0,4 | 105 | 1,45 |
| **19** | 73 | 6 | 0,4 | 108 | 1,5 |
| **20** | 90 | 10 | 0,4 | 96 | 1,6 |
| **21** | 41 | 6 | 0,4 | 98 | 1,3 |
| **22** | 29 | 20 | 0,4 | 99 | 1,4 |
| **23** | 55 | 10 | 0,4 | 109 | 1,35 |
| **24** | 35 | 10 | 0,4 | 112 | 1,2 |
| **25** | 53 | 20 | 0,4 | 100 | 1,5 |
| **26** | 34 | 20 | 0,4 | 105 | 1,55 |
| **27** | 47 | 20 | 0,4 | 108 | 1,45 |
| **28** | 88 | 20 | 0,4 | 96  2.8. tabulas turpinājums | 1,5 |
| **29** | 56 | 6 | 0,4 | 98 | 1,6 |
| **30** | 73 | 6 | 0,4 | 99 | 1,3 |
| **31** | 90 | 10 | 0,4 | 109 | 1,4 |
| **32** | 41 | 6 | 0,4 | 112 | 1,35 |
| **33** | 29 | 20 | 0,4 | 100 | 1,2 |
| **34** | 55 | 10 | 0,4 | 105 | 1,5 |
| **35** | 35 | 10 | 0,4 | 108 | 1,55 |
| **36** | 53 | 20 | 0,4 | 96 | 1,45 |
| **37** | 34 | 20 | 0,4 | 98 | 1,5 |
| **38** | 47 | 20 | 0,4 | 99 | 1,6 |
| **39** | 88 | 20 | 0,4 | 109 | 1,3 |
| **40** | 56 | 6 | 0,4 | 112 | 1,4 |
| **41** | 73 | 6 | 0,4 | 100 | 1,35 |
| **42** | 90 | 10 | 0,4 | 105 | 1,2 |
| **43** | 41 | 6 | 0,4 | 108 | 1,5 |
| **44** | 29 | 20 | 0,4 | 96 | 1,55 |
| **45** | 55 | 10 | 0,4 | 98 | 1,45 |
| **46** | 35 | 10 | 0,4 | 99 | 1,5 |
| **47** | 53 | 20 | 0,4 | 109 | 1,6 |
| **48** | 34 | 20 | 0,4 | 112 | 1,3 |
| **49** | 47 | 20 | 0,4 | 100 | 1,4 |
| **50** | 55 | 20 | 0,4 | 105 | 1,35 |
| **51** | 35 | 10 | 0,4 | 108 | 1,2 |
| **52** | 53 | 10 | 0,4 | 96 | 1,5 |
| **53** | 34 | 10 | 0,4 | 98 | 1,55 |
| **54** | 47 | 20 | 0,4 | 99 | 1,45 |
| **55** | 88 | 20 | 0,4 | 109 | 1,5 |
| **56** | 56 | 20 | 0,4 | 112 | 1,6 |
| **57** | 73 | 20 | 0,4 | 100 | 1,3 |
| **58** | 90 | 6 | 0,4 | 105 | 1,4 |
| **59** | 41 | 6 | 0,4 | 108 | 1,35 |
| **60** | 29 | 10 | 0,4 | 96 | 1,2 |

### 9. Uzdevums

Trīsfāzu transformatora katras fāzes augstākā sprieguma tinuma (primāro) vijumu skaits *w*1, bet zemākā (sekundārā) - *w*2 un augstākā sprieguma tinumu fāzes spriegums *Uf*1. Aprēķināt zemākā sprieguma tinumu fāzes spriegumu, fāžu un līnijas spriegumu transformācijas koeficientus, ja transformatora tinumus saslēdz šādās slēgumu shēmas: zvaigzne-zvaigzne ar neitrālo izvadu (Y/Ұ), zvaigzne-trīsstūris (Y/Δ) un trīsstūris-zvaigzne ar neitrālo izvadu (Δ/Ұ). Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.9. tabulā.

2.9. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | |
| **Varianti** | **w1** | **w2** | **Uf1, V** |
| **1** | 1000 | 200 | 1000 |
| **2** | 2000 | 200 | 6000 |
| **3** | 1900 | 150 | 1200 |
| **4** | 1860 | 310 | 380 |
| **5** | 2300 | 230 | 970 |
| **6** | 2100 | 140 | 1320 |
| **7** | 2320 | 210 | 1210 |
| **8** | 3290 | 550 | 1540 |
| **9** | 3160 | 220 | 1390 |
| **10** | 3200 | 190 | 1000 |
| **11** | 2200 | 510 | 6000 |
| **12** | 3210 | 280 | 1200 |
| **13** | 1000 | 180 | 380 |
| **14** | 2000 | 200 | 970 |
| **15** | 1900 | 150 | 1320 |
| **16** | 1860 | 310 | 1210 |
| **17** | 2300 | 230 | 1540 |
| **18** | 2100 | 140 | 1390 |
| **19** | 2320 | 210 | 1000 |
| **20** | 3290 | 550 | 6000 |
| **21** | 3160 | 220 | 1200  2.9. tabulas turpinājums |
| **22** | 3200 | 190 | 380 |
| **23** | 2200 | 510 | 970 |
| **24** | 3210 | 280 | 1320 |
| **25** | 1000 | 180 | 1210 |
| **26** | 2000 | 200 | 1540 |
| **27** | 1900 | 150 | 1390 |
| **28** | 1860 | 310 | 1000 |
| **29** | 2300 | 230 | 6000 |
| **30** | 2100 | 140 | 1200 |
| **31** | 2320 | 210 | 380 |
| **32** | 3290 | 550 | 970 |
| **33** | 3160 | 220 | 1320 |
| **34** | 3200 | 190 | 1210 |
| **35** | 2200 | 510 | 1540 |
| **36** | 3210 | 280 | 1390 |
| **37** | 1000 | 180 | 1000 |
| **38** | 2000 | 200 | 6000 |
| **39** | 1900 | 150 | 1200 |
| **40** | 1860 | 310 | 380 |
| **41** | 2300 | 230 | 970 |
| **42** | 2100 | 140 | 1320 |
| **43** | 2320 | 210 | 1210 |
| **44** | 3290 | 550 | 1540 |
| **45** | 3160 | 220 | 1390 |
| **46** | 3200 | 190 | 1000 |
| **47** | 2200 | 510 | 6000 |
| **48** | 3210 | 280 | 1200 |
| **49** | 1000 | 180 | 380 |
| **50** | 2000 | 200 | 970 |
| **51** | 1900 | 150 | 1320 |
| **52** | 1860 | 310 | 1210 |
| **53** | 2300 | 230 | 1540 |
| **54** | 2100 | 140 | 1390  2.9. tabulas turpinājums |
| **55** | 2320 | 210 | 1000 |
| **56** | 3290 | 550 | 6000 |
| **57** | 3160 | 220 | 1200 |
| **58** | 3200 | 190 | 380 |
| **59** | 2200 | 510 | 970 |
| **60** | 3210 | 280 | 1320 |

### 10. Uzdevums

Trīsfāzu transformatora nominālie dati: *SN*, *U*1*N*, *U*2*N*, *P*0, *PK*. Primārais tinums savienots trīsstūrī, sekundārais - zvaigznē. Aprēķināt tinumos inducētos fāžu EDS, tinumu nominālās strāvas un slodžu strāvas, transformatoru lietderības koeficientu pie dažādām slodzēm, ja transformatoram pieslēgta slodze ir *P*2 un cos*φ*2. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.10. tabulā.

2.10. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | | |
| **Varianti** | **SN, kVA** | **U1N, kV** | **U2N, V** | **P0, W** | **Pk, kW** | **P2, kW** | **cosφ2** |
| **1** | 100 | 20 | 400 | 900 | 6 | 63 | 0,9 |
| **2** | 200 | 35 | 550 | 2000 | 4 | 55 | 0,9 |
| **3** | 150 | 35 | 300 | 1900 | 5 | 50 | 0,85 |
| **4** | 310 | 35 | 440 | 1860 | 3 | 55 | 0,95 |
| **5** | 230 | 35 | 310 | 2300 | 2 | 40 | 0,75 |
| **6** | 140 | 35 | 390 | 2100 | 3 | 55 | 0,9 |
| **7** | 210 | 35 | 420 | 2320 | 2 | 40 | 0,8 |
| **8** | 550 | 35 | 190 | 3290 | 3 | 45 | 0,7 |
| **9** | 220 | 35 | 345 | 3160 | 4 | 60 | 0,9 |
| **10** | 190 | 35 | 425 | 3200 | 4 | 60 | 0,85 |
| **11** | 510 | 35 | 380 | 2200 | 5 | 50 | 0,95 |
| **12** | 280 | 35 | 560 | 3210 | 3 | 55 | 0,75 |
| **13** | 180 | 35 | 550 | 1000 | 2 | 50 | 0,9 |
| **14** | 200 | 35 | 300 | 2000 | 3 | 55 | 0,8 |
| **15** | 150 | 35 | 440 | 1900 | 2  2.10. tabulas turpinājums | 40 | 0,7 |
| **16** | 310 | 35 | 310 | 1860 | 3 | 55 | 0,9 |
| **17** | 230 | 35 | 390 | 2300 | 4 | 40 | 0,85 |
| **18** | 140 | 35 | 420 | 2100 | 4 | 45 | 0,95 |
| **19** | 210 | 35 | 190 | 2320 | 5 | 60 | 0,75 |
| **20** | 550 | 35 | 345 | 3290 | 3 | 60 | 0,9 |
| **21** | 220 | 35 | 425 | 3160 | 2 | 50 | 0,8 |
| **22** | 190 | 35 | 380 | 3200 | 3 | 55 | 0,7 |
| **23** | 510 | 35 | 560 | 2200 | 2 | 50 | 0,9 |
| **24** | 280 | 35 | 550 | 3210 | 3 | 55 | 0,85 |
| **25** | 180 | 35 | 300 | 1000 | 4 | 40 | 0,95 |
| **26** | 200 | 35 | 440 | 2000 | 4 | 55 | 0,75 |
| **27** | 150 | 35 | 310 | 1900 | 5 | 40 | 0,9 |
| **28** | 310 | 35 | 390 | 1860 | 3 | 45 | 0,8 |
| **29** | 230 | 35 | 420 | 2300 | 2 | 60 | 0,7 |
| **30** | 140 | 35 | 190 | 2100 | 3 | 60 | 0,9 |
| **31** | 210 | 35 | 345 | 2320 | 2 | 50 | 0,85 |
| **32** | 550 | 35 | 425 | 3290 | 3 | 55 | 0,8 |
| **33** | 220 | 35 | 380 | 3160 | 2 | 50 | 0,7 |
| **34** | 190 | 35 | 560 | 3200 | 3 | 55 | 0,9 |
| **35** | 510 | 35 | 550 | 2200 | 2 | 40 | 0,85 |
| **36** | 280 | 35 | 300 | 3210 | 3 | 55 | 0,95 |
| **37** | 180 | 35 | 440 | 1000 | 4 | 40 | 0,75 |
| **38** | 200 | 35 | 310 | 2000 | 4 | 45 | 0,9 |
| **39** | 150 | 35 | 390 | 1900 | 5 | 60 | 0,8 |
| **40** | 310 | 35 | 420 | 1860 | 3 | 60 | 0,7 |
| **41** | 230 | 35 | 190 | 2300 | 2 | 50 | 0,9 |
| **42** | 140 | 35 | 345 | 2100 | 3 | 55 | 0,85 |
| **43** | 210 | 35 | 425 | 2320 | 2 | 50 | 0,95 |
| **44** | 550 | 35 | 380 | 3290 | 3 | 55 | 0,75 |
| **45** | 220 | 35 | 560 | 3160 | 4 | 40 | 0,9 |
| **46** | 190 | 35 | 550 | 3200 | 4 | 55 | 0,8 |
| **47** | 510 | 35 | 300 | 2200 | 5 | 40 | 0,7 |
| **48** | 280 | 35 | 560 | 3210 | 3  2.10. tabulas turpinājums | 45 | 0,9 |
| **49** | 180 | 35 | 550 | 1000 | 2 | 60 | 0,85 |
| **50** | 200 | 35 | 560 | 2000 | 3 | 60 | 0,95 |
| **51** | 150 | 35 | 550 | 1900 | 2 | 50 | 0,75 |
| **52** | 310 | 35 | 300 | 1860 | 3 | 55 | 0,9 |
| **53** | 230 | 35 | 440 | 2300 | 4 | 50 | 0,8 |
| **54** | 140 | 35 | 310 | 2100 | 4 | 55 | 0,7 |
| **55** | 210 | 35 | 390 | 2320 | 5 | 40 | 0,9 |
| **56** | 550 | 35 | 420 | 3290 | 3 | 55 | 0,85 |
| **57** | 220 | 35 | 190 | 3160 | 2 | 40 | 0,95 |
| **58** | 190 | 35 | 345 | 3200 | 3 | 45 | 0,75 |
| **59** | 510 | 35 | 425 | 2200 | 2 | 60 | 0,9 |
| **60** | 280 | 35 | 380 | 3210 | 3 | 60 | 0,8 |

### 11. Uzdevums

Trīsfāzu transformatoru raksturo sekojošie dati: *SN*, *U*1*N*, *U*2*N*, *I*0, *P*0, *PK*, tinuma slēguma grupa Y/Δ – 11. Atrast nominālo strāvu, tukšgaitas strāvu, fāzes spriegumus un fāzes strāvas. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.11. tabulā.

2.11. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **S1N, kV A** | **U1N, kV** | **U2N, V** | **P0, W** | **Pk, W** | **I0, %** |
| **1** | 60 | 35 | 400 | 501 | 1208 | 11,1 |
| **2** | 55 | 10 | 400 | 550 | 2000 | 12,3 |
| **3** | 50 | 20 | 230 | 300 | 1900 | 11,4 |
| **4** | 55 | 20 | 220 | 440 | 1860 | 9,7 |
| **5** | 40 | 20 | 380 | 310 | 2300 | 13,8 |
| **6** | 55 | 20 | 380 | 390 | 2100 | 12,1 |
| **7** | 40 | 6 | 400 | 420 | 2320 | 10,2 |
| **8** | 45 | 6 | 400 | 190 | 3290 | 11,7 |
| **9** | 60 | 10 | 400 | 345 | 3160 | 14,1 |
| **10** | 60 | 6 | 230 | 425  2.11. tabulas turpinājums | 3200 | 11,1 |
| **11** | 50 | 20 | 220 | 380 | 2200 | 12,3 |
| **12** | 55 | 10 | 380 | 560 | 3210 | 11,4 |
| **13** | 50 | 10 | 380 | 550 | 1000 | 9,7 |
| **14** | 55 | 20 | 400 | 300 | 2000 | 13,8 |
| **15** | 40 | 20 | 400 | 440 | 1900 | 12,1 |
| **16** | 55 | 20 | 400 | 310 | 1860 | 10,2 |
| **17** | 40 | 20 | 230 | 390 | 2300 | 11,7 |
| **18** | 45 | 6 | 220 | 420 | 2100 | 14,1 |
| **19** | 60 | 6 | 380 | 190 | 2320 | 11,1 |
| **20** | 60 | 10 | 380 | 345 | 3290 | 12,3 |
| **21** | 50 | 6 | 400 | 425 | 3160 | 11,4 |
| **22** | 55 | 20 | 400 | 380 | 3200 | 9,7 |
| **23** | 50 | 10 | 400 | 560 | 2200 | 13,8 |
| **24** | 55 | 10 | 230 | 550 | 3210 | 12,1 |
| **25** | 40 | 20 | 220 | 300 | 1000 | 10,2 |
| **26** | 55 | 20 | 380 | 440 | 2000 | 11,7 |
| **27** | 40 | 20 | 380 | 310 | 1900 | 14,1 |
| **28** | 45 | 20 | 400 | 390 | 1860 | 11,1 |
| **29** | 60 | 6 | 400 | 420 | 2300 | 12,3 |
| **30** | 60 | 6 | 400 | 190 | 2100 | 11,4 |
| **31** | 50 | 10 | 230 | 345 | 2320 | 9,7 |
| **32** | 55 | 6 | 220 | 425 | 3290 | 13,8 |
| **33** | 50 | 20 | 380 | 380 | 3160 | 12,1 |
| **34** | 55 | 10 | 380 | 560 | 3200 | 10,2 |
| **35** | 40 | 10 | 400 | 550 | 2200 | 11,7 |
| **36** | 55 | 20 | 400 | 300 | 3210 | 14,1 |
| **37** | 40 | 20 | 400 | 440 | 1000 | 11,1 |
| **38** | 45 | 20 | 230 | 310 | 2000 | 12,3 |
| **39** | 60 | 20 | 220 | 390 | 1900 | 11,4 |
| **40** | 60 | 6 | 380 | 420 | 1860 | 9,7 |
| **41** | 50 | 6 | 380 | 190 | 2300 | 13,8 |
| **42** | 55 | 10 | 400 | 345 | 2100 | 12,1 |
| **43** | 50 | 6 | 400 | 425  2.11. tabulas turpinājums | 2320 | 10,2 |
| **44** | 55 | 20 | 400 | 380 | 3290 | 11,7 |
| **45** | 40 | 10 | 230 | 560 | 3160 | 14,1 |
| **46** | 55 | 10 | 220 | 550 | 3200 | 11,1 |
| **47** | 40 | 20 | 380 | 300 | 2200 | 12,3 |
| **48** | 45 | 20 | 380 | 560 | 3210 | 11,4 |
| **49** | 60 | 20 | 400 | 550 | 1000 | 9,7 |
| **50** | 60 | 20 | 400 | 560 | 2000 | 13,8 |
| **51** | 50 | 10 | 400 | 550 | 1900 | 12,1 |
| **52** | 55 | 10 | 230 | 300 | 1860 | 10,2 |
| **53** | 50 | 10 | 220 | 440 | 2300 | 11,7 |
| **54** | 55 | 20 | 380 | 310 | 2100 | 14,1 |
| **55** | 40 | 20 | 380 | 390 | 2320 | 11,1 |
| **56** | 55 | 20 | 400 | 420 | 3290 | 12,3 |
| **57** | 40 | 20 | 400 | 190 | 3160 | 11,4 |
| **58** | 45 | 6 | 400 | 345 | 3200 | 9,7 |
| **59** | 60 | 6 | 230 | 425 | 2200 | 13,8 |
| **60** | 60 | 10 | 220 | 380 | 3210 | 12,1 |

### 12. Uzdevums

Atrast trīsfāzu transformatoram slodzes koeficientu *kn*, kurš atbilst maksimālajam lietderības koeficientam un maksimālo lietderības koeficienta vērtību, ja dots cos*φsl*. Transformatora tehniskie dati: *SN*, *U*1*N*, *U*2*N*, *UK%*, *P*0, un *PK*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.12. tabulā.

