

L-299.2

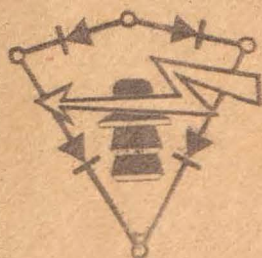
Sēj. 274

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE

ELEKTRODZINĒJU KOMBINĒTĀ AIZSARDZĪBA

LLU raksti

274. laidziens



JELGAVA 1993

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
Elektrotehnikas katedra

**ELEKTRODZINĒJU KOMBINĒTĀ
AIZSARDZĪBA**

LLU raksti

274. laidiens

LLU
JELGAVA 1985

UDK 631.316.9

Elektrodzinēju kombinētā aizsardzība // LLU Raksti. 1993. Laid. 3.
Tab. 9. Att. 42. Bibliogr. 14.

Atbildīgais par izdevumu doc. A. Šniders

Apstiprināts un ieteikts pavairošanai Redakcijas un izdevniecības
padomes sēdē



Latvijas Lauksaimniecības
universitāte (LLU), 1993

TRISFĀZU ASINHRONO DZINĒJU KOMBINĒTAS ELEKTRONISKĀS AIZSARDZĪBAS IZSTRĀDE

Проанализированы недостатки тепловой, температурной и токовой защиты асинхронных двигателей. Обсуждены общие принципы создания комбинированной электронной защиты электродвигателей. Рассмотрены исследования и разработки проведенные лабораторией "Защита электродвигателей" в области комбинированной электронной защиты.

1. Tradicionālo metožu kritika un kombinētās aizsardzības koncepcija

Lauksaimniecībā, mežrūpniecībā un kokapstrādē izmantojamo asinhrono dzinēju ekspluatācijas drošuma pētījumi parādīja, ka ierīces, kuru darbība pamatojas uz tradicionālām metodēm (siltuma, temperatūras, strāvas, sprieguma kontroles), nenodrošina pietiekami efektīvu aizsardzību ekstremālos režīmos.

Siltuma aizsardzība, kurā kā avārijas režīma kontroles elements izmantots bimetāls, nav pietiekami jutīga un ātrdarbīga fāzes izžušanas un rotora nosprūšanas gadījumos. Tas izskaidrojams ar bimetāla raksturīgu nestabilitāti un elektrodzinēja silšanas procesa modelēšanas neprecizitāti.

Iebūvētā temperatūras aizsardzība tiek uzskatīta par universālu, jo tā tieši kontrolē statora tinumu silšanu ar tajos iebūvētiem mērīšanas pārveidotājiem-pozistoriem un atslēdz elektrodzinēju no tīkla pie kritiskās tinumu temperatūras. Taču sakarā ar pozistoru silšanas inerci tinumu temperatūras tiešās kontroles metode nav pietiekami efektīva fāzes izžušanas un rotora nosprūšanas gadījumos.

Temperatūras aizsardzība tāpat kā siltuma aizsardzība pieļauj mazslogota elektrodzinēja ilgstošu darbību uz divām fāzēm, kas samazina tā darbību. Trisfāžu asinhronajam

dzinējam, strādājot uz divām fāzēm, ievērojami palielinās vibrāciju līmenis, kas izraisa tā gultņu un īpaši tinumu izolācijas resursa samazināšanos. Tādēļ, izzūdot vienai fāzei, aizsardzības ierīcei jānostrādā ar nelielu kavējumu (1...10s), kas nepieciešams, lai novērstu elektrodzinēja viltus atslēgumus pie lielas īslaicīgas strāvu vai spriegumu asimetrijas.

Eksperimentālie pētījumi un aprēķini parādīja, ka temperatūras aizsardzība pieļauj statora tinumu sakaršanu virs kritiskās īslaicīgi pieļaujamās temperatūras (220°C) pie nosprūduša rotora.¹ Tas izskaidrojams ar pozistoru inerenci, kuriem silšanas laika kontrole ir atkarībā no montāžas kvalitātes ir 9 līdz 15 sekundes. Nosprūduša rotora režīmā statora tinumu silšana notiek pēc adiabatiska procesa ar ātrumu $V_T = (5...10)^{\circ}\text{C/s}$. Pie šādiem nosacījumiem statora tinumu temperatūras kontroles kļūda tieši proporcionāla laika konstantei τ un temperatūras augšanas ātrumam $V_T (\Delta T = \tau \cdot V_T)$. Sliktākajā variantā $V_T = 15 \cdot 10 = 150^{\circ}\text{C}$. Tas nozīmē, ka pie aizsardzības nostrādes temperatūras $T_a = 130^{\circ}\text{C}$ faktiskā statora tinumu temperatūra var sasniegt $T_s = T_a + \Delta T = 280^{\circ}\text{C}$, kas nav pieļaujams.

Ērkstremālos avārijas režīmos, kad temperatūras augšanas ātrums V_T ir mazs (daži grādi minūtē), piemēram, pie nelielām tehnoloģiskām pārslodzēm, pazemināta vai paaugstināta sprieguma, nelielas spriegumu asimetrijas vai elektrodzinēja dzesēšanas traucējumiem temperatūras kontroles kļūda ΔT ir nebūtiska un temperatūras aizsardzības ierīce nostrādā ar pietiekami augstu precizitāti.

Strāvas un sprieguma aizsardzības (maksimālās strāvas releji, nullsecības strāvas un sprieguma releji, minimālā vai maksimālā sprieguma releji) reaģē uz kādu visnu parametru - palielinātu strāvas stiprumu, strāvu vai spriegumu asimetriju, paaugstinātu vai pazeminātu spriegumu.

¹ А. Шидерс, А. Шидере. Нагрев и защита асинхронного электропривода сельскохозяйственных механизмов в энергоснабженных режимах // Труды ЛСХА / Латв. с.-х. акад. 1984. Вып. 224. С. 97-98.

Tādēļ elektrodzinēja aizsardzība jākomplektē no vairākām šādām ierīcēm. Tās bieži vien jāpapildina ar laika releju, lai novērstu viltus atslēgumus pie elektrodzinēja palaišanas, īslaicīgām tehnoloģiskām pārslodzēm vai īslaicīgas strāvu un spriegumu asimetrijas.

Pētījumi parādīja, ka optimālu elektrodzinēja aizsardzību var izstrādāt, apvienojot vienā ierīcē vairākus avārijas režīmu kontroles principus.²

Nepilnu fāzu režīmu visefektīvāk var kontrolēt, izmantojot fāzu detektorus, kā arī nullsecības strāvas vai sprieguma kontroles ķēdes, kas papildinātas ar laika aiztures ķēdi viltus nostrādes novēršanai.