2.12. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **S1N, kVA** | **U1N/U2N, kV** | **P0, kW** | **Pk, kW** | **UK, %** | **cosφsl** |
| **1** | 320 | 35/6,3 | 1,75 | 4,793 | 4,8 | 0,7 |
| **2** | 200 | 35/6,3 | 1 | 4,353 | 5 | 0,7 |
| **3** | 150 | 35/6,3 | 1,1 | 5,237 | 3 | 0,9 |
| **4** | 310 | 35/6,3 | 0,93 | 6,095 | 4,5 | 0,85 |
| **5** | 230 | 35/6,3 | 1,12 | 5,268  2.12. tabulas turpinājums | 3 | 0,95 |
| **6** | 140 | 35/6,3 | 0,95 | 5,363 | 4 | 0,75 |
| **7** | 210 | 35/6,3 | 0,93 | 4,112 | 5,3 | 0,9 |
| **8** | 550 | 35/6,3 | 0,844 | 3,421 | 3,9 | 0,8 |
| **9** | 220 | 35/6,3 | 1,15 | 6,935 | 4 | 0,7 |
| **10** | 190 | 35/6,3 | 0,89 | 6,365 | 5 | 0,9 |
| **11** | 510 | 35/6,3 | 0,94 | 6,357 | 3 | 0,85 |
| **12** | 280 | 35/6,3 | 1 | 7,657 | 4,5 | 0,95 |
| **13** | 180 | 35/6,3 | 1,1 | 5,236 | 3 | 0,75 |
| **14** | 200 | 35/6,3 | 0,93 | 4,793 | 4 | 0,9 |
| **15** | 150 | 35/6,3 | 1,12 | 4,353 | 5,3 | 0,8 |
| **16** | 310 | 35/6,3 | 0,95 | 5,237 | 3,9 | 0,7 |
| **17** | 230 | 35/6,3 | 0,93 | 6,095 | 4 | 0,9 |
| **18** | 140 | 35/6,3 | 0,844 | 5,268 | 5 | 0,85 |
| **19** | 210 | 35/6,3 | 1,15 | 5,363 | 3 | 0,95 |
| **20** | 550 | 35/6,3 | 0,89 | 4,112 | 4,5 | 0,75 |
| **21** | 220 | 35/6,3 | 0,94 | 3,421 | 3 | 0,9 |
| **22** | 190 | 35/6,3 | 1 | 6,935 | 4 | 0,8 |
| **23** | 510 | 35/6,3 | 1,1 | 6,365 | 5,3 | 0,7 |
| **24** | 280 | 35/6,3 | 0,93 | 6,357 | 3,9 | 0,9 |
| **25** | 180 | 35/6,3 | 1,12 | 7,657 | 4 | 0,85 |
| **26** | 200 | 35/6,3 | 0,95 | 5,236 | 5 | 0,95 |
| **27** | 150 | 35/6,3 | 0,93 | 4,793 | 3 | 0,75 |
| **28** | 310 | 35/6,3 | 0,844 | 4,353 | 4,5 | 0,9 |
| **29** | 230 | 35/6,3 | 1,15 | 5,237 | 3 | 0,8 |
| **30** | 140 | 35/6,3 | 0,89 | 6,095 | 4 | 0,7 |
| **31** | 210 | 35/6,3 | 0,94 | 5,268 | 5,3 | 0,9 |
| **32** | 550 | 35/6,3 | 1 | 5,363 | 3,9 | 0,85 |
| **33** | 220 | 35/6,3 | 1,1 | 4,112 | 4 | 0,95 |
| **34** | 190 | 35/6,3 | 0,93 | 3,421 | 5 | 0,75 |
| **35** | 510 | 35/6,3 | 1,12 | 6,935 | 3 | 0,9 |
| **36** | 280 | 35/6,3 | 0,95 | 6,365 | 4,5 | 0,8 |
| **37** | 180 | 35/6,3 | 0,93 | 6,357 | 3 | 0,7 |
| **38** | 200 | 35/6,3 | 0,844 | 7,657  2.12. tabulas turpinājums | 4 | 0,9 |
| **39** | 150 | 35/6,3 | 1,15 | 5,236 | 5,3 | 0,85 |
| **40** | 310 | 35/6,3 | 0,89 | 4,793 | 3,9 | 0,95 |
| **41** | 230 | 35/6,3 | 0,94 | 4,353 | 4 | 0,75 |
| **42** | 140 | 35/6,3 | 1 | 5,237 | 5 | 0,9 |
| **43** | 210 | 35/6,3 | 1,1 | 6,095 | 3 | 0,8 |
| **44** | 550 | 35/6,3 | 0,93 | 5,268 | 4,5 | 0,7 |
| **45** | 220 | 35/6,3 | 1,12 | 5,363 | 3 | 0,9 |
| **46** | 190 | 35/6,3 | 0,95 | 4,112 | 4 | 0,85 |
| **47** | 510 | 35/6,3 | 0,93 | 3,421 | 5,3 | 0,95 |
| **48** | 280 | 35/6,3 | 0,844 | 6,935 | 3,9 | 0,75 |
| **49** | 180 | 35/6,3 | 1,15 | 6,365 | 4 | 0,9 |
| **50** | 200 | 35/6,3 | 0,89 | 6,357 | 5 | 0,8 |
| **51** | 150 | 35/6,3 | 0,94 | 7,657 | 3 | 0,7 |
| **52** | 310 | 35/6,3 | 1 | 5,236 | 4,5 | 0,9 |
| **53** | 230 | 35/6,3 | 1,1 | 4,793 | 4 | 0,85 |
| **54** | 140 | 35/6,3 | 0,93 | 4,353 | 5 | 0,95 |
| **55** | 210 | 35/6,3 | 1,12 | 5,237 | 3 | 0,75 |
| **56** | 550 | 35/6,3 | 0,95 | 6,095 | 4,5 | 0,9 |
| **57** | 220 | 35/6,3 | 0,93 | 5,268 | 3 | 0,8 |
| **58** | 190 | 35/6,3 | 0,844 | 5,363 | 4 | 0,7 |
| **59** | 510 | 35/6,3 | 1,15 | 4,112 | 5,3 | 0,9 |
| **60** | 280 | 35/6,3 | 0,89 | 3,421 | 3,9 | 0,85 |

### 13. Uzdevums

Pārbaudīt, vai var saslēgt paralēlai darbībai divus transformatorus, kuriem ir šādi pases dati:

1. *SN*1, *UN*1/ *UN*2, *UK*1 , Y/Ұ – 0;

2. *SN*2, *UN*1/ *UN*2, *UK*2, Y/Ұ – 0.

Kā kopējā slodze *SN*sadalās starp transformatoriem? Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.13. tabulā.

2.13. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | | | | | | | | | |
| **1. transformators** | | | | | **2. transformators** | | | | |  |
| **S1N, kVA** | **U1N, kV** | **U2N, kV** | **Uk1, %** | **Savienojumu grupa** | **S2N, kVA** | **U1N, kV** | **U2N, kV** | **Uk2, %** | **Savienoj. Grupa** | **SN, kVA** |
| **1** | 400 | 10,5 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 630 | 10 | 0,38 | 5,5 | Y/Ұ – 0 | 1000 |
| **2** | 200 | 10,2 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,1 | 0,38 | 5,1 | Y/Ұ – 0 | 2000 |
| **3** | 150 | 10,1 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 500 | 10,2 | 0,38 | 6 | Y/Ұ – 0 | 1900 |
| **4** | 310 | 10,4 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 100 | 10 | 0,38 | 5 | Y/Ұ – 0 | 1860 |
| **5** | 230 | 10,5 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 160 | 10,3 | 0,38 | 4 | Y/Ұ – 0 | 2300 |
| **6** | 140 | 10,2 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 540 | 10,3 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 2100 |
| **7** | 210 | 10,2 | 0,4 | 4,8 | Y/Ұ – 0 | 280 | 9,9 | 0,38 | 5 | Y/Ұ – 0 | 2320 |
| **8** | 550 | 10,5 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 330 | 10 | 0,38 | 4 | Y/Ұ – 0 | 3290 |
| **9** | 220 | 10,7 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 550 | 10,2 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 3160 |
| **10** | 190 | 10,3 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 190 | 10,2 | 0,38 | 5,1 | Y/Ұ – 0 | 3200 |
| **11** | 510 | 10 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 520 | 10,1 | 0,38 | 3,4 | Y/Ұ – 0 | 2200 |
| **12** | 280 | 10,2 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,2 | 0,38 | 4,6 | Y/Ұ – 0 | 3210 |
| **13** | 180 | 10,1 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 250 | 10 | 0,38 | 3,2 | Y/Ұ – 0 | 1000 |
| **14** | 200 | 10,4 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,1 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 2000 |
| **15** | 150 | 10,5 | 0,4 | 5,3 | Y/Ұ – 0 | 500 | 10,2 | 0,38 | 5,5 | Y/Ұ – 0 | 1900 |
| **16** | 310 | 10 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 100 | 9,9 | 0,38 | 4 | Y/Ұ – 0 | 1860 |
| **17** | 230 | 10,2 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 160 | 9,8 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 2300 |
| **18** | 140 | 10,5 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 540 | 10 | 0,38 | 5,2 | Y/Ұ – 0 | 2100 |
| **19** | 210 | 10,4 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 280 | 10 | 0,38 | 3,3 | Y/Ұ – 0 | 2320 |
| **20** | 550 | 10,4 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 330 | 10,1 | 0,38 | 4,8 | Y/Ұ – 0 | 3290 |
| **21** | 220 | 10,5 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 550 | 10,2 | 0,38 | 3,5 | Y/Ұ – 0 | 3160 |
| **22** | 190 | 10,2 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 190 | 10 | 0,38 | 4,1 | Y/Ұ – 0 | 3200 |
| **23** | 510 | 10,1 | 0,4 | 5,3 | Y/Ұ – 0 | 520 | 10,1 | 0,38 | 6 | Y/Ұ – 0 | 2200 |
| **24** | 280 | 10,4 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,2 | 0,38 | 4 | Y/Ұ – 0 | 3210 |
| **25** | 180 | 10,4 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 250 | 9,9 | 0,38 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 1000 |
| **26** | 200 | 10 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 300 | 9,8 | 0,38 | 4,1 | Y/Ұ – 0 | 2000 |
| **27** | 150 | 10,2 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 500 | 10 | 0,38 | 3,4 | Y/Ұ – 0 | 1900 |
| **28** | 310 | 10,5 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 100 | 10 | 0,38 | 5 | Y/Ұ – 0 | 1860 |
| **29** | 230 | 10,4 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 160 | 10,1  2.13. tabulas turpinājums | 0,38 | 3,6 | Y/Ұ – 0 | 2300 |
| **30** | 140 | 10,4 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 540 | 10,2 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 2100 |
| **31** | 210 | 10,5 | 0,4 | 5,3 | Y/Ұ – 0 | 280 | 10 | 0,38 | 5,5 | Y/Ұ – 0 | 2320 |
| **32** | 550 | 10,2 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 330 | 10,1 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 3290 |
| **33** | 220 | 10,1 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 550 | 10,2 | 0,38 | 5,1 | Y/Ұ – 0 | 3160 |
| **34** | 190 | 10,4 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 190 | 9,9 | 0,38 | 5,2 | Y/Ұ – 0 | 3200 |
| **35** | 510 | 10,4 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 520 | 9,8 | 0,38 | 3,5 | Y/Ұ – 0 | 2200 |
| **36** | 280 | 10 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10 | 0,38 | 5 | Y/Ұ – 0 | 3210 |
| **37** | 180 | 10,2 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 250 | 10 | 0,38 | 3,2 | Y/Ұ – 0 | 1000 |
| **38** | 200 | 10,5 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,1 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 2000 |
| **39** | 150 | 10,4 | 0,4 | 3,3 | Y/Ұ – 0 | 500 | 10,2 | 0,38 | 4 | Y/Ұ – 0 | 1900 |
| **40** | 310 | 10,4 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 100 | 10 | 0,38 | 4 | Y/Ұ – 0 | 1860 |
| **41** | 230 | 10,5 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 160 | 10,1 | 0,38 | 4,3 | Y/Ұ – 0 | 2300 |
| **42** | 140 | 10,2 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 540 | 10,2 | 0,38 | 6 | Y/Ұ – 0 | 2100 |
| **43** | 210 | 10,1 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 280 | 9,9 | 0,38 | 3,3 | Y/Ұ – 0 | 2320 |
| **44** | 550 | 10,4 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 330 | 9,8 | 0,38 | 4,8 | Y/Ұ – 0 | 3290 |
| **45** | 220 | 10,4 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 550 | 10 | 0,38 | 3,8 | Y/Ұ – 0 | 3160 |
| **46** | 190 | 10 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 190 | 10 | 0,38 | 4,1 | Y/Ұ – 0 | 3200 |
| **47** | 510 | 10,2 | 0,4 | 5,3 | Y/Ұ – 0 | 520 | 10,1 | 0,38 | 5,6 | Y/Ұ – 0 | 2200 |
| **48** | 280 | 10,5 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 250 | 10,2 | 0,38 | 4,1 | Y/Ұ – 0 | 3210 |
| **49** | 180 | 10,3 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 250 | 10 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 1000 |
| **50** | 200 | 10,3 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,1 | 0,38 | 5,2 | Y/Ұ – 0 | 2000 |
| **51** | 150 | 10,5 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 500 | 10,2 | 0,38 | 3,3 | Y/Ұ – 0 | 1900 |
| **52** | 310 | 10,2 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 100 | 9,9 | 0,38 | 5 | Y/Ұ – 0 | 1860 |
| **53** | 230 | 10,1 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 160 | 9,8 | 0,38 | 4,3 | Y/Ұ – 0 | 2300 |
| **54** | 140 | 10,4 | 0,4 | 5 | Y/Ұ – 0 | 540 | 10 | 0,38 | 5,2 | Y/Ұ – 0 | 2100 |
| **55** | 210 | 10,3 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 280 | 10 | 0,38 | 3,4 | Y/Ұ – 0 | 2320 |
| **56** | 550 | 10 | 0,4 | 4,5 | Y/Ұ – 0 | 330 | 10,1 | 0,38 | 5 | Y/Ұ – 0 | 3290 |
| **57** | 220 | 10,2 | 0,4 | 3 | Y/Ұ – 0 | 550 | 10,2 | 0,38 | 3,2 | Y/Ұ – 0 | 3160 |
| **58** | 190 | 10,5 | 0,4 | 4 | Y/Ұ – 0 | 190 | 10 | 0,38 | 4,2 | Y/Ұ – 0 | 3200 |
| **59** | 510 | 10,4 | 0,4 | 5,3 | Y/Ұ – 0 | 520 | 10,1 | 0,38 | 5,7 | Y/Ұ – 0 | 2200 |
| **60** | 280 | 10,3 | 0,4 | 3,9 | Y/Ұ – 0 | 300 | 10,2 | 0,38 | 4,1 | Y/Ұ – 0 | 3210 |

### 14. Uzdevums

Aprēķināt izlīdzinošo strāvu un izlīdzinošo strāvu nominālās strāvas daļās, ja paralēli saslēgti divi vienādas jaudas transformatori (*IN*1 = *IN*2) – viens ar tinumu savienojumu grupu Y/Ұ – 0, otrs – ar grupu Y/Δ – 11. *UK*1 = *UK*2. Līniju vektoru leņķiskā nobīde α. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.14. tabulā.

2.14. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | |
| **Varianti** | **IN1 = IN2, A** | **UK1 = UK2, %** | **α, grād.** |
| **1** | 3,5 | 5,5 | 30 |
| **2** | 2,5 | 4,2 | 30 |
| **3** | 2 | 5,3 | 30 |
| **4** | 3 | 5,2 | 30 |
| **5** | 4,3 | 5,6 | 30 |
| **6** | 3,8 | 5,8 | 30 |
| **7** | 2,9 | 6,1 | 30 |
| **8** | 3 | 4,4 | 30 |
| **9** | 4,1 | 4,9 | 30 |
| **10** | 3,8 | 6,3 | 30 |
| **11** | 3,7 | 5,1 | 30 |
| **12** | 2,9 | 4,8 | 30 |
| **13** | 3,1 | 5,6 | 30 |
| **14** | 4,3 | 4,1 | 30 |
| **15** | 5,1 | 5,5 | 30 |
| **16** | 4,7 | 5,4 | 30 |
| **17** | 3,5 | 5,3 | 30 |
| **18** | 2,5 | 5,2 | 30 |
| **19** | 2 | 5,6 | 30 |
| **20** | 3 | 5,8 | 30 |
| **21** | 4,3 | 6,1 | 30 |
| **22** | 3,8 | 4,4 | 30 |
| **23** | 2,9 | 4,9 | 30 |
| **24** | 3 | 6,3 | 30  2.14. tabulas turpinājums |
| **25** | 4,1 | 5,1 | 30 |
| **26** | 3,8 | 4,8 | 30 |
| **27** | 3,7 | 5,6 | 30 |
| **28** | 2,9 | 4,1 | 30 |
| **29** | 3,1 | 5,5 | 30 |
| **30** | 4,3 | 5,4 | 30 |
| **31** | 5,1 | 5,3 | 30 |
| **32** | 4,7 | 5,2 | 30 |
| **33** | 3,5 | 5,6 | 30 |
| **34** | 2,5 | 5,8 | 30 |
| **35** | 2 | 6,1 | 30 |
| **36** | 3 | 4,4 | 30 |
| **37** | 4,3 | 4,9 | 30 |
| **38** | 3,8 | 6,3 | 30 |
| **39** | 2,9 | 5,1 | 30 |
| **40** | 3 | 4,8 | 30 |
| **41** | 4,1 | 5,6 | 30 |
| **42** | 3,8 | 4,1 | 30 |
| **43** | 3,7 | 5,5 | 30 |
| **44** | 2,9 | 5,4 | 30 |
| **45** | 3,1 | 5,3 | 30 |
| **46** | 4,3 | 5,2 | 30 |
| **47** | 5,1 | 5,6 | 30 |
| **48** | 4,7 | 5,8 | 30 |
| **49** | 3,5 | 6,1 | 30 |
| **50** | 2,5 | 4,4 | 30 |
| **51** | 2 | 4,9 | 30 |
| **52** | 3 | 6,3 | 30 |
| **53** | 4,3 | 5,1 | 30 |
| **54** | 3,8 | 4,8 | 30 |
| **55** | 2,9 | 5,6 | 30 |
| **56** | 3 | 4,1 | 30 |
| **57** | 4,1 | 5,5 | 30  2.14. tabulas turpinājums |
| **58** | 3,8 | 5,4 | 30 |
| **59** | 3,7 | 5,3 | 30 |
| **60** | 2,9 | 5,2 | 30 |

### 15. Uzdevums

Vienfāzes pazeminošā autotransformatora nominālā jauda ir SN, primārā strāva *I*1 un sekundārais spriegums *U*2. Aprēķināt autotransformatora primāro spriegumu, transformācijas koeficientu, slodzes strāvu, strāvu kopējā tinumu daļā un sekundāro tinumu jaudu. Variantam atbilstoši izejas dati doti 2.15. tabulā.

2.15. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | |
| **Varianti** | **SN, kVA** | **I1, A** | **U2, V** |
| **1** | 1,76 | 8 | 100 |
| **2** | 1,56 | 8,5 | 113 |
| **3** | 1,74 | 4,9 | 142 |
| **4** | 1,88 | 3,9 | 135 |
| **5** | 1,93 | 6,2 | 129 |
| **6** | 1,54 | 4,7 | 131 |
| **7** | 1,44 | 9,9 | 151 |
| **8** | 1,61 | 12,3 | 128 |
| **9** | 1,92 | 5,52 | 137 |
| **10** | 2,42 | 7,86 | 129 |
| **11** | 2,16 | 5,34 | 162 |
| **12** | 1,57 | 7,81 | 142 |
| **13** | 2,17 | 4,62 | 133 |
| **14** | 1,76 | 7,11 | 152 |
| **15** | 1,56 | 8 | 137 |
| **16** | 1,74 | 8,5 | 146 |
| **17** | 1,88 | 4,9 | 100 |
| **18** | 1,93 | 3,9 | 113 |
| **19** | 1,54 | 6,2 | 142  2.15. tabulas turpinājums |
| **20** | 1,44 | 4,7 | 135 |
| **21** | 1,61 | 9,9 | 129 |
| **22** | 1,92 | 12,3 | 131 |
| **23** | 2,42 | 5,52 | 151 |
| **24** | 2,16 | 7,86 | 128 |
| **25** | 1,57 | 5,34 | 137 |
| **26** | 2,17 | 7,81 | 129 |
| **27** | 1,76 | 4,62 | 162 |
| **28** | 1,56 | 7,11 | 142 |
| **29** | 1,74 | 8 | 133 |
| **30** | 1,88 | 8,5 | 152 |
| **31** | 1,93 | 4,9 | 137 |
| **32** | 1,54 | 3,9 | 146 |
| **33** | 1,44 | 6,2 | 100 |
| **34** | 1,61 | 4,7 | 113 |
| **35** | 1,92 | 9,9 | 142 |
| **36** | 2,42 | 12,3 | 135 |
| **37** | 2,16 | 5,52 | 129 |
| **38** | 1,57 | 7,86 | 131 |
| **39** | 2,17 | 5,34 | 151 |
| **40** | 1,76 | 7,81 | 128 |
| **41** | 1,56 | 4,62 | 137 |
| **42** | 1,74 | 7,11 | 129 |
| **43** | 1,88 | 8 | 162 |
| **44** | 1,93 | 8,5 | 142 |
| **45** | 1,54 | 4,9 | 133 |
| **46** | 1,44 | 3,9 | 152 |
| **47** | 1,61 | 6,2 | 137 |
| **48** | 1,92 | 4,7 | 146 |
| **49** | 2,42 | 9,9 | 100 |
| **50** | 2,16 | 12,3 | 113 |
| **51** | 1,57 | 5,52 | 142 |
| **52** | 2,17 | 7,86 | 135  2.15. tabulas turpinājums |
| **53** | 1,76 | 5,34 | 129 |
| **54** | 1,56 | 7,81 | 131 |
| **55** | 1,74 | 4,62 | 151 |
| **56** | 1,88 | 7,11 | 128 |
| **57** | 1,93 | 8 | 137 |
| **58** | 1,54 | 8,5 | 129 |
| **59** | 1,44 | 4,9 | 162 |
| **60** | 1,61 | 3,9 | 142 |

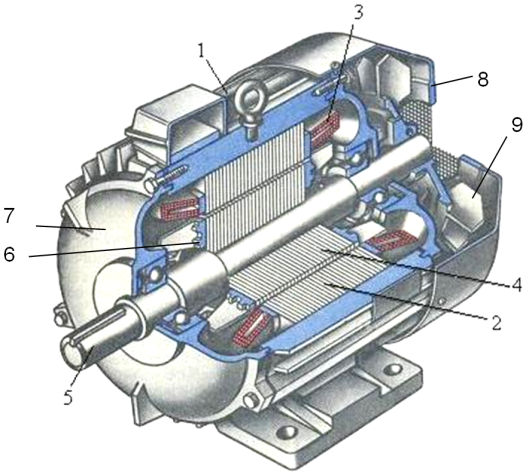
# 3. Asinhronās mašīnas

## 3.1. Asinhrono mašīnu uzbūve

Izšķir trīs galvenos maiņstrāvas mašīnu pamattipus: sinhronas, asinhronas mašīnas un maiņstrāvas kolektormašīnas. Visvairāk izplatītas ir trīsfāzu maiņstrāvas mašīnas. Maiņstrāvas mašīnu teorijā ir virkne kopīgu jautājumu, tāpat mašīnām ir vairāki līdzīgi konstruktīvi elementi. Visu daudzfāzu maiņstrāvas mašīnu darbības pamatā ir rotējošs magnētiskais lauks.

Sinhronajās mašīnās rotora un rotējošā magnētiskā lauka rotā­cijas frekvences ir vienādas, t. i., rotors un magnētiskais lauks rotē sinhroni. Asinhronajās mašīnās rotora rotācijas frekvence atšķiras no rotē­jošā magnētiskā lauka rotācijas frekvences, rotors un magnētis­kais lauks rotē asinhroni. Asinhronās mašīnas izmanto gandrīz tikai par dzinējiem, jo asinhronajiem ģeneratoriem salīdzinājumā ar sin­hronajiem ģeneratoriem ir būtiski trūkumi. Asinhronie dzinēji to vien­kāršās konstrukcijas un apkalpošanas, kā arī darbības drošuma dēļ ir visizplatītākie elektrodzinēji.

Asinhronās mašīnas galvenās sastāvdaļas ir stators un rotors. At­karībā no rotora konstruktīvā izveidojuma izšķir divus asinhrono ma­šīnu pamattipus: asinhronās mašīnas ar īsslēgtu rotoru (3.1. att.) un asinhronās mašīnas ar fāzu rotoru.



3.1. att. Asin­hronā dzinēja ar īsslēgtu ro­toru uzbūve: 1 - korpuss, 2 - statora serde, 3 - statora tinums, 4 - rotora serde, 5 - vārpsta, 6 - ro­tora tinums, 7 - gultņu vairogs, 8 - apvalks, 9 - ventilators.