Prēt lielām tehnoloģiskām pārslodzēm, t.s. rotora nosprūšanu, elektrodzinēju var efektīvi aizsargāt ar elektroniskām slodzes strāvas kontroles ķēdēm, kuru nostrādes laika kavējums apgriezti proporcionāls elektrodzinēja pārslodzei. Strāvas kontroles ķēdes parametrus izvēlas tā, lai elektrodzinējs tiktu atslēgts no tīkla, pirms statora tinumu temperatūra sasniegusi kritisko vērtību.

Elektrodzinēja statora tinumu pārkaršanu no nelielām ilgstošām tehnoloģiskām pārslodzēm, barošanas sprieguma svārstībām vai asimetrijas un dzesēšanas traucējumiem efektīvi var novērst ar temperatūras kontroles ķēdi, kura precīzi nostrādā, kad statora tinumu temperatūra sasniegusi kritisko vērtību. Tā vienlaicīgi ļauj pilnībā izmantot elektrodzinēja pārslodzes spēju neekstremālos režīmos.

Pie samitrinātas vai bojātas statora tinumu izolācijas bieži notiek tās caursisana elektrodzinēja ieslēgšanas brīdī, jo sevišķi tādēļ, ka komutācijas pārspriegumi vairākkārt pārsniedz tīkla spriegumu. Lai to novērstu, pirms elektrodzinēja ieslēgšanas caur tinumu izolācijas pretestību uz korpusu nepieciešams kontrolēt noplūdes strāvu.

² Шиндлерс А. Разработка и исследование фазочувствительных устройств комбинированной защиты асинхронных электродвигателей сельскохозяйственного назначения: Автореф. дис. ... К. т. н. Челябинск, 1982. 16с.

Sevišķi aktuāli tas ir elektrodzinējiem, kas darbojas periodiski ar lieliem pārtraukumiem vai ar ūdens tvaikiem piesātinātā un ķīmiski agresīvā vidē. Pirms sādu elektrodzinēju ieslēgšanas nepieciešams izmērit tinumu izolācijas pretestību attiecībā pret korpusu. To var realizēt ar elektronisku izolācijas pretestības kontroles kādi, kura automātiski bloķē komutācijas ierīci, neļaujot ieslēgt elektrodzinēju ar samitrinātu vai bojātu statora tinumu izolāciju.

Apvienojot aprakstītos elektrodzinēja stāvokļa diagnostikas un režīmu kontroles principus vienā elektroniskā ierīcē, iegūst elektrodzinēja kombinēto aizsardzību (EKA), kas sastāv no fāžu kontroles bloka, pārslodzes kontroles bloka, temperatūras kontroles bloka, izolācijas pretestības kontroles bloka, barošanas un signalizācijas bloka.

Aparātus, kas darbojas pēc kombinētā režīmu kontroles principa, turpmāk apskatīta autonomā kombinētā aizsardzība un iebūvētā kombinētā aizsardzība, atkarībā no ekspluatācijas prasībām, var noformēt dažādi. Pēdējās izstrāde paredzēta 1992./93. finanšu gadā.

Autonomā kombinētā aizsardzība izveidota kā elektrodzinējam autonomi pieslēdzams hermetizēts aparāts, kuru var montēt elektrosadales skapjos, vadības skapjos un pultīs, kā arī atsevišķi - blakus komutācijas aparatūrai.

Iebūvēto kombinēto aizsardzību paredzēts uzmontēt atsevišķā pievadkārbā tieši uz elektrodzinēja korpusa. Tas dos iespēju ekonomēt vadu materiālu, palielināt elektrodzinēja kontrolējamo parametru skaitu, komplektēt katru elektrodzinēju ar tam atbilstošu, rūpnīcā precīzi iestatītu un pārbaudītu aizsardzības bloku.

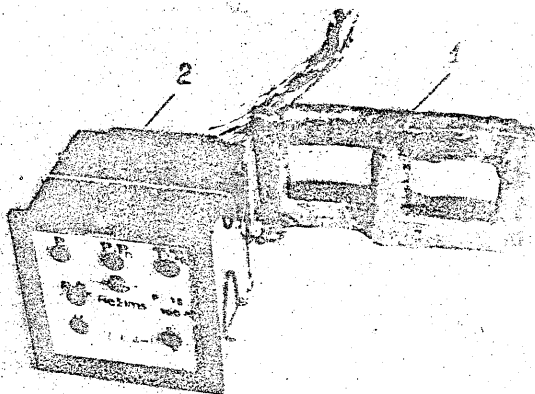
Kombinētās aizsardzības princips dod iespēju veidot elektronikas bloku no atsevišķiem funkcionāliem moduļiem, kas apgādāti ar selektīvu signalizāciju. Pēdējā informē elektrīki par elektrodzinēja atslēgšanas iemeslu, ļauj to operatīvi noteikt un novērst. Līdz ar to paaugstinās visas elektropiedziņas funkcionālais drošums un remontderīgums.

2. Autonomā kombinētā aizsardzība

Zinātniskās budžeta tēmas "Elektrodzinēju aizsardzība" ietvaros 1991.gadā izstrādāta un izpētīta kombinētā elektroniskā aizsardzības ierīce EKA-1, kas sastāv no fāzgriezēja transformatora 1 un elektronikas bloka 2 (1.att.).

Fāzgriezēja transformators paredzēts elektrodzinēja slodzes strāvas un fāžu nobīdes lēnā kontrolei. Tas sastāv no diviem taisnstūrveida serdeniem, kas magnētiski izolēti viens no otra. Caur serdeni logiem tiek izvilkta elektrodzinēja pieslēgšanas kabeļa dzīslas, uz transformatora serdeniem uztiāti divi sekundārie tinumi, kuru izejas spriegumi tiek padoti uz elektronikas bloku.

Fāzgriezēja transformatora konstruktīvais izveidojums, aprēķina metodika un raksturlielnes apskatītas šī krājuma atsevišķā rakstā.

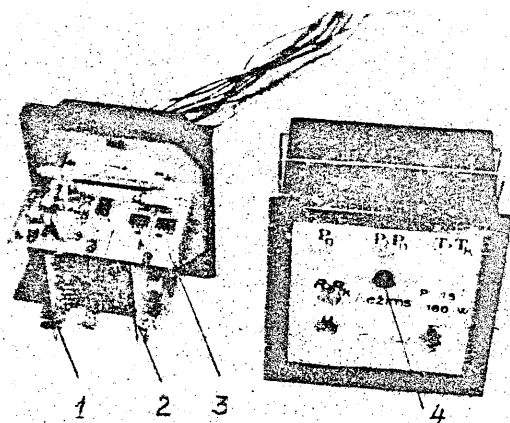


1.att. Slēgdēļa tipa autonomas kombinētas
aizsardzības ierīces EKA-1 kopskats:
1-fāzgriezēja transformators; 2-elektronikas
bloks

Elektrodzinēju kombinētās aizsardzības EKA-1 elektronikas bloks veidots kā autonomi pieslēdzams slēgdēļa tipa aparāts, kurš sastāv no trim iespiestajām platēm ar sāspraudnu montāžu (2.att.).

Katra plate veido funkcionālo moduli, kuru atteices gadījumā var ātri nomainīt.

Izolācijas kontroles modulis 1 sastāv no barošanas bloka, statora tinumu izolācijas pretestības kontroles ķēdes un diviem signalizācijas elementiem - gaismas diodēm. Pieslēdzot elektronikas bloku spriegumam, iedegas gaismas diode, kura uz priekšējā panela apzīmēta ar " U_r " un signalizē, ka aizsardzības relejam pienāk spriegums. Ja elektrodzinēju izolācijas pretestība R lielāka par kritisko - R_k , tad, nospiežot palaišanas pogas slēdzi, iedegas gaismas diode " $R > R_k$ " un elektrodzinējs sāk darboties. Ja $R < R_k$, tad elektrodzinējs nedarbojas un gaismas diode neiedegas (2.att.).



2.att. Aizsardzības ierīces EKA-1 elektronikas bloka kopskats: 1-izolācijas pretestības kontroles modulis; 2-fāzu kontroles modulis; 3-pārslodzes un temperatūras kontroles modulis; 4-nominālā režīma iestatīšanas skrūve

Fāzu kontroles modulis 2 sastāv no fāzu detektora ķēdes, laika aiztures ķēdes un gaismas diodes "P".

Izkritot jebkurai fāzei, ar laika aizturi 1...3s nostrādā fāzu kontroles modulis un iedegas gaismas diode "P".

Pārslodzes kontroles modulis 3 sastāv no nominālā režīma iestatīšanas ķēdes, laika aiztures ķēdes un statora tinumu temperatūras kontroles ķēdes.

Aizsardzības ierīces nominālo režīmu atbilstoši aizsargājamā elektrodzinēja nominālajai strāvai iestata ar skrūvi 4 pēc gaismas diodes "P_n" indikācijas. Ja ieslēdzot elektrodzinēju gaismas diode "P_n" nemirgo, tad skrūvi 4 pagriež virzienā "min", kamēr gaismas diode sāk mirgot. Pēc tam skrūvi 4 pagriež virzienā "max", lai gaismas diode "P_n" pilnīgi nodzistu. Līdz ar to aizsardzības ierīces nominālais režīms ir iestatīts.

Parādoties ilgstošai tehnoloģiskai pārslodzei vai nosprūstot elektrodzinēja rotoram, nostrādā pārslodzes kontroles ķēde ar laika kavējumu, kas apgriezti proporcionāls elektrodzinēja slodzes strāvai. Iedegas gaismas diode "P > P_n" un signalizē, ka slodzes jauda lielāka par elektrodzinēja nominālo jaudu.

Ja elektrodzinēja statora tinumos iebūvēti pozistori, tad tos pieslēdz temperatūras kontroles ķēdei. Statora tinumu temperatūrai sasniedzot kritisko vērtību T_k , iedegas gaismas diode "T > T_k" un elektrodzinējs tiek atslēgts no tīkla.

Elektronikas bloks izjauktā veidā parādīts 3.attēlā. Visiem moduļiem ir kopēja izeja uz līdzstrāvas elektromagnētisko releju 1, kurš komutē elektrodzinēja palaišsiju. Nospiežot palaišanas pogas slēdzi, ieslēdzas relejs 1 un palaiž elektrodzinēju. Avārijas gadījumā relejs izslēdzas un blokējas.

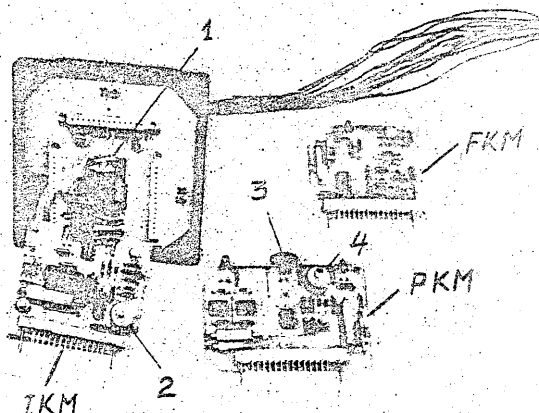
Ar potenciometru 2 ietata nepieciešamo elektrodzinēja tinumu izolācijas pretestību. Šim nolūkam elektronikas blokam pieslēdz etalonpretestību, piemēram, 0,5MΩ vai 1MΩ.

Potenciometrs 3 paredzēts aizsardzības ierīces nominālā režīma ieregulēšanai. Tā rokturi pagriež ar skrūvi 4 (skat.2.att.), kas iebūvēta elektronikas bloka vākā.

Ar potenciometru 4 koriģē pārslodzes kontroles ķēdes

laika-strāvas raksturlielni un pieskaņo to elektrodzinēja sīlšanas liknei.

Aizsardzības ierīce EKA-1 veidota uz analoģo elementu bāzes. Tās moduļu uzbūve, darbības princips, termostabilitāte un parametru izklīede apskatīta atsevišķā rakstā.



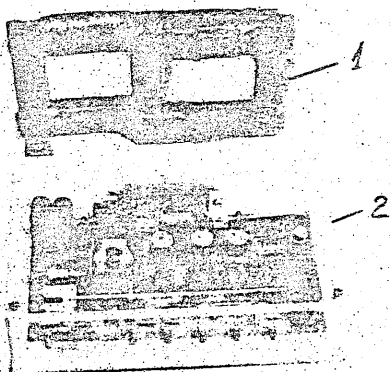
3.att. Aizsardzības ierīces EKA-1 moduļi:

IKM-izolācijas pretestības kontroles modulis; PKM-pārslodzes kontroles modulis; FKM-fāzu kontroles modulis; 1-līdzstrāvas relejs; 2-izolācijas pretestības iestatīšanas potenciometrs; 3-nominālā režīma iestatīšanas potenciometrs; 4-laika aiztures korekcijas potenciometrs.

Uz analoģo un ciparu elementu bāzes izstrādāta un izpētīta arī vienplates kombinētās aizsardzības ierīce EKA-2, kura tāpat kā EKA-1 sastāv no fāzgriezēja transformatora un elektronikas bloka 2. (4.att.).