Asinhronās mašīnas stators sastāv no tērauda serdes 2, kurai ir doba cilindra veids. Serde salikta no 0,5 mm (retāk no 0,35 mm) bieziem savstarpēji izolētiem elektrotehniskā tērauda skārdiem. Statora serdes iekšējā virsmā izveidotas rievas, kurās ievietots statora tinums 3. Asinhronās mašīnas rotors sastāv no cilindriskas serdes 2, kura, tāpat kā statora serde, salikta no elektrotehniskā tērauda skārdiem un nostiprināta uz vārpstas 5.

Mašīnas vārpsta balstās divos gultņu vairogos iestiprinātos gultņos. Rotora rievās ievietoti vara vai alumīnija stieņi, kuri abos galos savienoti ar gredzeniem. Stieņi un gredzeni veido īsi slēgtu rotora tinumu. Rotora tinumam nav nekādas saites ar ārējo elektrisko tīklu.

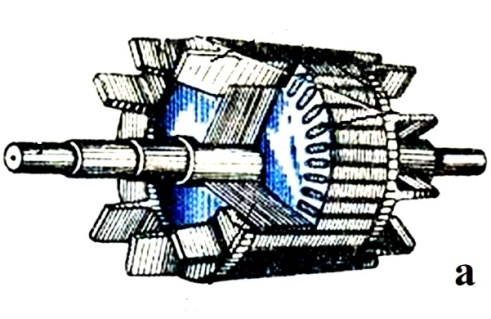
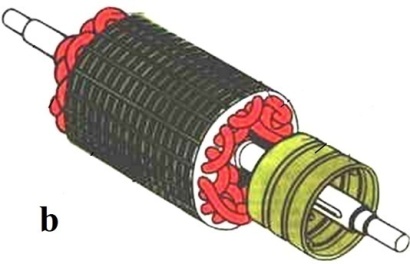
Statora tinumu pieslēdzot trīsfāzu strāvas tīklam (rotors nekustīgs), rotējošās magnētiskās plūsmas līnijas šķeļ rotora īsi slēgtā kontūra stieņus un inducē tajos EDS *E*2, kas uztur indukcijas strāvu *I*2. Inducētā *E*2 virzienu rotora kontūrā nosaka pēc labās rokas likuma, pieņemot, ka plūsma ir nekustīga, bet rotors rotē pretī plūsmas griešanās virzienam ar kādu relatīvo ātrumu, jo EDS indukciju izraisa magnētiskās plūsmas un vadītāja relatīvā kustība. Starp magnētisko lauku un rotora strāvu pastāv savstarpēja mijiedarbība: magnētiskais lauks darbojas ar elektromagnētisku spēku uz katru rotora stieni ar strāvu, radot elektromagnētisko griezes momentu. Rotors sāk paātrināti griezties rotējošā magnētiskā lauka griešanās virzienā.

Kad iestājas līdzsvars starp dzinēja EDS radīto griezes momentu un bremzējošo momentu, ko rada piedzenamā darba mašīna un berzes spēki dzinējā, rotora ātrums vairs nemainās.

Tātad, asinhronā dzinēja rotējošais magnētiskais lauks un rotors rotē vienā virzienā ar dažādiem ātrumiem, turklāt rotora ātrums vienmēr mazāks par magnētiskā lauka sinhrono griešanās ātrumu, jo EDS rotora kontūrā inducējas tikai tad, kad ir relatīva kustība starp rotējošo magnētisko plūsmu un rotoru.

Īsslēgtā rotora rievās ievietots «vāveres rata» tipa tinums (3.2. att. a). Tas izveidots no vara vai alumīnija stieņiem, kuri no rotora serdes nav izolēti. Stieņu gali rotora abās pusēs savienoti ar diviem tāda paša materiāla gredzeniem. Mašīnām ar jaudu līdz 100 kW rotora rievas zem spiediena pielej ar izkausētu alumīniju, reizē atlejot arī abus gredzenus rotora galos kopā ar ventilācijas spārniņiem. Asinhronie dzinēji ar īsslēgtu rotoru ir visizplatītākie dzinēji. To galvenā priekšrocība ir ļoti vienkāršā rotora konstrukcija, tie ir darbā droši un lētāki par dzinējiem ar fāzu ro­toru.

Fāzu rotora rievās (3.2. att. b) ievie­tots trīsfāzu tinums, kura konstruktīvais izveidojums līdzīgs statora trīsfāzu tinu­mam. Rotora tinuma fāzes saslēgtas zvaig­znē un izvadi pievienoti uz vārpstas ne­kustīgi nostiprinātiem kontaktgredzeniem. Pa kontaktgredzeniem slīd sukas, ar kuru starpniecību rotora ķēdē var ieslēgt trīsfāzu reostatu vai arī rotora tinumu saslēgt īsi. Lai samazinātu mehāniskos zudumus un kontaktgredzenu un suku nodilumu, dzinē­jiem ar fāzu rotoru parasti ir iekārtots mehānisms, ar kuru, kontaktgredzenus saslēdzot īsi, paceļ sukas.

3.2. att. Asinhrono mašīnu iz­veidojums: a - īsslēgto rotoru , b - ar fāzu rotoru.

Statora tinuma fāzes saslēdz zvaigznē vai trīsstūrī, attiecīgi savienojot iz­vadu galus Tā kā fāzu tinumi aprēķināti noteiktam no­minālajam spriegumam, tad statora tinuma saslēgšanas veids atka­rīgs no tīkla sprieguma un no statora tinuma fāzes nominālā sprie­guma vērtībām. Tā, piemēram, ja dzinēja pasē uzrādīts spriegums 220/380 V un dots apzīmējums Δ/Y, tad dzinēja pieslēgšana jāveic šādi: ja tīkla spriegums ir 220 V, tinums jāsaslēdz trīsstūrī, bet, ja tīkla spriegums ir 380 V - zvaigznē.

## 3.2. Rotējošais magnētiskais lauks

Trīsfāzu strāvas visvērtīgākā īpašība izpaužas relatīvi vienkāršā iespējā radīt telpā rotējošu magnētisko lauku. To izmanto maiņstrāvas mašīnās, mēraparātos u.c. aparātos. Trīs vienādas spoles statorā novieto tā, ka to plaknes viena ar otru veido 1200. Spoļu beigas *X*, *Y* un *Z* savieno kopā, t.i., saslēdz zvaigznē (3.3. att. a).

Spoļu sākumus *A*, *B* un *C* pievienojot simetriskai trīsfāzu spriegumu sistēmai, spolēs plūdīs simetriskas sinusoidālas strāvas *iA*, *iB* un *iC* (3.3. att. *b*)

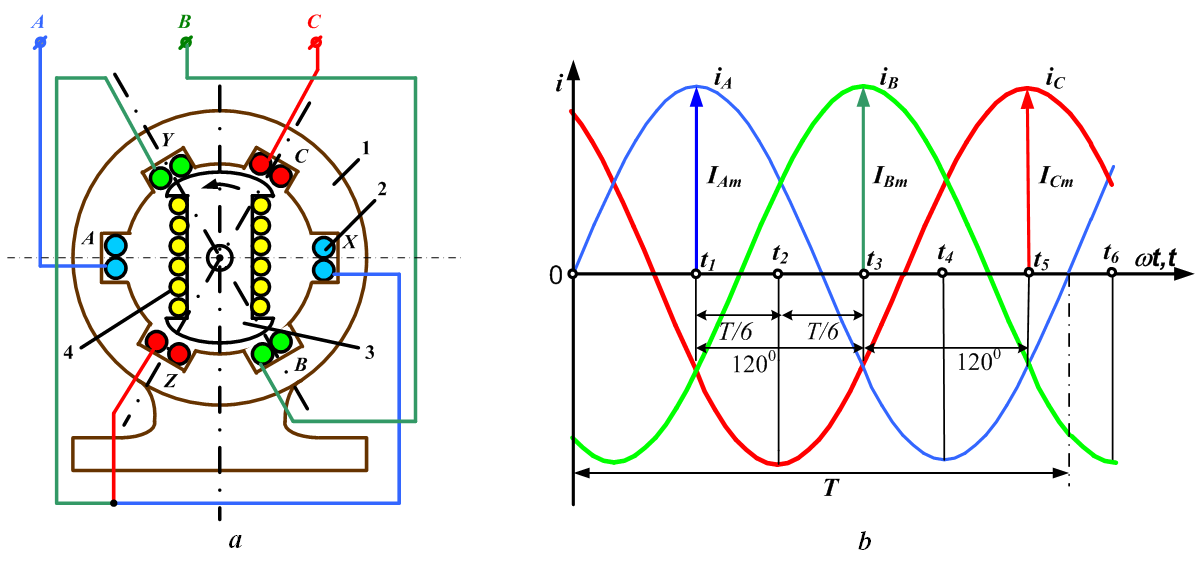
*iA = Im*sin*ωt*,

*iB = Im*sin(*ωt*-120°), (3.1.)

*iC = Im*sin(*ωt*-240°),

kur *ω* = 2π*f*1, а *f*1 – tīkla frekvence. Katra strāva rada pulsējošu magnētisko plūsmu Ф*A*, Ф*B* un Ф*C*. Katras spoles magnētiskās plūsmas ass ir perpendikulāra attiecīgās spoles plaknei un sakrīt ar šīs spoles ģeometrisko asi. Spoļu strāvu maksimālās vērtības ir vienādas, *IAm= IBm= ICm = Im*, tāpēc vienādas ir arī spoļu plūsmu maksimālās vērtības: Ф*Am=* Ф*Bm=* Ф*Cm=* Ф*m*. Spoļu ietvertajā telpā katrā mirklī pastāv noteikta virziena un lieluma rezultējošā magnētiskā plūsma kā triju spoļu plūsmu momentāno vērtību ģeometriskā summa:

 (3.2.)



3.3. att. Trīsfāzu strāvas rotējošā magnētiskā lauka iegūšanas shēma (a) un spolēs plūstošo strāvu grafiki (b): 1– stators, 2 – statora tinumi, 3 – rotors, 4 – rotora tinumi.

Jebkurā mirklī rezultējošās plūsmas skaitliskā vērtība ir viena un tā pati (Ф = const), bet rezultējošās plūsmas virziens telpā nepārtraukti mainās. Rezultējošās plūsmas vektors Ф telpā rotē ar nemainīgu rotācijas frekvenci fāzu secības virzienā: *A-B-C-A*. Tā kā laika sprīdī *T* plūsmas vektors Ф pagriežas par 3600, tad viena perioda laikā rezultējošā plūsma Фizdara vienu pilnu apgriezienu. Tātad ar trīsfāzu strāvu barotu triju spoļu ietvertajā telpā iegūstam rotējošu magnētisko lauku.

Plūsmas Ф griešanās virzienu var mainīt, izmainot strāvu pozitīvo maksimumu *Im* secību spolēs. To realizē, apmainot vietām divus spoļu sākumiem pievienotos tīkla vadus. Maiņstrāvas ar frekvenci f1=50 Hz radītā rotējošā magnētiskā plūsma Ф izdara 50 apgriezienus sekundē, bet vienā minūtē n1 =60*·f*1 *=* 60·50 = 3000 apgr./min.

Rotējošā magnētiskā lauka rotācijas frekvenci, kas ar doto maiņstrāvas frekvenci *f*1 ir nemainīga, sauc par sinhrono rotācijas frekvenciun apzīmē ar *n*1.

Triju spoļu trīsfāzu strāvu radītajam rotējošam magnētiskajam laukam ir divi poli (2*p* = 2) jeb viens polu pāris (*p* = 1) un lauka sinhronā rotācijas frekvence *n*1 = 3000 apgr./min, ja maiņstrāvas frekvence *f*1 = 50 Hz. Lai ar to pašu maiņstrāvas frekvenci iegūtu rotējošo magnētisko lauku ar mazāku rotācijas frekvenci n1, tad 3 spoļu vietā jāizmanto 6 vai 9, vai 12 utt. Spoles. Tas nozīmē, ka katrā fāzē jāieslēdz 2, 3 vai vairākas virknē savienotas spoles. Četrpolu (2*p =* 4) rotējošo magnētisko lauku iegūst ar 6 spolēm, katrā fāzē ieslēdzot 2 virknē savienotas spoles. Veidojas divas spoļu grupas pa trīs spolēm katrā. Katra grupa aizņem sektoru, atbilstošu 1800 leņķim.

Tas nozīmē, ka viena maiņstrāvas perioda *T* laikā magnētiskās plūsmas Фvektors izdarīs pusapgriezienu, t.i., divas reizes mazāk nekā 3 spoļu gadījumā (2*p =* 2).

Vispārīgā gadījumā rotējošā magnētiskā laukā ar *p* polu pāriem rotācijas frekvence

*n*1*=*60*·f*1*/p*. (3.3.)

Statora tinumu pieslēdzot trīsfāzu strāvas tīklam, rotējošās magnētiskās plūsmas līnijas šķeļ rotora īsi slēgtā kontūra stieņus un inducē tajos elektrodzinējspēku *E*2, kas uztur indukcijas strāvu *I*2. Starp magnētisko lauku un rotora strāvu pastāv savstarpēja mijiedarbība: magnētiskais lauks darbojas ar EDS uz katru rotora stieni ar strāvu, radot elektromagnētisko griezes momentu. Rotors sāk paātrināti griezties rotējošā magnētiskā lauka griešanās virzienā. Kad iestājas līdzsvars starp dzinēja EDS radīto griezes momentu un bremzējošo momentu, ko rada piedzenamā darba mašīna un berzes spēki dzinējā, rotora ātrums vairs nemainās. Rotora ātrums vienmēr mazāks par magnētiskā lauka sinhrono griešanās ātrumu, jo EDS rotora kontūrā inducējas tikai tad, kad ir relatīva kustība starp rotējošo magnētisko plūsmu un rotoru.

## 3.3. Rotora slīde

Asinhronā dzinēja raksturīga īpatnība ir tā, ka statora un rotora strāvām ir dažādas frekvences: statora strāvai ir tīkla frekvence *f*1 bet rotora strāvas un EDS frekvence *f*2 ir atkarīga no rotora griešanās ātruma *n*2.

Asinhronās mašīnas rotējošā magnētiskā lauka relatīvās rotācijas frekvences pret rotoru *ns = n*1 *- n*2 attiecību pret rotējošā lauka sinhrono frekvenci *n*1 sauc par rotora slīdi.

 (3.4.)

Dzinēja režīmā slīde vienmēr ir pozitīva (s > 0), jo n2 < n1.

Ģeneratora režīmā rotors, ko griež kāds primārs dzinējs, griežas ātrāk nekā rotējošais magnētiskais lauks, t.i., *n*2 *> n*1, un tādēļ slīde negatīva (s < 0). Asinhronā dzinēja palaišanas momentā *n*2 *= 0* un slīde *s =* 1. Rotoram iegriežoties, slīde samazinās. Slīde *s =* 0 tad, kad *n*2 *= n*1, ko asinhronā mašīna dzinēja režīmā nevar sasniegt. Ja s = 0 (n = n1) - rotors griežas ar sinhrono rotācijas frek­venci. Ja s =1 (n = 0) - rotors nekustīgs (dzinēja palaišanas sākums). Rotora rotācijas frekvence:

** (3.5.)

Normāli slogotu asinhrono dzinēju nominālā slīde *s=* 2…6 %. Rotora inducēta EDS un strāvas frekvence:

 (3.6.)

Dzinēja palaišanas momentā *n*2 = 0, *s* = l un *f*2 = *f*1 = 50 Hz, bet tukšgaitā slīde *s* → 0, *n*2 ≈ *n*1 un *f*2 < 0,5 Hz. Normāli slogotam dzinējam parasti *f*2 = 1—3 Hz.

**3.1. Piemērs.** Aprēķināt slīdi sešpolu 2*p* = 6 trīsfāžu asinhronajam dzinējam, ja tā rotācijas frekvence ir *n*2 = 960 min-1 un maiņstrāvas tīkla frekvence *f*1 = 50 Hz. Noteikt asinhronā dzinēja rotora strāvas frekvenci.

Atrisinājums.

1. Sinhronā rotācijas frekvence



2. Slīde



3. Rotora strāvas frekvence

*f*2 = *s·f*1 = 0,04·50 = 2 Hz.

## 3.4. Asinhronā dzinēja enerģētiskā bilance un EDS

Asinhronajā dzinējā elektriskā enerģija pārveidojas mehāniskajā enerģijā. Šis process dzinējā saistīts ar enerģijas zudumiem, kuri sastāv no elektriskajiem, magnētiskajiem un mehāniskajiem zudumiem.

Elektriskos zudumus ΔPel statora un rotora tinumos rada tajos plūstošās strāvas I1 un I2. Trīsfāzu asinhronajā dzinējā ar īsi saslēgtu fāzu rotoru elektriskie jaudas zudumi statora tinumā  un rotora tinumā , kur r1 un r2 — statora un rotora fāzu aktīvās pretestības. Tātad elektriskie jau­das zudumi asinhronajā dzinējā

 (3.7.)

ir atkarīgi no dzinēja slodzes: slodzei pieaugot, elektriskie zudumi strauji palielinās.

Magnētiskie zudumi ΔPmsaistīti ar nepārtrauktu statora un rotora tēraudu pārmagnetizēšanu un sastāv no histerēzes un virpuļstrāvu zudumiem. Ja *U*1*=* const un *f*1 *=* const, tad magnētiskie zudumi praktiski ir nemainīgi. Tā kā rotora frekvence *f*2 ir niecīga (1-3 Hz), tad magnētiskie zudumi rotorā ir neievērojami mazi, t. i., Δ*Pm*2 = 0 un mag­nētiskie zudumi mašīnā praktiski vienādi ar magnētiskajiem zu­dumiem statora tēraudā Δ*Pm*1: Δ*Pm* = Δ*Pm*1 = const.

Mehāniskos zudumus Δ*Pmeh* rada berze gultņos, berze starp sukām un kontaktgredzeniem, rotora berze pret gaisu un ventilācija. Mehāniskie zudumi proporcionāli rotora grie­šanās ātrumam. Bet, tā kā asinhrono dzinēju griešanās ātrums, dzinējam pārejot no tukšgaitas uz nominālo režīmu, izmainās maz, tad mehāniskie zudumi praktiski nav atkarīgi no dzinēja slodzes (Δ*Pmeh* = const). Saskaņā ar enerģijas nezūdamības likumu dzinēja aktīvo jaudu bilances vienādojums ir

*P*1*=P*2*+*Δ*Pe*1*+*Δ*Pm*1*+*Δ*Pe*2*+*Δ*Pmeh*, (3.8.)

kur *P*1 - dzinēja statora no tīkla uzņemtā jauda,

*P*2- ar dzinēja vārpstu nodotā lietderīgā mehāniskā jauda.

Jaudu, ko mašīnas rotējošais magnētiskais lauks at­dod rotoram, sauc par dzi­nēja elektromagnē­tisko jaudu:

*Pem* = *P*1 – (Δ*Pe*1 + Δ*Pm*1). (3.9.)

Elektromagnētiskā jauda rotorā pārveidojas mehā­niskajā jaudā. Tā kā daļu elektromagnētiskas jaudas izlieto elektrisko zudumu segšanai rotora, tad rotējošā ro­tora attīstītā mehāniskā jauda

*Pmeh* = *Pem* – Δ*Pe*2. (3.10.)

Elektrisko zudumu jauda rotora Δ*Pe*2 ir pro­porcionāla slīdei:

Δ*Pe*2 = *sPem*. (3.11.)

Tad

*Pmeh* = *Pem*(1 - *s*), (3.12.)

t. i., rotora mehāniskā jauda mainās reizē ar rotora slīdi. Ar dzinēja vārpstu atdotā lietderīgā mehā­niskā jauda P2 ir par Δ*Pmeh* mazāka nekā rotora mehāniskā jauda *Pmeh* :

*P*2 *= Pmeh* - Δ*Pmeh*. (3.13.)

Dzinēja uzrakstu plāksnītē un katalogos vienmēr dota dzi­nēja nominālā lietderīgā jauda *Pn* = *P*2*n*, nevis no tīkla uzņemtā nominālā aktīvā jauda *P*1*n*.

Dzinēja lietderības koeficients ir ar vārpstu atdotās lietderīgās jaudas *P*2 attiecība pret dzinēja uzņemto aktīvo jaudu *P*1 :

 (3.14.)

vai

** (3.15.)

kur Δ*P* – dzinēja summārie jaudas zudumi.

Nomināli slogotu asinhrono dzinēju lietderības koeficienti *η* = 75 – 95%, pie tam, jo mazāka dzinēja nominālā jauda, jo mazāks tā nomi­nālais lietderības koeficients.

Elektromagnētiskie procesi asinhronā dzinējā ir līdzīgi procesiem transformatorā: statora tinums rada magnētisko lauku, kas pārvada enerģiju rotora tinumā. Atšķirības ir saistītas ar magnētiskā lauka, rotora griešanās un elektroenerģijas pārvēršanas mehāniskajā darbību.

Ja dzinēja rotora tinums ir nesaslēgts (*I*2 = 0) un nekustīgs (*n*2 = 0), bet statora tinums pieslēgts pie trīsfāžu maiņstrāvas tīkla ar frekvenci *f*1, tad statora rotējošais magnētiskais lauks šķeļ nekustīgos statora un rotora tinumus un inducē to fāzes EDS, kuru efektīvās vērtības ir





kur *E*1 – statora tinuma vienā fāzē inducētā EDS (pretelektrodzinējspēks), V;

*E*2 – rotora tinuma vienā fāzē inducētā EDS efektīvā vērtība pie nekustīga rotora, V;

*ω*1 un *ω*2 – statora un rotora tinuma vienas fāzes vijumu skaits;

*k*1 un *k*2 - statora un rotora tinuma vienas fāzes koeficients (k = 0,92…0,96);

Ф*m* – dzinēja galvenās magnētiskās plūsmas amplitūdas vērtība, Wb;

*f*1 – tīkla strāvas frekvence, Hz.

## 3.5. Rotora strāva

Rotora strāva *I*2 ir atkarīga kā no rotora fāzē inducētā *E*2, tā arī no rotora fāzes pretestībām *R*2 un *X*2. Rotora aktīvā pretes­tība *R*2 ir visai maza un praktiski nemainīga, bet induktīvās pre­testības *X*2 skaitliskā vērtība mainās ļoti plašās robežās atkarībā no rotora griešanās ātruma *n*2 resp. atkarībā no slīdes *s*. Nekustīga rotora vienas fāzes induktīvā pretestība:

*X*2*n = ω*1*Lσ*2 = 2*πf*1*Lσ*2 (3.16.)

kur *Lσ*2— rotora tinuma vienas fāzes izkliedes indukti­vitāte, kas praktiski nav atkarīga no rotora frek­vences. Dzinēja palaišanas momentā, kad n2 = 0 un s = 1, rotora induktīvā pretestība ir vis­lielākā: X2 = X2n, tā kā X2n >> R2 tad nekustīga rotora fāzes pilnā pretestība Z2n ≈ X2n. Ja s = 0, tad arī X2 = 0 un Z2 = R2. Rotējoša īsi saslēgta fāzu rotora fāzes strāva:

 (3.17.)

kur *R*2 – rotora tinuma aktīvā pretestība, Ω;

*X*2 – nekustīga rotora tinuma induktīvā pretestība, Ω;

*X*2s – rotējoša rotora tinuma induktīvā pretestība, Ω.

Dzinēja palaišanas momentā, kad slīde *s* = 1, rotora strāva ir vislielākā:

 (3.18.)

bet, ja slīde *s* = 0, tad arī *I*2 = 0, jo *E*2 = 0. Asinhronajam dzinējam palaišanas strāva rotorā *I*2*p* nav atkarīga no dzinēja slodzes, jo R2, X2*n* un *E*2*n* ir nemainīgi dzinēja lielumi.

**3.2. Piemērs.** Trīsfāžu asinhronā dzinēja ar fāžu rotoru, rotora fāzes tinuma aktīvā pretestība *R*2 = 0,2 Ω, bet nekustīga rotora induktīvā pretestība *X*2 = 1 Ω. Aprēķināt rotora fāzes strāvu, inducēto EDS un strāvas frekvenci dzinēja palaišanas un darba laikā, ja pie slīdes *s* = 0,03 rotora tinumā inducējas *E*2*s* = 4,5 V un maiņstrāvas tīkla frekvence *f*1 = 50 Hz.

Atrisinājums.

1. Rotējoša rotora induktīvā pretestība



2. Rotējoša fāžu rotora fāzes strāva



3. Nekustīga rotora fāzē inducētais EDS ( palaišanas laikā)



4. Rotora fāzes strāva palaišanas laikā



5. Rotora tinuma inducētā EDS un strāvas frekvence darba laikā



**3.3. Piemērs.** Noteikt asinhronā īsslēgtā dzinēja statora un rotora fāzes EDS nekustīga un rotējoša rotora gadījumā, ja Ф*max* = 0,011 Wb; *s* = 0,03; *w*1 = 96; 2*p* = 6; *k*1 = 0,91; *f*1 = 50 Hz. Dzinēja rotora fāzes vijumu skaits *w*2 = 0,5*p*; tinuma koeficients *k*2 = 1.

Atrisinājums.

1. Statora fāzes EDS

*E*1 = 4,44·*k*1·*f*1·*w*1·Фmax = 4,44·0,91·50·96·0,011 = 213 V;

2. Rotora fāzes vijumu skaits

*w*2 = 0,5*p* = 0,5·3 = 1,5;

3. Rotora fāzes EDS nekustīga rotora gadījumā

*E*2 = 4,44·*k*2· *w*2·*f*1·Фmax = 4,44·1·1,5·50·0,011 = 3,66 V;

4. Fāzes EDS, rotoram griežoties,

*E*2*s* = *s·E*2 = 0,03·3,65 = 0,11 V.

## 3.6. Asinhronā dzinēja griezes moments

Asinhronie dzinēji ir ļoti jutīgi pret sprieguma svārstībām: spriegumam pazeminoties, krasi samazinās dzinēja griezes moments. Asinhronā dzinēja nominālais griezes moments:

 (3.19.)

kur PN - dzinēja nominālā jauda uz vārpstas, kW;

 - rotora nominālais leņķiskais ātrums, rad/s;

nN - rotora nominālā rotācijas frekvence, min-1. Asinhronā dzinēja maksimālo griezes momentu var aprēķināt sekojoši: Mmax = km·MN, kur km – koeficients, kas raksturo dzinēja pārslodzes spēju. Asinhronā dzinēja palaišanas momentu savukārt nosaka: Mp = kp·MN, kur kp – koeficients, kas raksturo dzinēja palaišanas spēju.

Asinhronā dzinēja nominālā strāva:

 (3.20.)

kur UN – nominālais līnijas spriegums, V;

cosφN – nominālais jaudas koeficients;

*ηN* – nominālais lietderības koeficients. Asinhronā dzinēja palaišanasstrāva:

*Ip = kI·IN*, (3.21.)

kur *kI* – koeficients, kas raksturo dzinēja palaišanas apstākļus. Momenta atkarību no slīdes jebkura mehāniskas raksturlīknes punktā izsaka vienkāršota Klosa formula:

 (3.22.)

kur  - kritiskā slīde. Magnētiskā lauka rotācijas ātrumu *n*1 var atrast, zinot dzinēja polu pāru skaitu un maiņstrāvas tīkla frekvenci:



Ja polu pāru skaits nebūtu zināms, *n*1 varētu ņemt no sinhrono ātrumu rindas: 3000, 1500, 1000, 750, utt. Izvēlēties to ātrumu, kas ir vistuvāk nominālā ātruma *nN* vērtībai un nedaudz lielāks par to. Piemēram, ja *nN* = 1425 apgr./min, tad *n*1 = 1500 apgr./min. Zinot *n*1 un *nN* var atrast nominālo slīdi



**3.4. Piemērs.** Trīsfāžu asinhronā dzinēja rotora rotācijas frekvence *n*2 = 2940 min-1, dzinējam pievadītā jauda *P*1 = 20 kW, bet summārie jaudas zudumi dzinējā Δ*P* = 3 kW un *f*1 = 50 Hz. Aprēķināt dzinēja slīdi un lietderības koeficientu, ja tas ir divpolu dzinējs.

Atrisinājums.

1. Magnētiska lauka sinhrona rotācijas frekvence



2. Asinhronā dzinēja slīde



3. Dzinēja lietderības koeficients



**3.5. Piemērs.** Trīsfāžu īsslēgtā asinhronā dzinēja tehniskie dati: PN = 16 kW, UN = 380 V, nN = 1440 min-1, ηN = 86 %, cosφN = 0,85, polu pāru skaits 2p = 4, km = 2, kp = 1,4, kI = 7. Aprēķināt summāros jaudas zudumos dzinējā, maksimālo un palaišanas momentu, slīdi, inducētā EDS un strāvas frekvenci, palaišanas strāvu un spēku, ar kādu dzinējs notur uz tā vārpstas nostiprinātu skriemeli ar diametru d = 0,4 m.

Atrisinājums.

1. Dzinējam pievadītā jauda



2. Summārie jaudas zudumi dzinējā



3. Dzinēja nominālais griezes moments



4. Dzinēja maksimālais (kritiskais) griezes moments

*Mmax = km·MN* = 2·106 = 212 Nm;

5. Dzinēja palaišanas moments

*Mp = kp·MN* = 1,4·106 = 148,4 Nm;

6. Spēks uz skriemeli



7. Dzinēja nominālā strāva



8. Palaišanas strāva

*Ip = kI·IN =* 7·33,2 = 233 A;

9. Sinhronā rotācijas frekvence



10. Nominālā slīde



11. Indicētā EDS un strāvas frekvence

*f*2 = *s·f*1 = 0,04·50 = 2 Hz.

## 3.7. Īsslēgto asinhrono dzinēju palaišana, reversēšana un regulēšana

Asinhronais dzinējs no tīkla uzņem ne tikai aktīvo jaudu P1, bet ari reaktīvo jaudu Q1, un dzinēja jaudas koeficients ir atka­rīgs no abu šo jaudu skaitlisko vērtību savstarpējās attiecības:

 (3.23.)

Samazinot asinhronā dzinēja slodzi no nominālās vērtības līdz tukšgaitai, dzinēja uzņemtā aktīvā jauda P1 daudzkārt sama­zinās, bet uzņemtā reaktīvā jauda Q1 tajā pašā laikā samazinās samērā maz. Tādēļ, samazinot dzinēja slodzi, tā cosφ samazinās un visma­zāko skaitlisko vērtību sasniedz tukšgaitā, kad cosφ0 = 0,08—0,18. Asinhronajā dzinējā ievērojami lielā reaktīvās jaudas *Q*1 patē­riņa cēlonis ir gaisa sprauga starp statoru un rotoru. Normāli slogotu asinhrono dzinēju nominālie jaudas koeficienti cos*φn* = 0,75—0,93, pie tam, jo lielāka dzinēja nominālā jauda P2n, jo augstāks tā cos*φn*.

Palaišanas procesam asinhrono dzinēju ekspluatācijā ir liela nozīme, jo no šī procesa norises atkarīga ne tikai paša dzinēja, bet arī darbināmā mehānisma un barošanas tīkla darbības apstākļiem. Par asinhronā dzinēja palaišanu sauc statora tinuma pieslēgšanu barošanas tīklam ar nominālo spriegumu *UN* un rotora iegriešanos no *n*2 = 0 līdz rotācijas frekvencei, kas atbilst dzinēja slodzei.

Statora strāvu *Ip* un dzinēja griezes momentu *Mp* palaišanas sākuma momentā (*n*2 = 0), sauc par palaišanas strāvu un palaišanas momentu. Asinhronā dzinēja palaišanas procesa novērtēšanai svarīgi ir šādi rādītāji:

1. palaišanas momenta attiecība pret nominālo momentu: 

2. palaišanas strāvas attiecība pret nominālo strāvu: 

kā arī palaišanas ilgums, enerģijas zudumi palaišanas laikā, palaišanas vienkāršība un palaišanas iekārtas izmaksas. Īsslēgtos asinhronos dzinējus palaiž galvenokārt tieši, retāk – ar pazeminātu spriegumu.

**Tiešā palaišana.** Īsslēgtos asinhronos dzinējus parasti palaiž, statora tinumu ar slēdzi (paketslēdži, svirslēdzi, kontaktoru u.c.) tieši pieslēdzot pilnam tīkla spriegumam. Asinhronā dzinēja tiešā palaišana ir visvienkāršākais, ekonomiskākais un tādēļ arī izplatītākais šo dzinēju palaišanas paņēmiens. Tiešās palaišanas trūkums ir dzinēja lielā palaišanas strāva. Palaišanas strāva nav bīstama pašam dzinējam, jo palaišana noris ļoti ātri, tā tikai ierobežo dzinēja palaišanas biežumu un tā tīklā rada sprieguma kritumu, tāpēc visi tīklam pievienotie patērētāji īslaicīgi saņem pazeminātu spriegumu.

**Palaišana ar pazeminātu spriegumu**. Vidējas un lielas jaudas dzinējiem, kurus nevar pieslēgt tieši tīklam, ir jāsamazina palaišanas strāvas, ko panāk ar dažādām statora tinuma ķēdē ieslēgtām strāvu ierobežojošām ierīcēm: reaktoru (spoli ar tērauda serdi), autotransformatoru, kā arī ar zvaigznes trīsstūra pārslēgu.

Reaktora induktīvo pretestību, asinhronā motora palaišanai, aprēķina

 (3.24.)

kur *Uf* – statora tinuma fāzes spriegums, V;

*kr*– koeficients, kas raksturo palaišanas strāvu attiecību ar un bez reaktora (parasti pieņem *kr* = 0,65). Autotransformatora jaudu, palaižot trīsfāžu asinhrono dzinēju, aprēķina

 (3.25.)

**3.6. Piemērs.** Aprēķināt reaktora induktīvo pretestību asinhronā dzinēja palaišanai (3.4. att.), ja tā dati ir: *PN* = 60 kW, *kI* = 6, cos*φN* = 0,85, *ηN* = 0,86. Dzinējam ir īsslēgts rotors, tā statora tinums saslēgts zvaigznē un tīkla nominālais līnijas spriegums *UN* = 380 V un *kr* = 0.65.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

3.4. att. Īsslēgtā asinhronā dzinēja palaišana ar reaktoru

Atrisinājums.

1. Dzinēja nominālā strāva



2. Palaišanas strāva

*Ip = kI·IN =* 6·124,4 = 749,1 A;

3. Fāžu spriegums



4. Reaktora induktīvā pretestība



**3.7. Piemērs.** Aprēķināt autotransformatora jaudu trīsfāžu īsslēgtā asinhronā dzinēja palaišanai (3.5. att.), ja tā dati: *PN* = 40 kW, *IN* = 75 A, *nN* = 2940 min-1, *kI* = 7, cos*φN* = 0,91, *ηN* = 0,89, *kp* = 1, samazinot tīkla spriegumu no 380 V līdz 220 V.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.5. Īsslēgtā asinhronā dzinēja palaišana ar autotransformatoru |  |

Atrisinājums.

1. Dzinēja palaišanas strāva

*Ip = kI·IN =* 7·75 = 525 A;

2. Nominālais griezes moments



3. Dzinēja palaišanas moments:

*Mp = kp·MN* = 1·130 = 130 Nm;

4. Autotransformatora transformācijas koeficients



5. Palaišanas strāva, palaižot dzinēju ar autotransformatoru



6. Palaišanas moments, palaižot dzinēju ar autotransformatoru



7. Autotransformatora nepieciešamā jauda



**3.8. Piemērs.** Aprēķināt, kā izmainās asinhronā dzinēja maksimālais griezes moments un pārslodzes spēja, tīkla spriegumam *U*1 samazinoties par X = 30% salīdzinājumā ar tā nominālo spriegumu *U*1*N*, ja dzinēja pārslodzes spēja *kp* = 2.

Atrisinājums.

1. Dzinējam pievadītais tīkla spriegums



2. Maksimālais moments sprieguma samazināšanās gadījumā



3. Pārslodzes spēja sprieguma samazināšanās gadījumā



## 3.8. Asinhrono mašīnu aprēķina uzdevumi

### 1. Uzdevums

Aprēķināt slīdi trīsfāžu asinhronajam dzinējam, ja tā rotācijas frekvence ir *n*2 un maiņstrāvas tīkla frekvence *f*1. Noteikt asinhronā dzinēja rotora strāvas frekvenci. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.1. tabulā.

3.1. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | |
| **Varianti** | **2p** | **n2, min-1** | **f1, Hz** |
| **1** | 6 | 960 | 50 |
| **2** | 6 | 957 | 50 |
| **3** | 6 | 977 | 50 |
| **4** | 6 | 964 | 50 |
| **5** | 6 | 985 | 50 |
| **6** | 6 | 969 | 50 |
| **7** | 6 | 961 | 50 |
| **8** | 8 | 720 | 50 |
| **9** | 8 | 730 | 50 |
| **10** | 8 | 723 | 50  3.1. tabulas turpinājums |
| **11** | 8 | 742 | 50 |
| **12** | 8 | 731 | 50 |
| **13** | 8 | 737 | 50 |
| **14** | 4 | 1440 | 50 |
| **15** | 4 | 1445 | 50 |
| **16** | 4 | 1450 | 50 |
| **17** | 4 | 1439 | 50 |
| **18** | 4 | 1436 | 50 |
| **19** | 6 | 964 | 50 |
| **20** | 6 | 985 | 50 |
| **21** | 6 | 969 | 50 |
| **22** | 6 | 961 | 50 |
| **23** | 6 | 810 | 50 |
| **24** | 6 | 947 | 50 |
| **25** | 6 | 944 | 50 |
| **26** | 8 | 742 | 50 |
| **27** | 8 | 731 | 50 |
| **28** | 8 | 737 | 50 |
| **29** | 8 | 730 | 50 |
| **30** | 8 | 736 | 50 |
| **31** | 8 | 735 | 50 |
| **32** | 4 | 1450 | 50 |
| **33** | 4 | 1439 | 50 |
| **34** | 4 | 1436 | 50 |
| **35** | 4 | 1445 | 50 |
| **36** | 4 | 1443 | 50 |
| **37** | 6 | 962 | 50 |
| **38** | 6 | 964 | 50 |
| **39** | 6 | 985 | 50 |
| **40** | 6 | 969 | 50 |
| **41** | 6 | 961 | 50 |
| **42** | 6 | 960 | 50 |
| **43** | 6 | 990 | 50  3.1. tabulas turpinājums |
| **44** | 8 | 736 | 50 |
| **45** | 8 | 742 | 50 |
| **46** | 8 | 731 | 50 |
| **47** | 8 | 737 | 50 |
| **48** | 8 | 730 | 50 |
| **49** | 8 | 735 | 50 |
| **50** | 4 | 1447 | 50 |
| **51** | 4 | 1450 | 50 |
| **52** | 4 | 1439 | 50 |
| **53** | 4 | 1436 | 50 |
| **54** | 4 | 1437 | 50 |
| **55** | 6 | 988 | 50 |
| **56** | 6 | 990 | 50 |
| **57** | 6 | 985 | 50 |
| **58** | 6 | 964 | 50 |
| **59** | 6 | 985 | 50 |
| **60** | 6 | 969 | 50 |

### 2. Uzdevums

Trīsfāžu asinhronā dzinēja ar fāžu rotoru, rotora fāzes tinuma aktīvā pretestība ir *R*2, bet nekustīga rotora induktīvā pretestība *X*2. Aprēķināt rotora fāzes strāvu, inducēto EDS un strāvas frekvenci dzinēja palaišanas un darba laikā, ja pie slīdes *s* rotora tinumā inducējas *E*2*s* un maiņstrāvas tīkla frekvence *f*1 = 50 Hz. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.2. tabulā.

3.2. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **R2, Ω** | **X2, Ω** | **s** | **E2s, V** |
| **1** | 0.2 | 1 | 0.03 | 4.5 |
| **2** | 0.23 | 1.1 | 0.04 | 4.1 |
| **3** | 0.31 | 0.9 | 0.05 | 4.8 |
| **4** | 0.28 | 0.8 | 0.02  3.2. tabulas turpinājums | 5.1 |
| **5** | 0.19 | 0.7 | 0.06 | 3.9 |
| **6** | 0.22 | 0.8 | 0.03 | 4.6 |
| **7** | 0.26 | 0.9 | 0.02 | 4.9 |
| **8** | 0.26 | 0.6 | 0.04 | 5.3 |
| **9** | 0.41 | 1.2 | 0.05 | 2.9 |
| **10** | 0.35 | 1.3 | 0.06 | 5.3 |
| **11** | 0.32 | 1.2 | 0.03 | 4.7 |
| **12** | 0.24 | 1.1 | 0.04 | 5.3 |
| **13** | 0.2 | 1 | 0.05 | 5.6 |
| **14** | 0.23 | 1 | 0.02 | 4.5 |
| **15** | 0.31 | 1.4 | 0.06 | 4.1 |
| **16** | 0.28 | 0.8 | 0.03 | 4.8 |
| **17** | 0.19 | 0.7 | 0.02 | 5.1 |
| **18** | 0.22 | 1.3 | 0.04 | 3.9 |
| **19** | 0.26 | 1 | 0.05 | 4.6 |
| **20** | 0.26 | 1.1 | 0.06 | 4.9 |
| **21** | 0.41 | 0.9 | 0.03 | 5.3 |
| **22** | 0.35 | 0.8 | 0.04 | 2.9 |
| **23** | 0.32 | 0.7 | 0.05 | 5.3 |
| **24** | 0.24 | 0.8 | 0.02 | 4.7 |
| **25** | 0.2 | 0.9 | 0.06 | 5.3 |
| **26** | 0.23 | 0.6 | 0.03 | 5.6 |
| **27** | 0.31 | 1.2 | 0.02 | 4.5 |
| **28** | 0.28 | 1.3 | 0.04 | 4.1 |
| **29** | 0.19 | 1.2 | 0.05 | 4.8 |
| **30** | 0.22 | 1.1 | 0.06 | 5.1 |
| **31** | 0.26 | 1 | 0.03 | 3.9 |
| **32** | 0.26 | 1 | 0.04 | 4.6 |
| **33** | 0.41 | 1.4 | 0.05 | 4.9 |
| **34** | 0.35 | 0.8 | 0.02 | 5.3 |
| **35** | 0.32 | 0.7 | 0.06 | 2.9 |
| **36** | 0.24 | 1.3 | 0.03 | 5.3 |
| **37** | 0.2 | 1 | 0.02  3.2. tabulas turpinājums | 4.7 |
| **38** | 0.23 | 1.1 | 0.04 | 5.3 |
| **39** | 0.31 | 0.9 | 0.05 | 5.6 |
| **40** | 0.28 | 0.8 | 0.06 | 4.5 |
| **41** | 0.19 | 0.7 | 0.03 | 4.1 |
| **42** | 0.22 | 0.8 | 0.04 | 4.8 |
| **43** | 0.26 | 0.9 | 0.05 | 5.1 |
| **44** | 0.26 | 0.6 | 0.02 | 3.9 |
| **45** | 0.41 | 1.2 | 0.06 | 4.6 |
| **46** | 0.35 | 1.3 | 0.03 | 4.9 |
| **47** | 0.32 | 1.2 | 0.02 | 5.3 |
| **48** | 0.24 | 1.1 | 0.04 | 2.9 |
| **49** | 0.2 | 1 | 0.05 | 5.3 |
| **50** | 0.23 | 1 | 0.06 | 4.7 |
| **51** | 0.31 | 1.4 | 0.03 | 5.3 |
| **52** | 0.28 | 0.8 | 0.04 | 5.6 |
| **53** | 0.19 | 0.7 | 0.05 | 4.5 |
| **54** | 0.22 | 1.3 | 0.02 | 4.1 |
| **55** | 0.26 | 1 | 0.06 | 4.8 |
| **56** | 0.26 | 1.1 | 0.03 | 5.1 |
| **57** | 0.41 | 0.9 | 0.02 | 3.9 |
| **58** | 0.35 | 0.8 | 0.04 | 4.6 |
| **59** | 0.32 | 0.7 | 0.05 | 4.9 |
| **60** | 0.24 | 0.8 | 0.06 | 5.3 |

### 3. Uzdevums

Noteikt asinhronā īsslēgtā dzinēja statora un rotora fāzes EDS nekustīga un rotējoša rotora gadījumā, ja tā dotie parametri ir Ф*max*; *s*; *w*1; 2*p*; *k*1; *f*1 = 50 Hz. Dzinēja rotora fāzes vijumu skaits *w*2 = 0,5*p*; tinuma koeficients *k*2 = 1. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.3. tabulā.