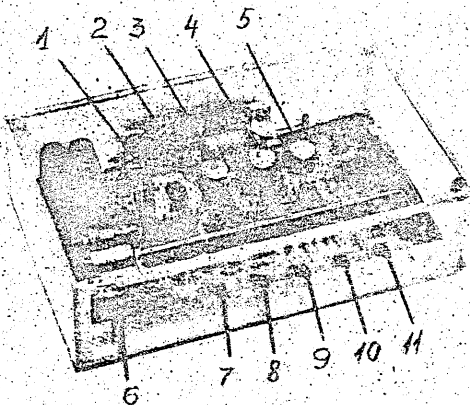
Elektronikas bloks sastāv no četrām funkcionālajām kādēm: 1) fāzu kontrolei; 2) izolācijas pretestības kontrolei; 3) pārslodzes kontrolei; 4) statora tinumu temperatūras kontrolei.

Aizstājot vairākus analoģos elementus ar ciparu elementiem, paaugstināta ierīces termostabilitāte un jutība.



4.att. Vienplates autonomās kombinētās aizsardzības ierīces kopskats: 1-fāzgriezējs transformators; 2-elektronikas bloks.

Elektronikas bloku pieslēdz elektrodrošinējam un fāzgriezējam transformatoram ar saspraudna 2 palīdzību (5.att.)



5.att. Aizsardzības ierīces EKA-2 elektronikas bloks:

1-līdzstrāvas relejs; 2-saspraudnis; 3-izolācijas pretestības iestatīšanas potenciometrs; 4-statora tinumu temperatūras kontroles ķēdes nostrādes sliedžu ieregulēšanas potenciometrs; 5-nominālā režīma iestatīšanas potenciometrs; 6-sprieguma ieslēgšanas indikācija; 7-izolācijas pretestības indikācija; 8-temperatūras indikācija; 9-fāzes izzušanas indikācija; 10-pārslodzes indikācija; 11-nominālā režīma iestatīšanas indikācija

Indikācijas elementi - gaismas diodes signalizē par sprieguma ieslēgšanu (6), izolācijas pretestības pazemināšanos (7), statora tinumu pārkaršanu (8), fāzes izzušanu (9), ilgstošu tehnoloģisku pārslodzi (10) un reālo elektrodzinēja slodzi (11). Jo biežāk elektrodzinējs strādā ar pārslodzi, jo intensīvāk mirgo gaismas diode 11.

Aizsardzības ierīces EKA-2 atsevišķo funkcionālo ķēžu uzbūve, darbības princips, raksturlielnes un termostabilitāte apskatīta vairākos šī krājuma rakstos.

3. Iebūvētā kombinētā aizsardzība

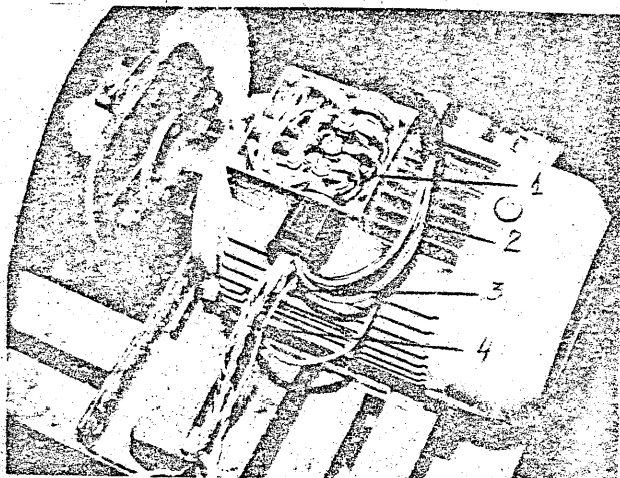
Iebūvētā aizsardzības ierīce tiek montēta uz elektrodzinēja korpusa atsevišķā pievadkārbā, kas termiski izolēta no elektrodzinēja pievadkārbas ar izolācijas materiāla starpliku. Šāda veida aizsardzības ierīces izstrāde paredzēta 1992./93. finanšu gadā.

Atšķirībā no autonomās aizsardzības, iebūvētā aizsardzības ierīce strādā ievērojami smagākos ekspluatācijas apstākļos sakarā ar paaugstināto darba temperatūru un vibrāciju līmeni. Abi minētie faktori prasa iebūvētās aizsardzības elektronikas bloka paaugstinātu drošumu un termostabilitāti. Tādēļ elektronikas ķēdes jāveido no termostabiliem elementiem, bet elektromagnētiskais relejs jānomaina ar bezkontakta komutācijas elementu - simistoru.

Lai izpētītu temperatūras lauka sadalījumu iebūvētās aizsardzības pievadkārbā un optimizētu elektronisko ķēžu parametrus, izstrādāts pārbaudes stends. Tā pamatā ir bremsējams 5A sērijas AMP mārkas trīsfāžu asinhronais dzinējs (6.att.), kuru sloģi ar otru asinhrono mašīnu. Statora tinumu izvadi pievadkārbā 1 saslēgti zvaigznes slēgumā un to sākumiem ar kabeli 2 pievada 380V spriegumu. Lai kontrolētu visu triju statora tinumu kritisko temperatūru, tajos iebūvēti trīs virknē slēgti pozistori. To kopējam izvadam 3 var pieslēgt ciparu voltmetru, ja nepieciešams uzņemt pozistoru pretestības temperatūras raksturlielni, vai kombinētās aizsardzības ierīces temperatūras kontroles ķēdi. Lai izmēritu statora tinumu temperatūru jebkurā laikā

momentā un uzņemtu to silšanas dinamiskās raksturlienes dažādos slodzes režimos, katrā tinumā iebūvēts atsevišķs termopāris.

Termopāru termo FDS mērīšanai to izvadiem 4 pieslēdz jutīgu galvanometru, potenciometru vai automātisko reģistrējošo aparātu KGO-4.



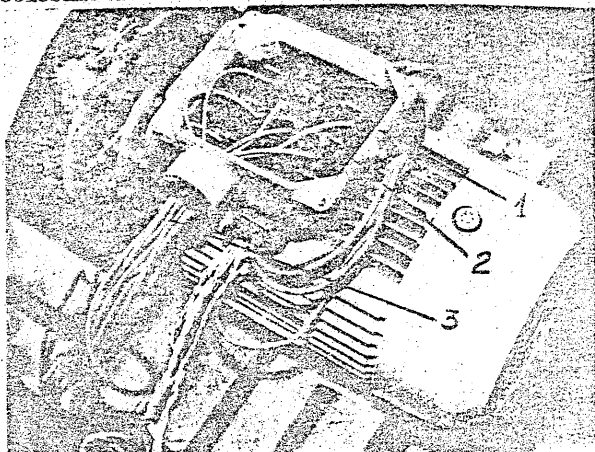
6.att. Iebūvēto kombinētās aizsardzības ierīču eksperimentālās pētīšanas stenda elektroshēma:

1 pievadkārba; 2 pieslēgšanas kabelis; 3 rezistoru izvadi; 4 termopāru izvadi

Aizsardzības pievadkārba 1 uzmontēta virs elektroshēma pievadkārbas un blīvi to nosedz (7.att.).