3.3. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | |
| **Varianti** | **Φmax, Wb** | **s** | **w1** | **2p** | **k1** |
| **1** | 0.011 | 0.03 | 96 | 6 | 0.91 |
| **2** | 0.012 | 0.03 | 97 | 6 | 0.94 |
| **3** | 0.013 | 0.04 | 56 | 6 | 0.95 |
| **4** | 0.012 | 0.05 | 90 | 4 | 0.93 |
| **5** | 0.015 | 0.02 | 87 | 8 | 0.87 |
| **6** | 0.009 | 0.06 | 85 | 6 | 0.93 |
| **7** | 0.01 | 0.03 | 89 | 8 | 0.84 |
| **8** | 0.008 | 0.02 | 60 | 4 | 0.88 |
| **9** | 0.014 | 0.04 | 72 | 2 | 0.97 |
| **10** | 0.015 | 0.05 | 91 | 4 | 0.93 |
| **11** | 0.016 | 0.06 | 79 | 6 | 0.95 |
| **12** | 0.011 | 0.03 | 61 | 4 | 0.86 |
| **13** | 0.012 | 0.04 | 94 | 6 | 0.95 |
| **14** | 0.013 | 0.05 | 82 | 2 | 0.91 |
| **15** | 0.012 | 0.02 | 89 | 6 | 0.94 |
| **16** | 0.015 | 0.06 | 96 | 8 | 0.95 |
| **17** | 0.009 | 0.03 | 97 | 6 | 0.93 |
| **18** | 0.01 | 0.02 | 56 | 2 | 0.87 |
| **19** | 0.008 | 0.04 | 90 | 4 | 0.93 |
| **20** | 0.014 | 0.05 | 87 | 6 | 0.84 |
| **21** | 0.015 | 0.06 | 85 | 4 | 0.88 |
| **22** | 0.016 | 0.03 | 89 | 8 | 0.97 |
| **23** | 0.011 | 0.04 | 60 | 6 | 0.93 |
| **24** | 0.012 | 0.05 | 72 | 6 | 0.95 |
| **25** | 0.013 | 0.02 | 91 | 6 | 0.86 |
| **26** | 0.012 | 0.06 | 79 | 4 | 0.95 |
| **27** | 0.015 | 0.03 | 61 | 8 | 0.91 |
| **28** | 0.009 | 0.02 | 94 | 6 | 0.94 |
| **29** | 0.01 | 0.04 | 82 | 8 | 0.95 |
| **30** | 0.008 | 0.05 | 89 | 4 | 0.93 |
| **31** | 0.014 | 0.06 | 96 | 2  3.3. tabulas turpinājums | 0.87 |
| **32** | 0.015 | 0.03 | 97 | 4 | 0.93 |
| **33** | 0.016 | 0.04 | 56 | 6 | 0.84 |
| **34** | 0.011 | 0.05 | 90 | 4 | 0.88 |
| **35** | 0.012 | 0.02 | 87 | 6 | 0.97 |
| **36** | 0.013 | 0.06 | 85 | 2 | 0.93 |
| **37** | 0.012 | 0.03 | 89 | 6 | 0.95 |
| **38** | 0.015 | 0.02 | 60 | 8 | 0.86 |
| **39** | 0.009 | 0.04 | 72 | 6 | 0.95 |
| **40** | 0.01 | 0.05 | 91 | 2 | 0.91 |
| **41** | 0.008 | 0.06 | 79 | 4 | 0.94 |
| **42** | 0.014 | 0.03 | 61 | 6 | 0.95 |
| **43** | 0.015 | 0.04 | 94 | 4 | 0.93 |
| **44** | 0.016 | 0.05 | 82 | 8 | 0.87 |
| **45** | 0.011 | 0.02 | 89 | 6 | 0.93 |
| **46** | 0.012 | 0.06 | 96 | 6 | 0.84 |
| **47** | 0.013 | 0.03 | 97 | 6 | 0.88 |
| **48** | 0.012 | 0.02 | 56 | 4 | 0.97 |
| **49** | 0.015 | 0.04 | 90 | 8 | 0.93 |
| **50** | 0.009 | 0.05 | 87 | 6 | 0.95 |
| **51** | 0.01 | 0.06 | 85 | 8 | 0.86 |
| **52** | 0.008 | 0.03 | 89 | 4 | 0.95 |
| **53** | 0.014 | 0.04 | 60 | 2 | 0.91 |
| **54** | 0.015 | 0.05 | 72 | 4 | 0.94 |
| **55** | 0.016 | 0.02 | 91 | 6 | 0.95 |
| **56** | 0.011 | 0.06 | 79 | 4 | 0.93 |
| **57** | 0.012 | 0.03 | 61 | 6 | 0.87 |
| **58** | 0.013 | 0.02 | 94 | 2 | 0.93 |
| **59** | 0.012 | 0.04 | 82 | 6 | 0.84 |
| **60** | 0.015 | 0.05 | 89 | 8 | 0.88 |

### 4. Uzdevums

Trīsfāžu asinhronā dzinēja rotora rotācijas frekvence ir *n*2, dzinējam pievadītā jauda *P*1, bet summārie jaudas zudumi dzinējā Δ*P* un *f*1 = 50 Hz. Aprēķināt dzinēja slīdi un lietderības koeficientu, ja tas ir dzinējs ar 2p. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.4. tabulā.

3.4. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **n2, min-1** | **P1, kW** | **ΔP, kW** | **2p** |
| **1** | 2940 | 20 | 3 | 2 |
| **2** | 2890 | 23 | 5 | 2 |
| **3** | 2880 | 26 | 1 | 2 |
| **4** | 2875 | 18 | 2 | 2 |
| **5** | 2840 | 15 | 4 | 2 |
| **6** | 1440 | 25 | 2 | 4 |
| **7** | *1430* | 25 | 4 | 4 |
| **8** | 1420 | 21 | 3 | 4 |
| **9** | 1435 | 22 | 5 | 4 |
| **10** | 980 | 18 | 4 | 6 |
| **11** | 970 | 16 | 5 | 6 |
| **12** | 960 | 19 | 4 | 6 |
| **13** | 950 | 27 | 2 | 6 |
| **14** | 720 | 20 | 3 | 8 |
| **15** | 725 | 23 | 5 | 8 |
| **16** | 730 | 26 | 1 | 8 |
| **17** | 720 | 18 | 2 | 8 |
| **18** | 575 | 15 | 4 | 10 |
| **19** | 585 | 25 | 2 | 10 |
| **20** | 580 | 25 | 4 | 10 |
| **21** | 570 | 21 | 3 | 10 |
| **22** | 2940 | 22 | 5 | 2 |
| **23** | 2890 | 18 | 3 | 2 |
| **24** | 2880 | 16 | 5  3.4. tabulas turpinājums | 2 |
| **25** | 2875 | 19 | 4 | 2 |
| **26** | 2840 | 27 | 2 | 2 |
| **27** | 1440 | 20 | 3 | 4 |
| **28** | *1430* | 23 | 5 | 4 |
| **29** | 1420 | 26 | 1 | 4 |
| **30** | 1435 | 18 | 2 | 4 |
| **31** | 980 | 15 | 4 | 6 |
| **32** | 970 | 25 | 2 | 6 |
| **33** | 960 | 25 | 4 | 6 |
| **34** | 950 | 21 | 3 | 6 |
| **35** | 720 | 22 | 5 | 8 |
| **36** | 725 | 18 | 3 | 8 |
| **37** | 730 | 16 | 5 | 8 |
| **38** | 720 | 19 | 4 | 8 |
| **39** | 575 | 27 | 2 | 10 |
| **40** | 585 | 20 | 3 | 10 |
| **41** | 580 | 23 | 5 | 10 |
| **42** | 570 | 26 | 1 | 10 |
| **43** | 2940 | 18 | 2 | 2 |
| **44** | 2890 | 15 | 4 | 2 |
| **45** | 2880 | 25 | 2 | 2 |
| **46** | 2875 | 25 | 4 | 2 |
| **47** | 2840 | 21 | 3 | 2 |
| **48** | 1440 | 22 | 5 | 4 |
| **49** | *1430* | 18 | 3 | 4 |
| **50** | 1420 | 16 | 5 | 4 |
| **51** | 1435 | 19 | 4 | 4 |
| **52** | 980 | 27 | 2 | 6 |
| **53** | 970 | 20 | 3 | 6 |
| **54** | 960 | 23 | 5 | 6 |
| **55** | 950 | 26 | 1 | 6 |
| **56** | 720 | 18 | 2 | 8 |
| **57** | 725 | 15 | 4  3.4. tabulas turpinājums | 8 |
| **58** | 730 | 25 | 2 | 8 |
| **59** | 720 | 25 | 4 | 8 |
| **60** | 575 | 21 | 3 | 10 |

### 5. Uzdevums

Trīsfāžu īsslēgtā asinhronā dzinēja dotie tehniskie dati: PN, UN, nN, ηN, cosφN, polu pāru skaits 2p, km, kp, kI. Aprēķināt summāros jaudas zudumos dzinējā, maksimālo un palaišanas momentu, slīdi, inducētā EDS un strāvas frekvenci, palaišanas strāvu un spēku, ar kādu dzinējs notur uz tā vārpstas nostiprinātu skriemeli ar diametru d. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.5. tabulā.

3.5. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | | | | | | | | |
| **U1N, V** | **PN, kW** | **nN, min-1** | **2p** | **ηN, %** | **cosφN** | **kI** | **kp** | **km** | **d, m** |
| **1** | 380 | 16 | 1440 | 4 | 86 | 0.85 | 7 | 1.4 | 2 | 0.4 |
| **2** | 380 | 15 | 1450 | 4 | 88 | 0.89 | 6 | 1.3 | 2 | 0.3 |
| **3** | 380 | 14 | 1460 | 4 | 87 | 0.94 | 8 | 1.2 | 3 | 0.4 |
| **4** | 380 | 13 | 1465 | 4 | 89 | 0.93 | 5 | 1.3 | 4 | 0.5 |
| **5** | 380 | 16 | 1470 | 4 | 96 | 0.91 | 6 | 1.7 | 1 | 0.2 |
| **6** | 380 | 15 | 1430 | 4 | 89 | 0.87 | 8 | 0.9 | 2 | 0.6 |
| **7** | 380 | 14 | 1420 | 4 | 90 | 0.88 | 6 | 0.8 | 3 | 0.4 |
| **8** | 380 | 12 | 1410 | 4 | 97 | 0.86 | 5 | 0.7 | 2 | 0.5 |
| **9** | 380 | 17 | 1440 | 4 | 95 | 0.91 | 6 | 1.2 | 1 | 0.2 |
| **10** | 380 | 14 | 1450 | 4 | 93 | 0.85 | 8 | 1.4 | 2 | 0.1 |
| **11** | 380 | 15 | 1460 | 4 | 95 | 0.89 | 4 | 1.3 | 3 | 0.4 |
| **12** | 380 | 13 | 1465 | 4 | 86 | 0.94 | 6 | 1.6 | 2 | 0.5 |
| **13** | 380 | 17 | 1470 | 4 | 88 | 0.93 | 9 | 1.5 | 1 | 0.2 |
| **14** | 380 | 18 | 1430 | 4 | 87 | 0.91 | 8 | 1.4 | 2 | 0.4 |
| **15** | 380 | 13 | 1420 | 4 | 89 | 0.87 | 7 | 1.3 | 3 | 0.3 |
| **16** | 380 | 16 | 1410 | 4 | 96 | 0.88 | 6 | 1.2 | 2 | 0.4 |
| **17** | 380 | 15 | 1440 | 4 | 89 | 0.86 | 7 | 1.3 | 1 | 0.5 |
| **18** | 380 | 14 | 1450 | 4 | 90 | 0.91  3.5. tabulas turpinājums | 6 | 1.7 | 2 | 0.2 |
| **19** | 380 | 13 | 1460 | 4 | 97 | 0.85 | 8 | 0.9 | 2 | 0.6 |
| **20** | 380 | 16 | 1465 | 4 | 95 | 0.89 | 5 | 0.8 | 2 | 0.4 |
| **21** | 380 | 15 | 1470 | 4 | 93 | 0.94 | 6 | 0.7 | 3 | 0.5 |
| **22** | 380 | 14 | 1430 | 4 | 95 | 0.93 | 8 | 1.2 | 4 | 0.2 |
| **23** | 380 | 12 | 1420 | 4 | 86 | 0.91 | 6 | 1.4 | 1 | 0.1 |
| **24** | 380 | 17 | 1410 | 4 | 88 | 0.87 | 5 | 1.3 | 2 | 0.4 |
| **25** | 380 | 14 | 1440 | 4 | 87 | 0.88 | 6 | 1.6 | 3 | 0.5 |
| **26** | 380 | 15 | 1450 | 4 | 89 | 0.86 | 8 | 1.5 | 2 | 0.2 |
| **27** | 380 | 13 | 1460 | 4 | 96 | 0.91 | 4 | 1.4 | 1 | 0.4 |
| **28** | 380 | 17 | 1465 | 4 | 89 | 0.85 | 6 | 1.3 | 2 | 0.3 |
| **29** | 380 | 18 | 1470 | 4 | 90 | 0.89 | 9 | 1.2 | 3 | 0.4 |
| **30** | 380 | 13 | 1430 | 4 | 97 | 0.94 | 8 | 1.3 | 2 | 0.5 |
| **31** | 380 | 16 | 1420 | 4 | 95 | 0.93 | 7 | 1.7 | 1 | 0.2 |
| **32** | 380 | 15 | 1410 | 4 | 93 | 0.91 | 6 | 0.9 | 2 | 0.6 |
| **33** | 380 | 14 | 1440 | 4 | 95 | 0.87 | 7 | 0.8 | 3 | 0.4 |
| **34** | 380 | 13 | 1450 | 4 | 86 | 0.88 | 6 | 0.7 | 2 | 0.5 |
| **35** | 380 | 16 | 1460 | 4 | 88 | 0.86 | 8 | 1.2 | 1 | 0.2 |
| **36** | 380 | 15 | 1465 | 4 | 87 | 0.91 | 5 | 1.4 | 2 | 0.1 |
| **37** | 380 | 14 | 1470 | 4 | 89 | 0.85 | 6 | 1.3 | 2 | 0.4 |
| **38** | 380 | 12 | 1430 | 4 | 96 | 0.89 | 8 | 1.6 | 2 | 0.5 |
| **39** | 380 | 17 | 1420 | 4 | 89 | 0.94 | 6 | 1.5 | 3 | 0.2 |
| **40** | 380 | 14 | 1410 | 4 | 90 | 0.93 | 5 | 1.4 | 4 | 0.4 |
| **41** | 380 | 15 | 1440 | 4 | 97 | 0.91 | 6 | 1.3 | 1 | 0.3 |
| **42** | 380 | 13 | 1450 | 4 | 95 | 0.87 | 8 | 1.2 | 2 | 0.4 |
| **43** | 380 | 17 | 1460 | 4 | 93 | 0.88 | 4 | 1.3 | 3 | 0.5 |
| **44** | 380 | 18 | 1465 | 4 | 95 | 0.86 | 6 | 1.7 | 2 | 0.2 |
| **45** | 380 | 13 | 1470 | 4 | 86 | 0.91 | 9 | 0.9 | 1 | 0.6 |
| **46** | 380 | 16 | 1430 | 4 | 88 | 0.85 | 8 | 0.8 | 2 | 0.4 |
| **47** | 380 | 15 | 1420 | 4 | 87 | 0.89 | 7 | 0.7 | 3 | 0.5 |
| **48** | 380 | 14 | 1410 | 4 | 89 | 0.94 | 6 | 1.2 | 2 | 0.2 |
| **49** | 380 | 13 | 1440 | 4 | 96 | 0.93 | 7 | 1.4 | 1 | 0.1 |
| **50** | 380 | 16 | 1450 | 4 | 89 | 0.91 | 6 | 1.3 | 2 | 0.4 |
| **51** | 380 | 15 | 1460 | 4 | 90 | 0.87  3.5. tabulas turpinājums | 8 | 1.6 | 3 | 0.5 |
| **52** | 380 | 14 | 1465 | 4 | 97 | 0.88 | 5 | 1.5 | 2 | 0.2 |
| **53** | 380 | 12 | 1470 | 4 | 95 | 0.86 | 6 | 1.4 | 1 | 0.4 |
| **54** | 380 | 17 | 1430 | 4 | 93 | 0.91 | 8 | 1.3 | 2 | 0.3 |
| **55** | 380 | 14 | 1420 | 4 | 95 | 0.85 | 6 | 1.2 | 2 | 0.4 |
| **56** | 380 | 15 | 1410 | 4 | 86 | 0.89 | 5 | 1.3 | 2 | 0.5 |
| **57** | 380 | 13 | 1440 | 4 | 88 | 0.94 | 6 | 1.7 | 3 | 0.2 |
| **58** | 380 | 17 | 1450 | 4 | 87 | 0.93 | 8 | 0.9 | 4 | 0.6 |
| **59** | 380 | 18 | 1460 | 4 | 89 | 0.91 | 4 | 0.8 | 1 | 0.4 |
| **60** | 380 | 13 | 1465 | 4 | 96 | 0.87 | 6 | 0.7 | 2 | 0.5 |

### 6. Uzdevums

Aprēķināt reaktora induktīvo pretestību asinhronā dzinēja palaišanai, ja tā dati ir: *PN*, *kI*, cos*φN*, *ηN*. Dzinējam ir īsslēgts rotors, tā statora tinums saslēgts zvaigznē un tīkla nominālais līnijas spriegums *UN* = 380 V un *kr* = 0.65. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.6. tabulā.

3.6. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | | | |
| **PN, kW** | **kI** | **cosφN** | **UN, V** | **ηN** |
| **1** | 60 | 6 | 0.85 | 380 | 0.86 |
| **2** | 65 | 6 | 0.89 | 380 | 0.88 |
| **3** | 45 | 8 | 0.94 | 380 | 0.87 |
| **4** | 65 | 5 | 0.93 | 380 | 0.89 |
| **5** | 45 | 6 | 0.91 | 380 | 0.96 |
| **6** | 56 | 8 | 0.87 | 380 | 0.89 |
| **7** | 47 | 6 | 0.88 | 380 | 0.9 |
| **8** | 64 | 5 | 0.86 | 380 | 0.97 |
| **9** | 63 | 6 | 0.91 | 380 | 0.95 |
| **10** | 55 | 8 | 0.85 | 380 | 0.93 |
| **11** | 41 | 4 | 0.89 | 380 | 0.95 |
| **12** | 48 | 6 | 0.94 | 380 | 0.86 |
| **13** | 59 | 9 | 0.93 | 380  3.6. tabulas turpinājums | 0.88 |
| **14** | 51 | 8 | 0.91 | 380 | 0.87 |
| **15** | 44 | 7 | 0.87 | 380 | 0.89 |
| **16** | 47 | 6 | 0.88 | 380 | 0.96 |
| **17** | 58 | 7 | 0.86 | 380 | 0.89 |
| **18** | 62 | 6 | 0.91 | 380 | 0.9 |
| **19** | 57 | 8 | 0.85 | 380 | 0.97 |
| **20** | 60 | 5 | 0.89 | 380 | 0.95 |
| **21** | 65 | 6 | 0.94 | 380 | 0.93 |
| **22** | 45 | 8 | 0.93 | 380 | 0.95 |
| **23** | 65 | 6 | 0.91 | 380 | 0.86 |
| **24** | 45 | 5 | 0.87 | 380 | 0.88 |
| **25** | 56 | 6 | 0.88 | 380 | 0.87 |
| **26** | 47 | 8 | 0.86 | 380 | 0.89 |
| **27** | 64 | 4 | 0.91 | 380 | 0.96 |
| **28** | 63 | 6 | 0.85 | 380 | 0.89 |
| **29** | 55 | 9 | 0.89 | 380 | 0.9 |
| **30** | 41 | 8 | 0.94 | 380 | 0.97 |
| **31** | 48 | 7 | 0.93 | 380 | 0.95 |
| **32** | 59 | 6 | 0.91 | 380 | 0.93 |
| **33** | 51 | 7 | 0.87 | 380 | 0.95 |
| **34** | 44 | 6 | 0.88 | 380 | 0.86 |
| **35** | 47 | 8 | 0.86 | 380 | 0.88 |
| **36** | 58 | 5 | 0.91 | 380 | 0.87 |
| **37** | 62 | 6 | 0.85 | 380 | 0.89 |
| **38** | 57 | 8 | 0.89 | 380 | 0.96 |
| **39** | 60 | 6 | 0.94 | 380 | 0.89 |
| **40** | 65 | 5 | 0.93 | 380 | 0.9 |
| **41** | 45 | 6 | 0.91 | 380 | 0.97 |
| **42** | 65 | 8 | 0.87 | 380 | 0.95 |
| **43** | 45 | 4 | 0.88 | 380 | 0.93 |
| **44** | 56 | 6 | 0.86 | 380 | 0.95 |
| **45** | 47 | 9 | 0.91 | 380 | 0.86 |
| **46** | 64 | 8 | 0.85 | 380  3.6. tabulas turpinājums | 0.88 |
| **47** | 63 | 7 | 0.89 | 380 | 0.87 |
| **48** | 55 | 6 | 0.94 | 380 | 0.89 |
| **49** | 41 | 7 | 0.93 | 380 | 0.96 |
| **50** | 48 | 6 | 0.91 | 380 | 0.89 |
| **51** | 59 | 8 | 0.87 | 380 | 0.9 |
| **52** | 51 | 5 | 0.88 | 380 | 0.97 |
| **53** | 44 | 6 | 0.86 | 380 | 0.95 |
| **54** | 47 | 8 | 0.91 | 380 | 0.93 |
| **55** | 58 | 6 | 0.85 | 380 | 0.95 |
| **56** | 62 | 5 | 0.89 | 380 | 0.86 |
| **57** | 57 | 6 | 0.94 | 380 | 0.88 |
| **58** | 54 | 8 | 0.93 | 380 | 0.87 |
| **59** | 46 | 4 | 0.91 | 380 | 0.89 |
| **60** | 48 | 6 | 0.87 | 380 | 0.96 |

### 7. Uzdevums

Aprēķināt autotransformatora jaudu trīsfāžu īsslēgtā asinhronā dzinēja palaišanai, ja tā dotie dati ir sekojoši: *PN*, *IN*, *nN*, *kI*, cos*φN*, *ηN*, *kp* = 1, samazinot tīkla spriegumu no 380 V līdz 220 V. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.7. tabulā.