Lai izpētītu temperatūras lauku aizsardzības pievadkārba dažādos elektroshēma darbības režimos, ieskaitot ekstremālos avārijas režimus (fāzes izzišana, rotora nosprūšana, traucēta dzesēšana), izveidota maketplate, uz kuras uzmontēti deviņi rezistori ar pieļimētiem termopāriem 2. Tie mēra rezistoru virsmas temperatūru deviņos viennāriģi izvietotos punktos virs maketplates. Termopāru brīvajiem galiem 3 caur daudzkanāļu slēdri pievieno jutīgu galvanometru vai potenciometru, kuru skala graduēta temperatūras vienībās. Temperatūras lauka pētījumā dod iespēju izvēlēties atbilstošus elektriskās shēmas, atbilstoši to izvietojuma un iespē-

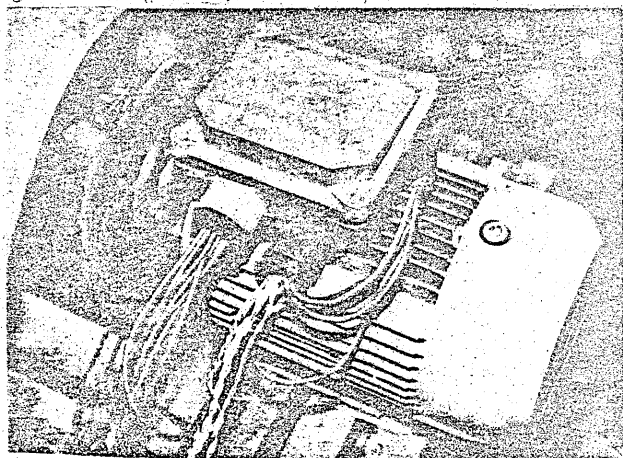
tās plates un veidot pievadkārbas konstrukciju, kas nodrošina nepieciešamo dzesēšanas efektivitāti.



7.att. Stenda elektrodzinējs ar uzmontētu aizsardzības pievadkārba:

1-aizsardzības pievadkārba, 2-rezistori ar pielīmētiem termopāriem; 3-termopāru izvadi

Aizsardzības pievadkārba nosepta ar vāku un hermetizēta ar gumijas blīvi (8.att.).



8.att. Stenda elektrodzinējs ar nosegtu aizsardzības pievadkārba

Iebūvētā kombinētās aizsardzības ierīce ir ievērojami kompaktāka par autonomo, jo tajā nomainīts elektromagnētiskais relejs ar simistoru, bet fāzgriezēja transformatora vietā izmantots mazgabarīta toroidāls serdenis ar vienu primāro un vienu sekundāro tinumu elektrodzinēja vienas fāzes strāvas kontrolei. Tā kā aizsardzības ierīce uzmontēta tieši virs elektrodzinēja pievadkārbas, tad fāžu kontrolei var izmantot vienkāršo un kompakto nullsecības sprieguma mērīšanas shēmu.

4. Kopsavilkums

Rakstā apskatīti "Elektrodzinēju aizsardzības" laboratorijas zinātniski pētnieciskā darba rezultāti trīsfāžu asinhrono dzinēju kombinētās elektroniskās aizsardzības ierīču izstrādē laika posmā no 1991.gada 1.janvāra līdz 1992.g. 1.jūlijam.

Darbs veikts zinātniskās budžeta tēmas "Elektrodzinēju aizsardzība" ietvaros atbilstoši apstiprinātajam plānam.

Sajā laika periodā iegūti sekojoši rezultāti:

1. Iekārtota elektrodzinēju aizsardzības zinātniskās pētniecības laboratorija.
2. Izstrādāta elektrodzinēju kombinētās aizsardzības koncepcija.
3. Izstrādātas autonomo elektronisko kombinētās aizsardzības ierīču divas modifikācijas EKA-1 un EKA-2.
4. Iesākti pētījumi pie iebūvētās kombinētās aizsardzības ierīces izstrādes.

The three phases AC motors combined
protection elaboration

A.Sniders

Latvian University of Agriculture

S u m m a r y

The criticism of conventional methods of AC motors protection is given.

The most effective is combined method, whose conception is based on a four principles of AC motors condition and

overload regimes testing.

The principles of insulation resistance, stator windings temperature, three phases current asymmetry and overload current testing in foundation of combined electronics protection units are made in electromotors protection research laboratory.

Some modification of combined protection units and research are described.

FĀZGRIEZĒJA TRANSFORMATORA UN ASINHROŅA DZINĒJA PARAMETRU ANALĪZE UN SASKANOSANA

Rассмотрена Т-образная схема замещения трехфазного асинхронного двигателя с учетом параметров фазовращающего трансформатора комбинированной электронной защиты. Приведено конструктивное исполнение, векторная диаграмма и методика расчета электрических параметров фазовращающего трансформатора, предназначенного для контроля токов нагрузки ряда электродвигателей. Найдены аналитические выражения и эмпирические коэффициенты для расчета индуктивного сопротивления обмоток в зависимости от намагничивающей силы.

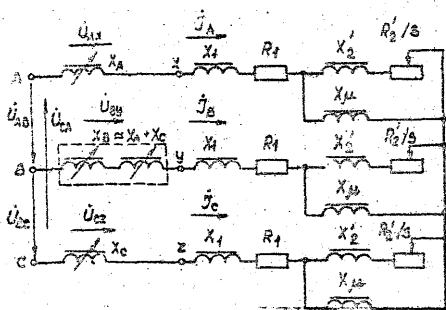
Проведено сравнение параметров фазовращающего трансформатора и ряда электродвигателей мощностью от 25 кВт до 160 кВт

Рассмотрены условия выбора параметров стента для испытания и регулировки устройств комбинированной защиты асинхронных двигателей.

1. TRISFĀZU ASINHROŅA DZINĒJA UN FĀZGRIEZĒJA TRANSFORMATORA EKVIVALENTĀ SHĒMA

Trisfāžu asinhrono dzinēju slodzes strāvu I_A , I_B , I_C un to fāžu nobīdes leņķu α_A , α_B , α_C kontrolei izstrādāts fāzgriezējs transformators, kura primārie tinumi slēgti virknē ar elektrodzinēja statora tinumiem, bet sekundārie tinumi pieslēgti kombinētās aizsardzības ierīces elektronikas blokam.

Lai saskanotu asinhronā dzinēja (AD) un fāzgriezēja transformatora (PCT) parametrus un izpētītu to iespaidu un slodzes strāvu I_A , I_B , I_C asimetriju, sastādīta ekvivalentā shēma (1.att.). Tajā pieņemti daži vienkāršojumi. Tā kā AD magnetizācijas kādes aktīvā pretestība daudzkārt mazāka par tās induktīvo pretestību ($R_p \ll X_p$), tad pieņemts, ka $R_p \approx 0$. Arī PCT ekvivalentā aktīvā pretestība R ievērojami mazāka par induktīvo pretestību X ($R \ll X$), tādēļ tā turpmākajā analīzē netiek ņemta vērā.



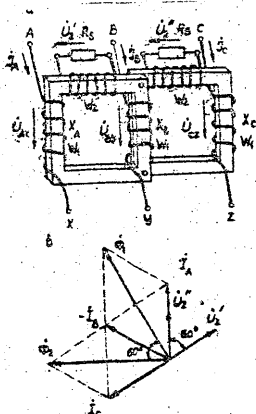
1.att. Trīsfāžu asinhronā dzinēja un fāzgriezēja transformatora vienkāršota ekvivalentā shēma: X_A, X_B, X_C - fāzgriezēja transformatora induktīvās pretestības; R_1, X_1 - statora tinuma fāzes aktīvā un induktīvā pretestība; R_2', X_2' - rotora tinuma fāzes reducētā aktīvā un induktīvā pretestība; X_μ - magnetizācijas ķēdes induktīvā pretestība; s - rotora slīde.

Fāzgriezēja transformatora konstruktīvais izveidojums un vienkāršota vektoru diagramma parādīta 2.attēlā. FGT sastāv no diviem taisnstūrveida elektrotehniskā tērauda serdeniem, kuri sastiprināti savā Otarpā ar alumīnija kniedēm. Uz serdeni malējiem stieniem uztiāti fāžu A un C primārie tinumi, bet uz kopējā centrālā serdena pretslēgumā uztiāts fāzes B tinums. Visu primāro tinumu vijumu skaiti ir vienādi ($W_A = W_B = W_C = W_1$). Uz katra serdena uztiāts sekundārais tinums ar vijumu skaitu W_2 .

FGT serdeni šķērsgrīzums un logu izmēri aprēķināti vidējās un lielas jaudas asinhrono dzinēju (15...160kW) strāvas kontrolei, fāzes vadus vienreiz izvelkot caur serdeni logiem. Ja jākontrolē strāva mazākas jaudas AD, piemēram 1,1kW elektrodzinējam, tad nepieciešams $W_1=11$, bet 0,09kW elektrodzinējam $W_1=100$. FGT darbības transreaktora režīmā ar relatīvi lielu slodzes pretestību R_2 . Tāpēc tā ieejas lielumi ir primārās (fāzes) strāvas I_A, I_B, I_C (asimetriskā režīmā $I_A=I_B=I_C=I_1$), bet atbilstošie izejas

lielumi - sekundārie spriegumi U_2' , U_2'' .

Lai normāli darbotos fāzjutīgā detektora ķēde, fāžu nobīdes leņķim simetriskā režīmā starp spriegumu U_2' un U_2'' vektoriem jābūt 60° ($\varphi=60^\circ$). Lai to panāktu, tinums W_2 uzlīts pretslēgumā tinumiem W_A un W_C . Tā rezultātā strāvas I_D vektors pagriežas par 180° un veido ar strāvu I_A un I_C vektoriem 60° leņķi. Strāvas I_A un $-I_D$ formē magnētisko plūsmu Φ_1 , kas noslēdzas pirmajā serdenī, bet strāvu I_C un $-I_D$ radītā plūsma Φ_2 noslēdzas otrajā serdenī. Plūsmas Φ_1 un Φ_2 inducē sekundārajos tinumos spriegumus U_2' un U_2'' , kas proporcionāli divu fāžu strāvu ģeometriskajai summai un nobīdīti par $\varphi=60^\circ$. Izzūdot vienai fāzei leņķis φ mainās no 60° uz 0° vai 180° , uz ko reaģē fāžu detektors un dod komandu elektrodzinēja atslēgšanai no tīkla.



2.att. Fāzgrīzējs transformators: a - konstruktīvais izveidojums (W_1 - primārie tinumi, W_2 - sekundārie tinumi, R_2 - slodzes pretestība); b - vienkāršota vektoru diagramma (I_A, I_B, I_C - līnijas strāvas; Φ_1, Φ_2 - pirmā un otrā serdena rezultējošās magnetiskās plūsmas; U_2', U_2'' - sekundārie spriegumi).

PGT darbojas piesātinājuma režīmā, jo sekundārais magnetizējošais spēks $I_2 W_2$ sakarā ar relatīvi lielo slodzes

pretestību R_s ir ievērojami mazāks par primāro magnetizējošo spēku $I_1 W_1$ un to nekompensē. Tādēļ FGT ekvivalentās induktīvās pretestības X_A, X_B, X_C ir mainīgi lielumi, kas samazinās pieaugot $I_1 W_1$. Bez tam pretestība X_B ir apmēram divas reizes lielāka par X_A un X_C ($X_B \approx X_A + X_C$), jo to rada tinums W_B , kurš uzlīts uz abiem serdeniem ar divkārtu summaāro šķērssgriezumu 2S.

Lei noskaidrotu FGT induktīvo pretestību X_A, X_B un X_C iespaidu uz spriegumu sadalījumu un strāvu asimetriju, eksperimentāli un analītiski izpētīta parametra X atkarība no magnetizējošā spēka $I_1 W_1$ pie simetriskas slodzes visās fāzēs ($I_A = I_B = I_C = I_1$).

2. FĀZGRIEZĒJA TRANSFORMATORA RAKSTURLIĶŅU NOTEIKŠANA AR EKSPERIMENTĀLO UN ANALĪTISKO METODI

Eksperimentālā metode pamatojas uz strāvas stipruma un sprieguma krituma mērīšanu transformatora primārajos tinumos pie sekojošiem parametriem: $W_1=11$ vijumi; $W_2=200$ vijumi; $R_s=800 \Omega$. FGT tika pieslēgts stendam ar bremzējamu elektrodzinēju, kura slodzes strāvu I_1 mainīja robežās no 2,5A līdz 20A. Pēc strāvas stipruma I_1 un spriegumu krituma U_{AX}, U_{BY}, U_{CZ} mērījumiem aprēķinātas tinumu induktīvās pretestības X_A, X_B, X_C (1.tab.). Mērījumu un aprēķinu dati grafiski parādīti 3.attēlā.