3.7. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **PN, kW** | **IN, A** | **kI** | **cosφN** | **nN, min-1** | **ηN** |
| **1** | 40 | 75 | 7 | 0.91 | 2940 | 0.89 |
| **2** | 34 | 65 | 6 | 0.89 | 2960 | 0.88 |
| **3** | 45 | 45 | 8 | 0.94 | 2950 | 0.87 |
| **4** | 43 | 65 | 5 | 0.93 | 2940 | 0.89 |
| **5** | 42 | 45 | 6 | 0.91 | 2930 | 0.96 |
| **6** | 41 | 56 | 8 | 0.87 | 2980 | 0.89 |
| **7** | 36 | 47 | 6 | 0.88 | 2970 | 0.9 |
| **8** | 38 | 64 | 5 | 0.86 | 2920 | 0.97 |
| **9** | 39 | 63 | 6 | 0.91 | 2910  3.7. tabulas turpinājums | 0.95 |
| **10** | 42 | 55 | 8 | 0.85 | 2990 | 0.93 |
| **11** | 47 | 41 | 4 | 0.89 | 2940 | 0.95 |
| **12** | 41 | 48 | 6 | 0.94 | 2960 | 0.86 |
| **13** | 43 | 59 | 9 | 0.93 | 2950 | 0.88 |
| **14** | 48 | 51 | 8 | 0.91 | 2940 | 0.87 |
| **15** | 37 | 44 | 7 | 0.87 | 2930 | 0.89 |
| **16** | 46 | 47 | 6 | 0.88 | 2980 | 0.96 |
| **17** | 40 | 58 | 7 | 0.86 | 2970 | 0.89 |
| **18** | 34 | 62 | 6 | 0.91 | 2920 | 0.9 |
| **19** | 45 | 57 | 8 | 0.85 | 2910 | 0.97 |
| **20** | 43 | 60 | 5 | 0.89 | 2990 | 0.95 |
| **21** | 42 | 65 | 6 | 0.94 | 2940 | 0.93 |
| **22** | 41 | 45 | 8 | 0.93 | 2960 | 0.95 |
| **23** | 36 | 65 | 6 | 0.91 | 2950 | 0.86 |
| **24** | 38 | 45 | 5 | 0.87 | 2940 | 0.88 |
| **25** | 39 | 56 | 6 | 0.88 | 2930 | 0.87 |
| **26** | 42 | 47 | 8 | 0.86 | 2980 | 0.89 |
| **27** | 47 | 64 | 4 | 0.91 | 2970 | 0.96 |
| **28** | 41 | 63 | 6 | 0.85 | 2920 | 0.89 |
| **29** | 43 | 55 | 9 | 0.89 | 2910 | 0.9 |
| **30** | 48 | 41 | 8 | 0.94 | 2990 | 0.97 |
| **31** | 37 | 48 | 7 | 0.93 | 2940 | 0.95 |
| **32** | 46 | 59 | 6 | 0.91 | 2960 | 0.93 |
| **33** | 40 | 51 | 7 | 0.87 | 2950 | 0.95 |
| **34** | 34 | 44 | 6 | 0.88 | 2940 | 0.86 |
| **35** | 45 | 47 | 8 | 0.86 | 2930 | 0.88 |
| **36** | 43 | 58 | 5 | 0.91 | 2980 | 0.87 |
| **37** | 42 | 62 | 6 | 0.85 | 2970 | 0.89 |
| **38** | 41 | 57 | 8 | 0.89 | 2920 | 0.96 |
| **39** | 36 | 60 | 6 | 0.94 | 2910 | 0.89 |
| **40** | 38 | 65 | 5 | 0.93 | 2990 | 0.9 |
| **41** | 39 | 45 | 6 | 0.91 | 2940 | 0.97 |
| **42** | 42 | 65 | 8 | 0.87 | 2960  3.7. tabulas turpinājums | 0.95 |
| **43** | 47 | 45 | 4 | 0.88 | 2950 | 0.93 |
| **44** | 41 | 56 | 6 | 0.86 | 2940 | 0.95 |
| **45** | 43 | 47 | 9 | 0.91 | 2930 | 0.86 |
| **46** | 48 | 64 | 8 | 0.85 | 2980 | 0.88 |
| **47** | 37 | 63 | 7 | 0.89 | 2970 | 0.87 |
| **48** | 46 | 55 | 6 | 0.94 | 2940 | 0.89 |
| **49** | 40 | 41 | 7 | 0.93 | 2960 | 0.96 |
| **50** | 34 | 48 | 6 | 0.91 | 2950 | 0.89 |
| **51** | 45 | 59 | 8 | 0.87 | 2940 | 0.9 |
| **52** | 43 | 51 | 5 | 0.88 | 2930 | 0.97 |
| **53** | 42 | 44 | 6 | 0.86 | 2980 | 0.95 |
| **54** | 41 | 47 | 8 | 0.91 | 2970 | 0.93 |
| **55** | 36 | 58 | 6 | 0.85 | 2920 | 0.95 |
| **56** | 38 | 62 | 5 | 0.89 | 2910 | 0.86 |
| **57** | 39 | 57 | 6 | 0.94 | 2990 | 0.88 |
| **58** | 42 | 54 | 8 | 0.93 | 2940 | 0.87 |
| **59** | 47 | 46 | 4 | 0.91 | 2960 | 0.89 |
| **60** | 41 | 48 | 6 | 0.87 | 2950 | 0.96 |

### 8. Uzdevums

Aprēķināt, kā izmainās asinhronā dzinēja maksimālais griezes moments un pārslodzes spēja, tīkla spriegumam *U*1 samazinoties par X, % salīdzinājumā ar tā nominālo spriegumu *U*1*N*, ja dzinēja pārslodzes spēja ir *kp*. Variantam atbilstoši izejas dati doti 3.8. tabulā.

3.8. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varianti** | **Dotie lielumi** | | **Varianti** | **Dotie lielumi** | |
| **kp** | **X, %** | **kp** | **X, %** |
| **1** | 2 | 30 | **31** | 2 | 32 |
| **2** | 1.9 | 31 | **32** | 1.9 | 33 |
| **3** | 1.8 | 32 | **33** | 1.8 | 34 |
| **4** | 1.8 | 33 | **34** | 1.8  3.8. tabulas turpinājums | 35 |
| **5** | 1.7 | 34 | **35** | 1.7 | 36 |
| **6** | 1.6 | 35 | **36** | 1.6 | 37 |
| **7** | 1.5 | 36 | **37** | 1.5 | 38 |
| **8** | 1.9 | 37 | **38** | 1.9 | 29 |
| **9** | 2 | 38 | **39** | 2 | 28 |
| **10** | 2.1 | 29 | **40** | 2.1 | 27 |
| **11** | 2.2 | 28 | **41** | 2.2 | 26 |
| **12** | 2.3 | 27 | **42** | 2.3 | 25 |
| **13** | 2.4 | 26 | **43** | 2.4 | 30 |
| **14** | 2.5 | 25 | **44** | 2.5 | 31 |
| **15** | 2.6 | 30 | **45** | 2.6 | 32 |
| **16** | 2 | 31 | **46** | 2 | 33 |
| **17** | 1.9 | 32 | **47** | 1.9 | 34 |
| **18** | 1.8 | 33 | **48** | 1.8 | 35 |
| **19** | 1.8 | 34 | **49** | 1.8 | 36 |
| **20** | 1.7 | 35 | **50** | 1.7 | 37 |
| **21** | 1.6 | 36 | **51** | 1.6 | 38 |
| **22** | 1.5 | 37 | **52** | 1.5 | 29 |
| **23** | 1.9 | 38 | **53** | 1.9 | 28 |
| **24** | 2 | 29 | **54** | 2 | 27 |
| **25** | 2.1 | 28 | **55** | 2.1 | 26 |
| **26** | 2.2 | 27 | **56** | 2.2 | 25 |
| **27** | 2.3 | 26 | **57** | 2.3 | 30 |
| **28** | 2.4 | 25 | **58** | 2.4 | 31 |
| **29** | 2.5 | 30 | **59** | 2.5 | 32 |
| **30** | 2.6 | 31 | **60** | 2.6 | 33 |

# 4. sinhronās mašīnas

## 4.1. Sinhronās mašīnas uzbūve

Par sinhrono mašīnu sauc tādu maiņstrāvas mašīnu, kuras rotors darba režīmā griežas vienādā ātrumā, t.i., sinhroni ar statora tinumā plūstošo strāvu radīto rotējošo magnētisko plūsmu. Tātad sinhronās mašīnas rotora griešanās ātrums *n* atkarīgs tikai no mašīnas polu pāru skaitu *p* un tīkla maiņstrāvas frekvences *f*:

 (4.1.)

Ar frekvenci *f* = 50 Hz = const arī rotora griešanās ātrums *n* = const, kas ir šo mašīnu raksturīgākā iezīme: utt.

Sinhrono mašīnu var darbināt gan kā ģeneratoru, gan kā dzinēju. Sinhrono mašīnu izmantošanas iespējas:

1. galvenokārt kā trīsfāzu sinhronos ģeneratorus termiskajās un hidroelektrostacijas elektriskās enerģijas ražošanai;

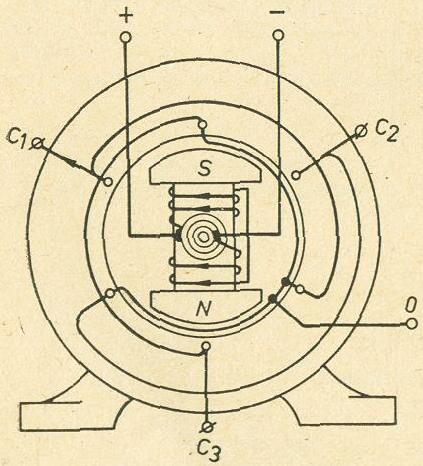
2. kā sinhronos dzinējus ar visai dažādām jaudām tādu mehānismu elektropiedziņai, kuru griešanās ātrumu neregulē (*n* = const);

3. kā sinhronos kompensatorus energosistēmās reaktīvās jaudas ģenerēšanai.

Praksē izmanto gandrīz tikai trīsfāzu sinhronās ma­šīnas, jo vienfāzes sinhronajām mašīnām ir daudz trūkumu - lielāki izmēri, dārgākas vienai un tai pašai jaudai u.c.

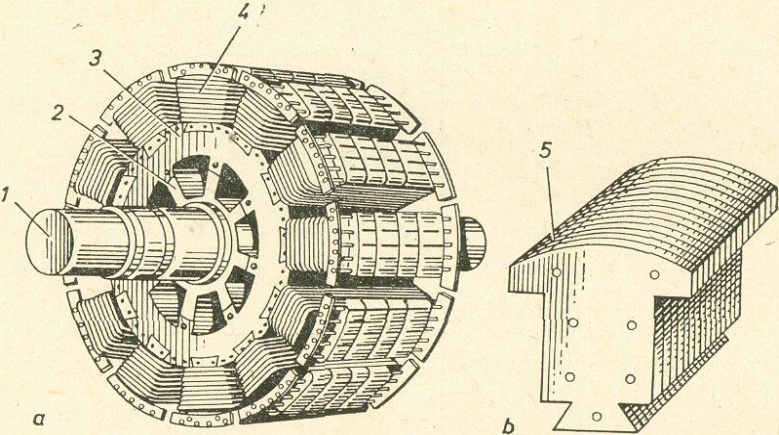
Sinhronajā mašīnā atšķirībā no asinhronās ierosmes plūsmu, kas inducē EDS, rada mašīnas ierosmes tinumā plūstošā līdzstrāva, ko pievada no atsevišķa avota. Vienīgi mazjaudas sin­hronajās mašīnās ierosmes plūsmu rada pastāvīgie magnēti. Sinhronais ģenerators sastāv no nekustīgās daļas - statora, kura rievās ievietots trīsfāzu maiņ­strāvas tinums un rotējošās da­ļas - rotora, kas būtībā ir elektro­magnēts (4.1. att.).

Rotora ierosmes tinumā plūst līdzstrāva, kuru caur sukām un kontaktgredzeniem pievada no ierosinātāja - līdzstrāvas mašī­nas vai taisngrieža. Sinhronā ģeneratora rotoru, kas atrodas statora iekšienē, griež primārais dzinējs. Rotora magnētiskais lauks šķeļ statora trīsfāzu tinuma vijumus un inducē tajos maiņstrāvas EDS.



4.1. att. Trīsfāzu sinhronā ģeneratora uzbūves shēma.

Dažās sinhrono ģeneratoru konstrukcijās polu tinumi ir nekus­tīgi un piestiprināti pie statora, bet griežas trīsfāzu maiņstrāvas tinums, kas ievietots no elektrotehniskā tērauda skārdiem salikta cilindriska rotora rievās. Būtiskais trūkums, kas ierobežo šādu ģeneratoru lietošanu ir tas, ka maiņstrāvas aizvadīšanai nepieciešams slīdošais kontakts. Sinhronas mašīnas galvenās sastāvdaļas ir stators un rotors (4.2. att.). Stators ir dobs cilindrisks ķermenis, kas salikts no elektrotehniskā skārda gredzeniem. Statora iekšējā cilindriskajā virsmā izveidotajās aksiāla virziena vaļējās vai pusslēgtās taisnstūrveida rievās ievietots trīsfāzu tinums, kuru pievieno trīsfāzu strāvas tīklam. Sinhronās mašīnas stators nostiprināts čuguna vai tērauda apvalkā. Sinhrono mašīnu rotoru konstruktīvais izveidojums ir divējāds: ar izvirzītajiem poliem un ar neiz­virzītajiem poliem.



4.2. att. Izvirzīto polu sinhronās mašīnas rotors: a - kopskats; b - pola serde;

1 - vārpsta; 2 - rotora spieķi; 3 - pola jūgs; 4 - ierosmes tinumi; 5 - pola uzgalis.

Uz katra pola serdes ir novietota ierosmes spole. Uz polu serdēm novietotās, virknē saslēgtās ierosmes spoles veido sin­hronās mašīnas ierosmes tinumu. Šī tinuma abi brīvie gali pievienoti diviem uz mašīnas vārpstas cieši nostiprinātiem izolētiem vara kontaktgredzeniem, kuru cilindriskajai virsmai īpaši nekustīgi suku turētāji piespiež sukas.

Ar šo slīdošo kontaktu - suku un kontaktgredzenu starp­niecību, mašīnas ierosmes tinumam no atsevišķa avota pievada līdzstrāvu, ko sauc par ierosmes strāvu un apzīmē ar *Iie*. Lai ar nelielu ierosmes strāvu iegūtu pietiekami lielu magnetizē­jošo spēku, tad no izolēta vara vada izgatavotajām polu ierosmes spolēm ir daudz vijumu. Ierosmes tinuma plūstoša ierosmes strāva *Iie* rada rotora jeb ierosmes plūsmu Ф*ie*.

Rotori ar izvirzītajiem poliem ir tikai lēni rotējošam sinhro­najām mašīnām, kuru griešanās ātrums *n* < 1500 apgr./min: hidroģeneratoriem, dīzelģeneratoriem un sinhronajiem dzinējiem.

Ātri rotējošām sinhronajam mašīnām izvirzīto polu konstruk­cija nenodrošina pietiekamu rotora mehānisko izturību. Tāpēc griešanās ātrumiem n >1500 apgr./min izmanto rotorus ar neizvir­zītajiem poliem. Rotors ar neizvirzītajiem poliem ir tērauda cilindrs, kura virsma izfrēzētajās aksiāla virziena rievās ievietots ierosmes tinums.

Sinhronās mašīnas statora tinuma polu skaits vienmēr vienāds ar rotora polu skaitu. Sinhronā ģeneratora darbības pamatā ir elektromagnētiskā indukcija. Ja ģeneratora vārpstu griež kāds primārais dzinējs (parasti turbīna) un ja ierosmes (rotora) tinumā plūst ierosmes strāva *Ii*, tad, ģeneratora rotoram rotējot, rotora ierosmes plūsma šķeļ statora tinuma vadus un tādēļ katrā statora fāzē inducējas periodiski mainīgs EDS: *EA = EB = EC = EN*. Šie EDS nobīdīti fāzē viens pret otru par 120°, tātad veido simetrisku trīsfāzu EDS sistēmu.

Sinhronās mašīnas ierosmes tinumu parasti baro neliels līdz­strāvas ģenerators (ierosinātājs), kas novietots uz sinhronās mašīnas vārpstas (svešierosme). Mazas jaudas lēni rotējošiem ģeneratoriem izmanto atsevišķu ierosinātāju, ko pārvads sajūdz ar ģeneratora vārpstu. Ierosinātāja jauda ir 0,3—3% no sinhronās mašīnas nominālās jaudas, sprie­gums līdz 450 V.

Kā ierosinātāju lieto līdzstrāvas paralēlās ierosmes ģenera­toru. Sinhronā ģeneratora ierosmes strāvu *Ii* var mainīt ar ierosi­nātāja ierosmes ķēdē ieslēgtu regulēšanas reostatu *rr*. Ierosinātāja enkura spailes ar nekustīgu suku un divu kontaktgredzenu palīdzību savienotas ar sinhronās mašīnas ierosmes tinumu. Mazas un vidējas jaudas sinhronajiem ģeneratoriem izveido pašierosmi, t. i., ierosmes tinumu baro pusvadītāju taisngriezis, kas maiņstrāvu saņem caur vienfāzes trans­formatoru no sinhronā ģeneratora statora.

Visizplatītākais maiņstrāvas mašīnu statora tinuma veids ir divslāņu tinums ar saīsinātu soli. Trīsfāzu sinhronā ģeneratora statora tinumus raksturo šādi parametri:

*Z —* statora rievu skaits;

*m —* statora fāzu skaits;

*p —* polu pāru skaits;

*q* — rievu skaits uz vienu polu un fāzi:

 (4.2.)

τ — attālums starp polu centriem (pola iedaļa):

 (4.3.)

*y —* tinuma solis, jeb spoles platums;

*y*t *—* fāzes solis, kas norāda attālumu starp blakus fāzu sākumiem:

 (4.4.)

*y* un *y*f parasti izsaka pola iedaļas daļās vai ar rievu skaitu;

α — leņķis starp rievām elektriskajos grādos:

 (4.5.)

Izšķir ģeometriskos un elektriskos grādus. Vispārīgā gadījumā viens ģeometriskais grāds atbilst *p* elektriskajiem grādiem. Divpolu mašīnā vienam apgriezienam atbilst viens maiņstrāvas periods, t. i., arī EDS vektors izdara vienu apgriezienu. Daudzpolu mašīnā ar polu skaitu *2p* viens rotora apgrieziens atbilst *p* periodiem, t. i, ja rotors izdara vienu apgriezienu, EDS vektors izdara *p* apgriezienus. Pola iedaļa vienmēr vienāda ar 180 elektriskajiem grādiem.

**4.1. Piemērs.** Trīsfāzu sinhronā ģeneratora statora rievu skaits ir Z = 72, polu pāru skaits 2p = 6, Noteikt q - rievu skaitu uz vienu polu un fāzi, τ – attālumu starp polu centriem (pola iedaļu), yf – fāzes soli, kas norāda attālumu starp blakus fāzu sākumiem, α - leņķi starp rievām elektriskajos grādos un to pašu leņķi ģeometriskajos (reālajos) grādos.

Atrisinājums.

1. Rievu skaits uz vienu polu un fāzi:



2. Attālums starp polu centriem jeb pola iedaļa:



3. Fāzes solis, kas norāda attālumu starp blakus fāzu sākumiem:



4. Leņķis starp rievām elektriskajos grādos:



Pārbaude: pola iedaļa τ vienmēr vienāda ar 180 elektriskajiem grādiem α: 

5. Leņķis starp rievām ģeometriskajos grādos (viens ģeometriskais grāds atbilst p elektriskajiem grādiem):



## 4.2. Sinhronā ģeneratora tukšgaita

Ģeneratora tukšgaitā statora ķēde ir pārtraukta, t. i., patērē­tāji ir atslēgti un statora tinumā strāva neplūst (*I* = 0). Ģenera­torā tad pastāv tikai ierosmes strāvas *Ii* radītā ierosmes plūsma Φ*i*, kura inducē statora tinuma katrā fāzē tukšgaitas EDS *E*0.

Ģeneratoriem izvirza prasību, lai statora inducētais EDS būtu iespējami tuvs sinusoidālam EDS. Tā kā nesinusoidāls EDS sa­tur augstākās harmoniskas, tad novirzīšanās no sinusoidālās EDS līknes formas ir saistīta ar papildu zudumiem ģeneratoros, tā sekmē pārspriegumu rašanos pārvades līnijās, nevēlami ietekmē tuvumā esošās sakaru līnijas utt.

Lai statora tinumā iegūtu sinusoidālu EDS, tad magnētiskajai indukcijai *B*0 gaisa spraugā starp rotoru un statoru jāmainās pēc līknes, kas iespējami tuva sinusoīdai.

Mašīnās ar izvirzītajiem poliem sinusoīdai tuvu indukcijas Ф līkni nodrošina īpašas formas polu kurpes (pola kurpes malās gaisa sprauga apm. 1,5 reizes lielāka nekā tās vidusdaļā). Mašīnās ar neizvirzītajiem poliem to pašu sasniedz, izvēloties tādu attiecību starp rotora aploces daļu, ko neaizņem rievas, un aploces daļu, ko aizņem rievas, lai indukcijas B0 trapecveida līkne saturētu iespējami mazāk aug­stāko harmoniku. Tad statorā inducēto EDS var uzskatīt par sinusoidālu kā ģeneratora tukšgaitas, tā arī darba režīmā.

Tukšgaitas režīmā statora tinuma vienā fāzē inducētā EDS efektīvo vērtību *E*0 aprēķina pēc tādas pašas izteiksmes kā trans­formatora vai asinhronās mašīnas statora fāzē inducēto EDS:

*E*0 = 4,44*wf*Φ*ik*, (4.6.)

kur *w* - vijumu skaits ģeneratora statora vienā fāzē;

Φ*i* - rotora viena pola magnētiskā plūsma;

*k* - statora tinuma koeficients. Ievērojot izteiksmi (4.1),  vai, apzīmējot 

*E*0 = *cn*Φ*i*. (4.7.)

Tātad tukšgaitā sinhronā ģeneratora EDS *E*0 proporcionāls rotora pola plūsmai, t. i., EDS ir atkarīgs tikai no ierosmes strāvas *Ii*, jo *n* = const.

Sakarības *E*0 = *f*(*Ii*) grafisko attēlu, ja *n = nn* = const un *I* = 0, sauc par ģeneratora tukšgaitas raksturlīkni. To parasti iegūst eksperimentāli. Tā kā *I* = 0, tad ģe­neratora EDS *E*0 var izmērīt ar ģeneratora statora fāzes spailēm pievienotu voltmetru.

Histerēzes dēļ iegūst līknes divus zarus - kāpjošo un lejupejošo. Tomēr sinhronajām mašīnām šie zari ir tik tuvu viens otram, ka par tukšgaitas raksturlīkni pieņem vidējo starp abiem zariem. Tukšgaitas raksturlīkne ir līdzīga magnetizēšanas līknei un citā mērogā attēlo ierosmes plūsmas Φi atkarību no ierosmes strāvas, t. i., Φ*i* = *f*(*Ii*).

## 4.3. Enkura reakcija

Ja sinhronajam ģeneratoram pievieno nemainīgu simetrisku slodzi, tad statora trīsfāzu tinumā plūst slodzes strāvas *I*. Ģeneratora rezultējošo magnētisko plūsmu Φ tad rada rotora ierosmes tinuma un statora tinuma magnetizējošo spēku kopīga darbība.

Ja sinhronā ģeneratora rotora ierosmes tinumu pievieno līdz­strāvas avotam un rotoru griež (ar primāro dzinēju) ar ātrumu *n*2, tad rotora polu magnētiskā plūsma Φ*i*, kas rotē ar to pašu ātrumu *n*2, šķeļ statora tinuma vadus un inducē tajos EDS ar frekvenci  Slogotā ģeneratorā statora trīsfāzu strāva rada statora rotē­jošo plūsmu Φe, kuras rotācijas ātrums pret statoru ir  Redzam, ka *n*1 = *n*2 = *n*, t. i., rotora un statora magnētiskās plūsmas telpā rotē ar vienu un to pašu ātrumu (sinhroni), citiem vārdiem, šīs plūsmas telpā viena pret otru ir nekustīgas un veido mašīnas rezultējošo magnētisko plūsmu Φ, kas saķēdēta ar statora un rotora tinumiem:

 (4.8.)

un kura inducē slogota ģeneratora statora tinuma katrā fāzē EDS:

*E* = 4,44*wf*Φ*k.* (4.9.)

Mainot mašīnas slodzi, mainās slodzes strāva *I* un statora plūsmas Φe skaitliskā vērtība. Statora plūsmas ass virziens pret ierosmes plūsmas ass virzienu, ir atkarīgs no slo­dzes rakstura. Sinhronās mašīnas slodzes lie­lums un raksturs nosaka arī mašīnas elektrodzinējspēka Ε skait­lisko vērtību un fāzi.

Statora magnetizējošā spēka ietekmi uz mašīnas magnētisko plūsmu sauc par enkura reakciju.

Lai izsekotu statora plūsmas ietekmei uz ierosmes plūsmu, jānosaka šo plūsmu savstarpējais stāvoklis telpā katram rak­sturīgajam slodzes režīmam. Statora fāzē indu­cētais EDS E0 sasniedz maksimālo vērtību momentā, kad šis fā­zes vadi atrodas pret rotora pola vidu. Statora plūsmas Φe ass sakrīt ar tās fāzes spoles asi, kurā pašreiz ir strāvas *I* maksi­mums.

Pie aktīvas slodzes, statora tinuma fāzes strāva *I* sakrīt fāzē ar statora fāzē inducēto EDS *E*0 (ψ = 0), t. i., statora strāva *I* un EDS *E*0 vienlaicīgi sasniedz maksimālās vērtības.

Pie induktīvas slodzes, sta­tora strāva I atpaliek fāzē no statora EDS E0 par 90° (ψ = +90°). Tādēļ Α fāzē strāva *iA = Im* momentā, kad rotora polu ass pagrie­zusies uz priekšu par 90° pret spoles A-X plakni. Plūsmu Φi un Φe virzieni tad ir pretēji, t. i., statora strāva rada atmagnetizējošu garenplūsmu, kas vājina ierosmes plūsmu. Tādēļ rezultējošā plūsma Φ un ģeneratora elektrodzinējspēks Ε ir ma­zāki.

Pie kapacitīvas slodzes, statora strāva apsteidz fāzē statora EDS E0 par 90° (ψ = - 90°). Tādēļ Α fāzē strāva *iA = Im* momentā, kad rotora polu ass atrodas 90° pirms šīs ass. Plūsmas Φe un Φi tad ir vienvirziena, t. i., statora strāva rada magnetizējošu ga­renplūsmu, kas pastiprina ierosmes plūsmu. Tādēļ rezultējošā plūsma Φ un ģeneratora EDS *Ε* ir lielāki.

Tādējādi enkura reakcija, kam pakļauti ne tikai slogoti ģene­ratori, bet ari dzinēji, neatkarīgi no rotora tipa izmaina mašīnas magnētisko plūsmu un arī statora EDS *Ε*.

Par sinhronā ģeneratora ārējām raksturlīknēm sauc līknes, kas grafiski attēlo ģeneratora spaiļu sprieguma atkarību no slodzes strāvas, ja ierosmes strāva, frekvence un jaudas koeficients ir ne­mainīgi.

Arējās raksturlīknes uzņem pie jaudas koeficienta vērtībām cos*φ* = 1 (aktīva slodze) un cos*φ* = 0,8 (induktīva un kapacitīva slodze), slodzes strāvu samazinot un palielinot.

Samazinoties ģeneratora aktīvajai slodzei (cos*φ* = 1), ģeneratora spaiļu spriegums pieaug, jo samazinās sprieguma kritums statora tinumu aktīvajā un induktīvajā pretestībā (4.3. att. *a*).

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

4.3. att. Sinhronā ģeneratora ārējās raksturlīknes: *a* – paaugstinot U; *b* – pazeminot U.

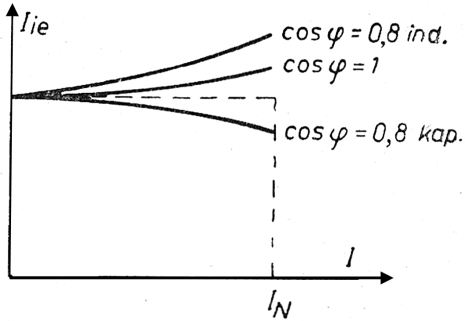
No ārējām raksturlīknēm, kas uzņem­tas, slodzes strāvu samazinot, var no­teikt ģeneratora sprieguma pieaugumu, atslēdzot nominālo slodzi.

Ja ārējās raksturlīknes uzņem, slo­dzes strāvu palielinot, ģeneratora nomi­nālo spriegumu ieregulē tukšgaitā. Pa­kāpeniski ģeneratora slodzi palielina līdz nominālajai vērtībai un pieraksta mēraparātu rādījumus. No ārējām raksturlīknēm var noteikt ģeneratora sprieguma izmaiņu, mainoties slodzei: Δ*U = UN – U*,



Par sinhronā ģeneratora regulēšanas raksturlīknēm sauc līknes, kas grafiski attēlo ierosmes strāvas atkarību no slodzes strāvas, ja frekvence, spaiļu spriegums un jaudas koeficients ir nemainīgi. Regulēšanas raksturlīkne rāda, kā jāmaina ierosmes strāva, lai, mainoties slodzei, nodrošinātu nemainīgu ģeneratora spaiļu sprie­gumu. Palielinoties aktīvai slodzei, jāpa­lielina arī ierosmes strāva (4.4. att.), jo pieaug sprieguma kritums un tā kompensācijai vajadzīgs lielāks ģene­ratora EDS.

Palielinoties aktīvi induktīvai slo­dzei, ierosmes strāva jāpalielina vēl vairāk, jo jākompensē arī enkura reakcijas atmagnetizējošā darbība. Turpretī, palielinoties aktīvi kapacitīvai slodzei, ierosmes strāva jāsama­zina, jo enkura reakcija magnetizē mašīnu.



4.4. att. Sinhronā ģeneratora regu­lēšanas raksturlīknes.

**4.2. Piemērs.** Noteikt sinhronā ģeneratora fāzes EDS vērtību un rotora sinhrono griešanās ātrumu, ja doti šādi sinhronā ģeneratora parametri: fāzes vijumu skaits w = 60; ģeneratora strāvas frekvence f = 50 Hz; tinuma koeficients kw = 0.93; magnētiskā plūsma Φ = 0.02 Wb un polu pāru skaits 2p = 4.

Atrisinājums.

1. Sinhronā ģeneratora fāzes EDS vērtība:



2. Rotors sinhronais griešanās ātrums:



## 4.4. Lietderības koeficients un zudumi

Viena enerģijas veida pārveidošana citā ir saistīta ar zudumiem. Sinhronajās mašīnās izšķir:

a) mehāniskos zudumus, ko izraisa berze gultņos, rotora berze gaisā, suku berze pret kontaktgredzeniem un ventilācijas zudumi;

b) magnētiskos zudumus statora tēraudā ΔPt (histerēzes un virpuļstrāvu zudumus);

c) ierosmes zu­dumus, ko veido ierosmes jauda Pie = IieUie un zudumi ierosinātājā;

1. elektriskos zudumus statora tinumos jeb zudumus varā ΔPV = ΔPel = mI12re75, W,

kur m - fāzu skaits;

I1 - statora tinuma fāzes strāva (A);

re75 - statora vienas fāzes tinuma aktīvā pretestība 75°C tem­peratūrā (Ω);

1. papildzudumus, ko veido virpuļstrāvu zudumi statora tinuma vados, zudumi rotora tēraudā, kurus izraisa magnētiskā lauka pul­sācijas.

Ģeneratoram lietderības koeficientu nosaka netieši pēc šādas formulas:

 (4.10.)

kur P2 - ģeneratora lietderīgā jauda ();

- kopējie zudumi mašīnā:

 (4.11.)

Dzinējam:

 (4.12.)

kur *P*1 — dzinējam pievadītā jauda ().

Izvirzīto polu sinhronās mašīnas elektromagnētiskās jaudas izteiksme:



(4.13.)

Neizvirzīto polu sinhronajai mašīnai *Xq = Xd*, un tās elektromagnētiskā jauda saskaņā ar iepriekšminēto izteiksmi :

(4.14.)



**4.3. Piemērs.** Noteikt sinhronā ģeneratora lietderības koeficientu nomi­nālās slodzes režīmā, ja SN = 500 kVA; *Ul =* 6,3 kV; cos*φN* =0,9; *Iie* = 90 Α; *Uie* = 20 V; ierosinātāja ηie = 0,9; zudumi statora tēraudā ΔΡt = 5,2 kW; papildzudumi ΔPpap = 0,5% PN; mehāniskie zudumi ΔPmeh = l% ΡN; statora fāzes tinuma aktīvā pretestība 75oC temperatūrā ir Re75 = 1,6 Ω.

Atrisinājums.

1. Ģeneratora nominālā jauda:

PN = P2 = SN cos φΝ = 500 · 0,9 = 450 kW;

2. Statora fāzes strāva:



3. Elektriskie zudumi statora tinumā:



4. Papildzudumi:

ΔPpap = 0,005 · 450 = 2,25 kW;

5. Mehāniskie zudumi:

Δ*P*meh = 0,01 · 450 = 4,5 kW;

6. Ierosmes zudumi:



7. Ģeneratora lietderības koeficients:



**4.4. Piemērs.** Noteikt trīsfāzu sinhronā ģeneratora statora fāzes strāvu un slodzes leņķi, ja doti sekojoši ģeneratora raksturlielumi: fāzes vijumu skaits w = 60; ģeneratora strāvas frekvence f = 50 Hz; nominālā jauda SN = 55 kVA; *Ul =* 380 V; cos*φN* =0,9; tinuma koeficients kw = 0.93; magnētiskā plūsma tukšgaitas režīmā Φo = 0.01 Wb un sinhronā induktīvā pretestība Xd = 0,55Ω.

Atrisinājums.

1. Ģeneratora nominālā jauda:

PN = P2 = SN cos φΝ = 55 · 0,9 = 49.5 kW;

2. Statora fāzes strāva:



3. Sinhronā ģeneratora fāzes EDS vērtība tukšgaitā:



4. Slodzes leņķa sinuss:



5. Slodzes leņķis (leņķis starp sprieguma un tukšgaitas EDS vektoriem):



## 4.5. Sinhronā dzinēja darbības princips

Tā kā sinhronā mašīna ir apgriezeniska, tad sinhronā dzinēja konstruktīvais izveidojums ir tāds pats kā sinhronajam ģenera­toram.

Sinhronā dzinēja statora tinumu pieslēdzot trīsfāzu strāvas tīklam, statora tinuma plūstošā trīsfāzu strāva rada statora mag­nētisko lauku, kas rotē ar sinhrono ātrumu *n* = 60·*f*/*p*. Rotora ieros­mes tinumu pievienojot līdzstrāvas avotam, izveidojas rotora magnētiskais lauks.

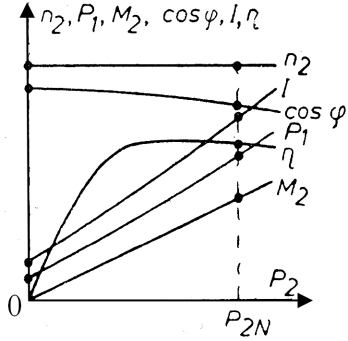
Pusperioda laikā statora magnētiskais lauks pagriežas par t. s. polu dalījumu *τ*, t. i., statora poli apmainās vietām, un uz rotoru darbojas pretēja virziena griezes moments. Vēl pēc pusperioda iestājas iepriekšējā situācija. Tādējādi uz rotoru darbojošais elektromagnētiskais griezes moments savu virzienu maina 2·50 =100 reizes sekundē, ja *f* = 50 Hz, un tādēļ rotors, kura iner­ces moments visai liels, nevar sākt griez­ties un paliek nekustīgs (palaišanas mo­ments *MP* = 0).

Statora rotējošais lauks var «vilkt līdz» rotoru tikai tad, kad rotora slīde ne­pārsniedz 5%. Tādēļ pirms ierosmes strā­vas pieslēgšanas sinhronā dzinēja rotors tā vai citādi jāiegriež līdz ātrumam, kas tuvs sinhronajam griešanās ātrumam *n*.

Pārierosināts sinhronais dzinējs atdod tīklam reaktīvo jaudu un uzlabo elek­triskās ietaises jaudas koeficientu. Tādēļ elektropiedziņai, kur vien to atļauj piedziņas režīms un pieprasītā jauda, iespējami jāiz­manto sinhronie dzinēji.

Sinhronie dzinēji ir mazāk ju­tīgi pret tīkla sprieguma svārstī­bām, jo to griezes moments M proporcionāls sprieguma pirmajai pakāpei, turpretim asin­hronajiem dzinējiem *M ~ U*2. Bez tam sinhronā dzinēja grie­šanās ātrums nav atkarīgs no slo­dzes (*n* = const). Lietderības koe­ficients sinhronajiem dzinējiem ir par 1—3% lielāks nekā tās pašas jaudas asinhronajiem dzinējiem.

Par sinhronā dzinēja darba raksturlīknēm sauc rotora griešanās ātruma *n*2, statora strāvas *I*, pievadītās jaudas *P*1 lietderīgā grie­zes momenta *M*2, jaudas koeficienta cosφ un lietderības koeficienta *η* atkarību no dzinēja atdotās jaudas *P*2, ja tīkla spriegums *Ut*, tīkla frekvence *f*1, un ierosmes strāva *Iie* ir nemainīgi (4.5. att.).



4.5. att. Sinhronā dzinēja darba raksturlīknes.

Sinhronā dzinēja darbības principa pamatā ir statora rotējošā magnētiskā lauka un rotora polu magnētiskā lauka mijiedarbība.

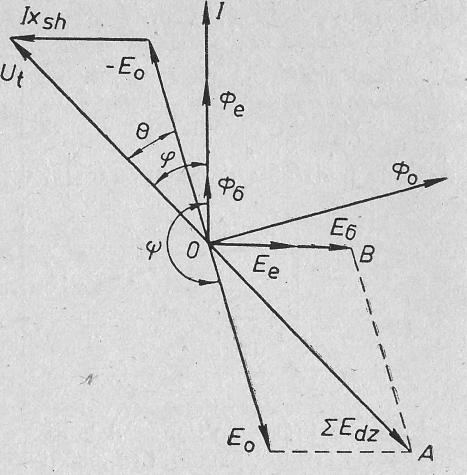
Sinhronā dzinēja statoram pievada trīsfāzu maiņstrāvu, bet ro­tora ierosmes tinumam - līdzstrāvu. Trīsfāzu maiņstrāva rada rotējošo magnētisko lauku.

Statora magnētisko sistēmu vienkāršoti var attēlot kā apļveida serdi ar izvirzītiem poliem, kura rotē ar ātrumu n1, apgr./min. Mag­nētiskās spēka līnijas saista šos polus ar pretējas polaritātes rotora poliem.

Rotoram griežoties, tā polu magnētiskā plūsma Ф0 šķeļ statora tinuma vijumus un inducē tajos EDS E0. Saskaņā ar elektrodzinējspēku līdzsvara vienādojumu dzinējam pievadīto tīkla spriegumu Ut līdzsvaro dzinēja EDS summa ΣEdz. Pamatojoties uz šo vienādojumu, konstruē sinhronā dzinēja vektoru diagrammu (4.6. zīm.). Strāvas I vektoru attēlo vertikāli. Tīkla sprieguma Ut vektoru zīmē leņķī φ no strāvas vektora apstei­dzošā virzienā. Enkura magnētiskās plūsmas Фe un izkliedes plūsmas Фσ vektori sakrīt fāzē ar strāvas vektoru. Šo plūsmu inducētie EDS Ee un Eσ atpaliek fāzē no atbilstošas plūsmas par 90° un to summa ir vienāda ar sprieguma kritumu dzi­nēja induktīvajā sinhronajā pre­testībā: Ee + Eσ = *Ix*sh. Zinot Xsh, var noteikt arī abu EDS summu.

Tā kā, pēc EDS līdzsvara vie­nādojuma, tīkla spriegums Ut līdz­svarojas ar dzinēja EDS summu, tad vektoru diagrammā zīmējam vektoru OA, kas vienāds pēc lie­luma ar tīkla sprieguma vektoru un vērsts tam pretēji. Šis vektors attēlo dzinēja EDS Edz. Zinot trīs­stūra OAB malas OA un OB, va­r atrast tā trešo malu BA, kura attēlo dzinēja pret-EDS E0 vek­toru. No vektoru diagrammas re­dzams, ka ΣEdz = Eo + Ee + Eσ.

Tīkla sprieguma Ut vektoru sadala divās komponentēs, no ku­rām katra līdzsvaro atbilstošo EDS. Diagrammā komponente - E0 līdzsvaro EDS E0, bet komponente Ixsh līdzsvaro EDS Ee un Eσ.



4.6. att. Sinhronā dzinēja vektoru diagramma.

## 4.6. Sinhrono mašīnu aprēķina uzdevumi

### 1. Uzdevums

Trīsfāzu sinhronā ģeneratora statora rievu skaits ir Z, polu pāru skaits 2p, Noteikt q - rievu skaitu uz vienu polu un fāzi, τ – attālumu starp polu centriem (pola iedaļu), yf – fāzes soli, kas norāda attālumu starp blakus fāzu sākumiem, α - leņķi starp rievām elektriskajos grādos un to pašu leņķi ģeometriskajos (reālajos) grādos. Variantam atbilstoši izejas dati doti 4.1. tabulā.