1.tabula

Fāzgriezēja transformatora induktīvo pretestību
atkarība no magnetizējošā spēka $I_1 W_1$.
(aprēķini pēc mērījumu datiem)

I_1, A	2,5	3	4	6	8	10	15	20
$I_1 W_1, A$	27,5	33	44	66	88	110	165	220
U_{AX}, V	0,40	0,43	0,47	0,54	0,58	0,62	0,71	0,78

U_{BF}, V	0,79	0,85	0,95	1,10	1,20	1,37	1,44	1,60
U_{GF}, V	0,42	0,45	0,50	0,58	0,63	0,69	0,80	0,9-
X_A, Ω	0,161	0,144	0,117	0,090	0,072	0,062	0,047	0,039
X_B, Ω	0,315	0,282	0,238	0,183	0,150	0,127	0,096	0,080
X_G, Ω	0,168	0,151	0,124	0,096	0,079	0,069	0,053	0,043
$X_{A,C} \text{ vid}$	0,165	0,148	0,121	0,093	0,076	0,066	0,050	0,041

Lai eksperimentāli iegūtos datus varētu ekstrapolēt plašākā apgabalā, mainot FGT parametrus, meklējam analītisku izteiksmi funkcijas $X_L = f(l, W_1)$ aprakstīšanai.

Uz taisnstūrveida serdēņa ar viduslīnijas garumu l un šķērsriezuma laukumu S uzlīmēt tinumam ar vijumu skaitu W_1 induktīvo pretestību aprēķina pēc formulas:

$$X_L = \frac{2\pi f W_1^2 \mu_0 \mu S}{l}, \quad (1)$$

kur $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m – magnētiskā konstante; f – maiņstrāvas frekvence, s^{-1} ; μ – elektrotehniskā tērauda relatīvā magnētiskā caurlaidība, kura samazinās, palielinoties magnētiskā materiāla piesātinājumam.

Parametru μ var atrast no elektrotehniskā tērauda magnetizācijas līknes $B_m = \mu_0 \mu H_m$, kur B_m – indukcija, Tl; H – intensitāte, A/m. Pētījumi parādīja, ka dažu elektrotehnisko tēraudu, piemēram ≈ 380 , magnetizācijas līkni $B_m = f(H_m)$ var aproksimēt ar empīrisku trigonometrisku izteiksmi [4,5]:

$$B_m = \alpha \arctg (\beta H_m), \quad (2)$$

kur α un β – konstanti koeficienti.

Pielīdzinām analītisko un empīrisko izteiksmi $\mu_0 \mu H_m = \alpha \arctg(\beta H_m)$. Tā kā pēc pilnās strāvas likuma $I_1 W_1 = H \cdot l$, tad $H = I_1 W_1 / l$, bet parametru μ var izteikt kā funkciju no magnetizējošā spēka $I_1 W_1$:

$$\mu = \frac{1 \cdot \alpha \arctg\left(\frac{\beta}{l} I_1 W_1\right)}{\mu_0 I_1 W_1} \quad (3)$$

Ievietojam izteiksmi (3) formulā (1).

Tad iegūstam funkcijas $X_L = f(I_1 W_1)$ analītisko izteiksmi:

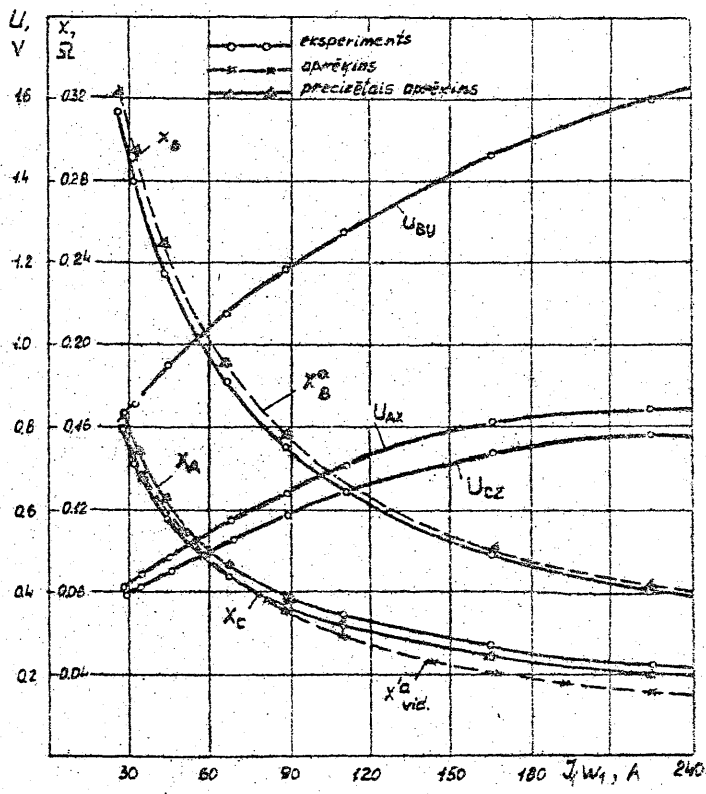
$$X_L = \frac{2\pi f \cdot W_1 \cdot S \alpha \arctg\left(\frac{\beta}{l} I_1 W_1\right)}{I_1} \quad (4)$$

Tā kā $S = \text{const}$ un $l = \text{const}$, tad ievēdam jaunus apzīmējumus $S \cdot \alpha = a$; $\beta/l = b$. Koeficientu a un b noteikšanai izmantojam raksturlielni $X_{A,C_{\text{vid}}} = f(I_1 W_1)$ (1.tab.), kas iegūta kā raksturlielnu $X_A = f(I_1 W_1)$, kur $X_C = f(I_1 W_1)$ vidējais aritmētiskais, tādā veidā izlīdzinot transformatora serdenu parametru izkliedi.