4.1. tabula

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | |
| **Varianti** | **Z, rievas** | **2p** | **m, fāzu sk.** |
| **1** | 72 | 6 | 3 |
| **2** | 36 | 2 | 3 |
| **3** | 24 | 2 | 3 |
| **4** | 36 | 6 | 3 |
| **5** | 48 | 8 | 3 |
| **6** | 60 | 10 | 3 |
| **7** | 60 | 2 | 3 |
| **8** | 36 | 6 | 3 |
| **9** | 72 | 4 | 3 |
| **10** | 120 | 2 | 3 |
| **11** | 60 | 10 | 3 |
| **12** | 24 | 8 | 3  4.1. tabulas turpinājums |
| **13** | 120 | 4 | 3 |
| **14** | 120 | 2 | 3 |
| **15** | 36 | 6 | 3 |
| **16** | 144 | 6 | 3 |
| **17** | 36 | 4 | 3 |
| **18** | 180 | 2 | 3 |
| **19** | 180 | 6 | 3 |
| **20** | 96 | 8 | 3 |
| **21** | 180 | 10 | 3 |
| **22** | 96 | 2 | 3 |
| **23** | 360 | 6 | 3 |
| **24** | 72 | 4 | 3 |
| **25** | 144 | 2 | 3 |
| **26** | 180 | 10 | 3 |
| **27** | 96 | 8 | 3 |
| **28** | 96 | 4 | 3 |
| **29** | 360 | 2 | 3 |
| **30** | 36 | 6 | 3 |
| **31** | 72 | 6 | 3 |
| **32** | 96 | 4 | 3 |
| **33** | 96 | 2 | 3 |
| **34** | 216 | 6 | 3 |
| **35** | 192 | 8 | 3 |
| **36** | 240 | 10 | 3 |
| **37** | 72 | 2 | 3 |
| **38** | 36 | 6 | 3 |
| **39** | 120 | 4 | 3 |
| **40** | 288 | 2 | 3 |
| **41** | 60 | 10 | 3 |
| **42** | 192 | 8 | 3 |
| **43** | 72 | 4 | 3 |
| **44** | 180 | 2 | 3 |
| **45** | 360 | 6 | 3  4.1. tabulas turpinājums |
| **46** | 180 | 6 | 3 |
| **47** | 180 | 4 | 3 |
| **48** | 120 | 2 | 3 |
| **49** | 144 | 6 | 3 |
| **50** | 192 | 8 | 3 |
| **51** | 180 | 10 | 3 |
| **52** | 36 | 2 | 3 |
| **53** | 180 | 6 | 3 |
| **54** | 192 | 4 | 3 |
| **55** | 144 | 2 | 3 |
| **56** | 60 | 10 | 3 |
| **57** | 120 | 8 | 3 |
| **58** | 360 | 4 | 3 |
| **59** | 180 | 2 | 3 |
| **60** | 90 | 6 | 3 |

### 2. Uzdevums

Noteikt sinhronā ģeneratora fāzes EDS vērtību un rotora sinhrono griešanās ātrumu, ja doti šādi sinhronā ģeneratora parametri: vijumu skaits w; ģeneratora strāvas frekvence f = 50 Hz; tinuma koeficients kw; magnētiskā plūsma Φ un polu pāru skaits 2p. Variantam atbilstoši izejas dati doti 4.2. tabulā.

4.2. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | |
| **Varianti** | **w, vijumi** | **2p** | **kw** | **Φ, Wb** |
| **1** | 60 | 4 | 0.93 | 0.02 |
| **2** | 55 | 2 | 0.95 | 0.01 |
| **3** | 45 | 6 | 0.97 | 0.025 |
| **4** | 56 | 8 | 0.89 | 0.03 |
| **5** | 70 | 10 | 0.9 | 0.01 |
| **6** | 63 | 6 | 0.86 | 0.015 |
| **7** | 58 | 2 | 0.93 | 0.025  4.2. tabulas turpinājums |
| **8** | 44 | 6 | 0.95 | 0.035 |
| **9** | 52 | 10 | 0.97 | 0.02 |
| **10** | 72 | 4 | 0.87 | 0.01 |
| **11** | 69 | 2 | 0.95 | 0.025 |
| **12** | 51 | 6 | 0.92 | 0.03 |
| **13** | 49 | 8 | 0.91 | 0.01 |
| **14** | 58 | 10 | 0.93 | 0.015 |
| **15** | 48 | 4 | 0.95 | 0.025 |
| **16** | 47 | 2 | 0.97 | 0.035 |
| **17** | 49 | 6 | 0.89 | 0.02 |
| **18** | 53 | 8 | 0.9 | 0.01 |
| **19** | 57 | 10 | 0.86 | 0.025 |
| **20** | 60 | 6 | 0.93 | 0.03 |
| **21** | 55 | 2 | 0.95 | 0.01 |
| **22** | 45 | 6 | 0.97 | 0.015 |
| **23** | 56 | 10 | 0.87 | 0.025 |
| **24** | 70 | 4 | 0.95 | 0.035 |
| **25** | 63 | 2 | 0.92 | 0.02 |
| **26** | 58 | 6 | 0.91 | 0.01 |
| **27** | 44 | 8 | 0.93 | 0.025 |
| **28** | 52 | 10 | 0.95 | 0.03 |
| **29** | 72 | 4 | 0.97 | 0.01 |
| **30** | 69 | 2 | 0.89 | 0.015 |
| **31** | 51 | 6 | 0.9 | 0.025 |
| **32** | 49 | 8 | 0.86 | 0.035 |
| **33** | 58 | 10 | 0.93 | 0.02 |
| **34** | 48 | 6 | 0.95 | 0.01 |
| **35** | 47 | 2 | 0.97 | 0.025 |
| **36** | 49 | 6 | 0.87 | 0.03 |
| **37** | 53 | 10 | 0.95 | 0.01 |
| **38** | 57 | 4 | 0.92 | 0.015 |
| **39** | 60 | 2 | 0.91 | 0.025 |
| **40** | 55 | 6 | 0.93 | 0.035  4.2. tabulas turpinājums |
| **41** | 45 | 8 | 0.95 | 0.02 |
| **42** | 56 | 10 | 0.97 | 0.01 |
| **43** | 70 | 4 | 0.89 | 0.025 |
| **44** | 63 | 2 | 0.9 | 0.03 |
| **45** | 58 | 6 | 0.86 | 0.01 |
| **46** | 44 | 8 | 0.93 | 0.015 |
| **47** | 52 | 10 | 0.95 | 0.025 |
| **48** | 72 | 6 | 0.97 | 0.035 |
| **49** | 69 | 2 | 0.87 | 0.02 |
| **50** | 51 | 6 | 0.95 | 0.01 |
| **51** | 49 | 10 | 0.92 | 0.025 |
| **52** | 58 | 4 | 0.91 | 0.03 |
| **53** | 48 | 2 | 0.93 | 0.01 |
| **54** | 47 | 6 | 0.95 | 0.015 |
| **55** | 49 | 8 | 0.97 | 0.025 |
| **56** | 53 | 10 | 0.89 | 0.035 |
| **57** | 57 | 4 | 0.9 | 0.02 |
| **58** | 60 | 2 | 0.86 | 0.01 |
| **59** | 55 | 6 | 0.93 | 0.025 |
| **60** | 45 | 8 | 0.95 | 0.03 |

### 3. Uzdevums

Noteikt sinhronā ģeneratora lietderības koeficientu nomi­nālās slodzes režīmā, ja ir doti sekojoši parametri: SN; *Ul =* 6,3 kV; cos*φN* ; *Iie*; *Uie* = 20 V; ierosinātāja ηie = 0,9; zudumi statora tēraudā ΔΡt; papildzudumi ΔPpap no PN, %; mehāniskie zudumi ΔPmeh no ΡN, %; statora fāzes tinuma aktīvā pretestība 75oC temperatūrā ir Re75. Variantam atbilstoši izejas dati doti 4.3. tabulā.

4.3. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | | |
| **Varianti** | **SN, kVA** | **cosφN** | **Iie, A** | **ΔPt, kW** | **ΔPpap no PN, %** | **ΔPmeh no PN, %** | **Re75, Ω** | |
| **1** | 500 | 0.9 | 90 | 5.2 | 0.5 | 1 | 1.6 | |
| **2** | 540 | 0.89 | 85 | 5.4 | 0.4 | 1.1 | 1.8 | |
| **3** | 530 | 0.88 | 88 | 5.3 | 0.3 | 1.3 | 2 | |
| **4** | 450 | 0.91 | 89 | 5.1 | 0.2 | 0.9 | 2.3 | |
| **5** | 470 | 0.87 | 78 | 5 | 0.6 | 0.8 | 2.5 | |
| **6** | 510 | 0.88 | 95 | 4.9 | 0.7 | 1.4 | 2.7 | |
| **7** | 490 | 0.92 | 70 | 4.8 | 0.8 | 1.2 | 2.8 | |
| **8** | 500 | 0.9 | 86 | 4.7 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | |
| **9** | 530 | 0.89 | 94 | 4.6 | 0.4 | 1.1 | 1.5 | |
| **10** | 520 | 0.88 | 92 | 5.2 | 0.3 | 1.4 | 1.7 | |
| **11** | 480 | 0.91 | 95 | 5.4 | 0.2 | 1 | 1.9 | |
| **12** | 470 | 0.87 | 85 | 5.3 | 0.6 | 1.1 | 2.4 | |
| **13** | 460 | 0.88 | 83 | 5.1 | 0.7 | 1.3 | 2.7 | |
| **14** | 500 | 0.92 | 92 | 5 | 0.5 | 0.9 | 2.5 | |
| **15** | 540 | 0.9 | 85 | 4.9 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | |
| **16** | 530 | 0.89 | 90 | 4.8 | 0.3 | 1.4 | 1.8 | |
| **17** | 450 | 0.88 | 85 | 4.7 | 0.2 | 1.2 | 2 | |
| **18** | 470 | 0.91 | 88 | 4.6 | 0.6 | 0.9 | 2.3 | |
| **19** | 510 | 0.87 | 89 | 5.2 | 0.7 | 1.1 | 2.5 | |
| **20** | 490 | 0.88 | 78 | 5.4 | 0.5 | 1.4 | 2.7 | |
| **21** | 500 | 0.92 | 95 | 5.3 | 0.4 | 1 | 2.8 | |
| **22** | 530 | 0.9 | 70 | 5.1 | 0.3 | 1.1 | 1.3 | |
| **23** | 520 | 0.89 | 86 | 5 | 0.2 | 1.3 | 1.5 | |
| **24** | 480 | 0.88 | 94 | 4.9 | 0.6 | 0.9 | 1.7 | |
| **25** | 470 | 0.91 | 92 | 4.8 | 0.7 | 0.8 | 1.9 | |
| **26** | 460 | 0.87 | 95 | 4.7 | 0.8 | 1.4 | 2.4 | |
| **27** | 500 | 0.88 | 85 | 4.6 | 0.5 | 1.2 | 2.7 | |
| **28** | 540 | 0.92 | 83 | 5.2 | 0.4 | 0.9 | 2.5 | |
| **29** | 530 | 0.9 | 92 | 5.4 | 0.3 | 1.1 | 1.6 | |
| **30** | 450 | 0.89 | 85 | 5.3 | 0.2  4.3. tabulas turpinājums | 1.4 | 1.8 | |
| **31** | 470 | 0.88 | 90 | 5.1 | 0.6 | 1 | 2 | |
| **32** | 510 | 0.91 | 85 | 5 | 0.7 | 1.1 | 2.3 | |
| **33** | 490 | 0.87 | 88 | 4.9 | 0.8 | 1.3 | 2.5 | |
| **34** | 500 | 0.88 | 89 | 4.8 | 0.5 | 0.9 | 2.7 | |
| **35** | 530 | 0.92 | 78 | 4.7 | 0.4 | 0.8 | 2.8 | |
| **36** | 520 | 0.9 | 95 | 4.6 | 0.3 | 1.4 | 1.3 | |
| **37** | 480 | 0.89 | 70 | 5.2 | 0.2 | 1.2 | 1.5 | |
| **38** | 470 | 0.88 | 86 | 5.4 | 0.6 | 0.9 | 1.7 | |
| **39** | 460 | 0.91 | 94 | 5.3 | 0.5 | 1.1 | 1.9 | |
| **40** | 500 | 0.87 | 92 | 5.1 | 0.4 | 1.4 | 2.4 | |
| **41** | 540 | 0.88 | 95 | 5 | 0.3 | 1 | 2.7 | |
| **42** | 530 | 0.92 | 85 | 4.9 | 0.2 | 1.1 | 2.5 | |
| **43** | 450 | 0.9 | 83 | 4.8 | 0.6 | 1.3 | 1.6 | |
| **44** | 470 | 0.89 | 92 | 4.7 | 0.7 | 0.9 | 1.8 | |
| **45** | 510 | 0.88 | 85 | 4.6 | 0.8 | 0.8 | 2 | |
| **46** | 490 | 0.91 | 90 | 5.2 | 0.5 | 1.4 | 2.3 | |
| **47** | 500 | 0.87 | 85 | 5.4 | 0.4 | 1.2 | 2.5 | |
| **48** | 530 | 0.88 | 88 | 5.3 | 0.3 | 0.9 | 2.7 | |
| **49** | 520 | 0.92 | 89 | 5.1 | 0.2 | 1.1 | 2.8 | |
| **50** | 480 | 0.9 | 78 | 5 | 0.5 | 1.4 | 1.3 | |
| **51** | 470 | 0.89 | 95 | 4.9 | 0.4 | 1 | 1.5 | |
| **52** | 460 | 0.88 | 70 | 4.8 | 0.3 | 1.1 | 1.7 | |
| **53** | 500 | 0.91 | 86 | 4.7 | 0.2 | 1.3 | 1.9 | |
| **54** | 540 | 0.87 | 94 | 4.6 | 0.6 | 0.9 | 2.4 | |
| **55** | 530 | 0.88 | 92 | 5.2 | 0.7 | 0.8 | 2.7 | |
| **56** | 450 | 0.92 | 95 | 5.4 | 0.8 | 1.4 | 1.6 | |
| **57** | 470 | 0.9 | 85 | 5.3 | 0.5 | 1.2 | 1.8 | |
| **58** | 510 | 0.89 | 83 | 5.1 | 0.4 | 0.9 | 2 | |
| **59** | 490 | 0.88 | 92 | 5 | 0.3 | 1.1 | 2.3 | |
| **60** | 500 | 0.91 | 85 | 4.9 | 0.2 | 1.4 | 2.5 | |

### 4 .Uzdevums

Noteikt trīsfāzu sinhronā ģeneratora statora fāzes strāvu un slodzes leņķi, ja doti sekojoši ģeneratora raksturlielumi: fāzes vijumu skaits w; ģeneratora strāvas frekvence f = 50 Hz; nominālā jauda SN; *Ul =* 380 V; cos*φN*; tinuma koeficients kw; magnētiskā plūsma tukšgaitas režīmā Φo un sinhronā induktīvā pretestība Xd. Variantam atbilstoši izejas dati doti 4.4. tabulā.

4.4. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Dotie lielumi** | | | | | |
| **Varianti** | **w, vijumi** | **SN, kVA** | **cosφN** | **kw** | **Φo, Wb** | **Xd, Ω** |
| **1** | 60 | 55 | 0.9 | 0.93 | 0.01 | 1.5 |
| **2** | 58 | 46 | 0.89 | 0.89 | 0.008 | 1.6 |
| **3** | 44 | 37 | 0.91 | 0.9 | 0.009 | 1.4 |
| **4** | 52 | 52 | 0.92 | 0.86 | 0.007 | 1.2 |
| **5** | 72 | 49 | 0.93 | 0.93 | 0.012 | 1.1 |
| **6** | 69 | 66 | 0.94 | 0.95 | 0.014 | 1 |
| **7** | 51 | 50 | 0.95 | 0.97 | 0.012 | 1.7 |
| **8** | 49 | 52 | 0.88 | 0.87 | 0.011 | 1.5 |
| **9** | 58 | 48 | 0.89 | 0.95 | 0.01 | 1.6 |
| **10** | 48 | 76 | 0.93 | 0.92 | 0.009 | 1.2 |
| **11** | 47 | 47 | 0.95 | 0.91 | 0.008 | 1.8 |
| **12** | 49 | 43 | 0.92 | 0.93 | 0.013 | 1.1 |
| **13** | 53 | 43 | 0.9 | 0.95 | 0.01 | 1.2 |
| **14** | 57 | 49 | 0.89 | 0.97 | 0.008 | 1.4 |
| **15** | 60 | 57 | 0.91 | 0.89 | 0.009 | 1.7 |
| **16** | 55 | 53 | 0.92 | 0.9 | 0.007 | 1.5 |
| **17** | 45 | 37 | 0.93 | 0.86 | 0.012 | 1.6 |
| **18** | 56 | 44 | 0.94 | 0.93 | 0.014 | 1.4 |
| **19** | 70 | 55 | 0.95 | 0.95 | 0.012 | 1.2 |
| **20** | 63 | 46 | 0.88 | 0.97 | 0.011 | 1.1 |
| **21** | 58 | 37 | 0.89 | 0.89 | 0.01 | 1 |
| **22** | 44 | 52 | 0.93 | 0.9 | 0.009 | 1.7 |
| **23** | 58 | 49 | 0.95 | 0.86 | 0.008  4.4. tabulas turpinājums | 1.5 |
| **24** | 44 | 66 | 0.92 | 0.93 | 0.013 | 1.6 |
| **25** | 52 | 50 | 0.9 | 0.95 | 0.01 | 1.2 |
| **26** | 72 | 52 | 0.89 | 0.97 | 0.008 | 1.8 |
| **27** | 69 | 48 | 0.91 | 0.87 | 0.009 | 1.1 |
| **28** | 51 | 76 | 0.92 | 0.95 | 0.01 | 1.5 |
| **29** | 49 | 47 | 0.93 | 0.92 | 0.012 | 1.6 |
| **30** | 58 | 43 | 0.94 | 0.91 | 0.014 | 1.4 |
| **31** | 48 | 43 | 0.95 | 0.93 | 0.012 | 1.2 |
| **32** | 47 | 49 | 0.88 | 0.95 | 0.011 | 1.1 |
| **33** | 49 | 57 | 0.89 | 0.97 | 0.01 | 1 |
| **34** | 53 | 53 | 0.93 | 0.89 | 0.008 | 1.7 |
| **35** | 57 | 55 | 0.95 | 0.9 | 0.009 | 1.5 |
| **36** | 60 | 46 | 0.92 | 0.86 | 0.007 | 1.6 |
| **37** | 55 | 37 | 0.9 | 0.93 | 0.012 | 1.2 |
| **38** | 45 | 52 | 0.89 | 0.95 | 0.014 | 1.8 |
| **39** | 56 | 49 | 0.91 | 0.97 | 0.012 | 1.1 |
| **40** | 70 | 66 | 0.92 | 0.89 | 0.011 | 1.2 |
| **41** | 63 | 50 | 0.93 | 0.9 | 0.01 | 1.4 |
| **42** | 58 | 52 | 0.94 | 0.86 | 0.008 | 1.5 |
| **43** | 44 | 48 | 0.95 | 0.93 | 0.009 | 1.6 |
| **44** | 58 | 76 | 0.88 | 0.95 | 0.007 | 1.4 |
| **45** | 44 | 47 | 0.89 | 0.97 | 0.012 | 1.2 |
| **46** | 52 | 43 | 0.93 | 0.87 | 0.014 | 1.1 |
| **47** | 72 | 43 | 0.95 | 0.95 | 0.012 | 1 |
| **48** | 69 | 49 | 0.92 | 0.92 | 0.011 | 1.7 |
| **49** | 51 | 57 | 0.9 | 0.91 | 0.01 | 1.5 |
| **50** | 49 | 53 | 0.89 | 0.93 | 0.009 | 1.6 |
| **51** | 58 | 37 | 0.91 | 0.95 | 0.01 | 1.2 |
| **52** | 48 | 44 | 0.92 | 0.97 | 0.008 | 1.8 |
| **53** | 47 | 50 | 0.93 | 0.89 | 0.009 | 1.1 |
| **54** | 49 | 52 | 0.94 | 0.9 | 0.007 | 1.2 |
| **55** | 53 | 48 | 0.95 | 0.89 | 0.012 | 1.4 |
| **56** | 57 | 76 | 0.88 | 0.9 | 0.014  4.4. tabulas turpinājums | 1.7 |
| **57** | 60 | 47 | 0.89 | 0.86 | 0.012 | 1.5 |
| **58** | 55 | 43 | 0.93 | 0.93 | 0.011 | 1.6 |
| **59** | 45 | 43 | 0.95 | 0.95 | 0.01 | 1.4 |
| **60** | 56 | 49 | 0.92 | 0.97 | 0.01 | 1.2 |

# LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Elektriskās mašīnas, piedziņa, vadība. Programma un metodiskie norādījumi /sast. V.Meļņikovs. - Rīga: RVT, 2008, 195 lpp.
2. J.Dirba, K.Ketners: ”Elektriskās mašīnas”, RTU izdevniecība - Rīga 2007. - 517 lpp.
3. Arājs R., Staltmanis I. Elektroiekārtas un to ekspluatācija. – R.: Liesma, 1977.
4. Zolbergs J. Vispārīgā elektrotehnika. – R.: Zvaigzne, 1974.
5. Danilovs I., Lotockis K. Elektriskās mašīnas. R.: Zvaigzne, 1975.
6. Grantmanis A. Automatizētā elektropiedziņa. - Rīga: Zvaigzne, 1973, 224 lpp.
7. Latvijas energostandarts, LEK 025, Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs, 2001.
8. Latvijas energostandarts, LEK 002, Elektrostaciju, tīklu un lietotāju elektroietaišu tehniskā ekspluatācija, 2000.
9. Lielturks A. Elektriskās mašīnas. - R.: Zvaigzne, 1969. - 257 lpp.
10. Zviedris A. Elektriskās mašīnas. - R.: Zvaigzne, 1984. - 367 lpp.
11. Ranka G. Elektriskās mašīnas. - R.: VAS „Latvijas dzelzceļš”, 1996. – 248 lpp.
12. А.И. Вольдек: ”Электрические машины”, 2-е издание-Л.:Энергия, 1974. - 839 lpp.
13. Д.Э.Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов: ” Электрические машины и микромашины”, 3-е издание- Москва 1990. – 528 lpp.