Ievietojot izteiksmē $X_L = X_{A,C_{\text{vid}}}(I_1 W_1)$ un pārējos zināmos lielumus, iegūstam transcendentu vienādojumu sistēmu, kuru atrisinot, atrodam koeficientu a un b skaitliskās vērtības: $a = 1,21 \cdot 10^{-4}$ Wb; $b = 0,05 \text{ A}^{-1}$. Tad tinumu W_A , W_C vidējo induktīvo pretestību X_{vid}^a kā funkciju no ampērvieniem $I_1 W_1$ var aprēķināt pēc empīriski - analītiskas izteiksmes:

$$X_{\text{vid}}^a = \frac{0,038 W_1 \arctg(0,05 I_1 W_1)}{I_1} \quad (5)$$

Izmantojot iegūto izteiksmi, aprēķināta un grafiski attēlota aproksimēta raksturlielne $X_{\text{vid}}^a = f(I_1 W_1)$ (2.tab., 3.att.). Aproksimācijas kļūda r' pieaug,



3.ait. Pāgriešēja transformatora raksturlieknes

palielinoties serdena piesātinājumam un pie $I_1 W_1 = 220 \text{ A}$ sasniedz 24%. Pie kam reālais serdena piesātinājums palielinās mazāk par aprēķināto. Tas izskaidrojams ar serdena konstruktīvo izveidojumu. Spraugas starp elektrotehniskā tērauda plāksnītēm jūtami samazina tā piesātinājumu pie lielām ampērvijumiem.

Lai samazinātu aproksimācijas kļūdu līdz $\pm 5\%$, ieviešam izteiksmē (5) mainīgu korekcijas koeficientu, kā lineāru funkciju no $I_1 W_1$ ($C = 1 + K I_1 W_1$), kur K - konstants koeficients ($K = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ A}^{-1}$). Tad korigēto raksturlielni apraksta funkcija:

$$\alpha''^a_{\text{vid}} = \frac{0,038 W_1 (1 + 0,00125 \cdot I_1 W_1) \operatorname{arctg}(0,05 I_1 W_1)}{I_1} \quad (6)$$

Kā liecina aprēķini (2.tab.), precizētās raksturlieknes $\alpha''^a_{\text{vid}} = f(I_1 W_1)$ aproksimācijas kļūda intervālā $I_1 W_1 = (27,5 \dots 220) \text{ A}$ nepārsniedz $\pm 5\%$ ($-3,3\% \leq \gamma'' \leq +2,4\%$), kas apmierina inženiertehniskajiem aprēķiniem nepieciešamo precizitāti.

Kā liecina mērījumu rezultāti, tinuma W_B induktīvā pretestība X_B aptuveni divreiz lielāka par $X_{A,C_{\text{vid}}}$ (1.tab.), jo tinums W_B uztiets uz abiem serdeniem un induktīvā pretestība ir tieši proporcionāla magnētiskās ķēdes šķērsgriezuma laukumam S . Tātad

$$X_B^a(I_1 W_1) \approx 2 X_{\text{vid}}^a(I_1 W_1) \quad (7)$$

Izmantojot izteiksmes (6), (7), var pētīt fāzgriezesja transformatora parametrus visā tā darba apgabalā pie dažādām $I_1 W_1$ kombinācijām.

Fāzgriezēja transformatora aprēķinātie parametri
pēc empiriski analītiskajām funkcijām (5), (6)

I, A	2,5	3	4	6	8	10	15	20
$I_1 W_1, A$	27,5	33	44	66	88	110	165	220
X_{vid}^a, Ω	0,158	0,143	0,120	0,089	0,070	0,058	0,041	0,031
$r', \%$	+4,2	+3,4	+0,9	+4,3	+7,9	+12,1	+18	+24%
X_{vid}^a, Ω	0,163	0,149	0,126	0,096	0,078	0,066	0,049	0,040
$r'', \%$	+1,2	-0,8	-3,3	-3,2	-2,6	0	+2	+2,4
X_B^a, Ω	0,326	0,298	0,252	0,192	0,156	0,132	0,093	0,090
$r_B, \%$	-3,5	-5,7	-5,9	-4,9	-4,1	-3,9	-2,1	0

3. FĀZGRIEZĒJA TRANSFORMATORA UN ELEKTRODZINĒJU PARAMETRU SALĪDZINĀŠANA

Salīdzinām elektrodzinēju ekvivalento pilno pretestību pie nominālās slodzes Z_n ar atbilstošā fāzgriezēja transformatora maksimālo induktīvo pretestību X_B^a . So pretestību attiecību jebkurā gadījumā jāapmierina sekojošas prasības: $\delta = (X_B^a / Z_n) \cdot 100\% < 5\%$.

Salīdzināsim parametrus X_B^a un Z_n vidējas un lielas jaudas elektrodzinējiem (15kW...160kW). Norādītajā diapazonā izvēlamies četrus elektrodzinējus ar jaudu: $P_1=15kW$; $P_2=37kW$; $P_3=75kW$; $P_4=160kW$ un sinhrono rotācijas frekvenci $n_s=1500 \text{ min}^{-1}$.

Nominālo pilno pretestību aprēķinām, izmantojot rokasgrāmatu datus [1,3] un T-veida ekvivalento shēmu

(1.att.). Tad saskaņā ar 1.attēlu asinhronā dzinēja vienas fāzes ekvivalento nominālo pretestību var aprēķināt pēc formulas [2]:

$$Z_n = (R_1 + \frac{R_2'}{s_n} a_{s_n})^2 + (X_1 + X_2' b_{s_n})^2, \quad (8)$$

kur a_{s_n} un b_{s_n} - bezdimensiju koeficienti, kas noteikti pie nominālās slīdes s_n :

$$a_{s_n} = \frac{1}{(\frac{R_2'}{X_2' s_n})^2 + (1 + \frac{X_2'}{X_1})^2} \quad (9)$$

$$b_{s_n} = a_{s_n} (1 + \frac{X_2'}{X_1} + \frac{R_2'^2}{X_1 X_2' s_n^2}), \quad (10)$$

kur R_2' - pie statora reducētā rotora tinuma fāzes aktīvā pretestība, Ω ;

X_2' - pie statora reducētā rotora tinuma fāzes induktīvā pretestība, Ω ;

X_μ - magnetizācijas ķēdes induktīvā pretestība, Ω ;

R_1 - statora tinuma fāzes aktīvā pretestība, Ω ;

X_1 - statora tinuma fāzes induktīvā pretestība, Ω .

4A sērijas asinhrono dzinēju un fāzgrīzēja transformatora tehniskie dati un aprēķinātie parametri sakopoti 3.tabulā. Apskatītajā jaudu diapazonā elektrodzinēja pieslēgkabeļa dzīslas vienreiz izvilktas caur PGT sērdeni logiem. Tādēļ formulā (6) ievieto $W_1 = 1$, bet strāvu I_1 izvēlas vienādu ar attiecīgā elektrodzinēja nominālo strāvu I_n . Lai kontrolētu slodzes strāvu mazākas jaudas elektrodzinējiem, jāpaliekina PGT primāro vijumu skaits.

Elektrodzinēju grupas pilnā pretestība Z_n aprēķināta pēc ekvivalentās shēmas parametriem (formula 8) un izmantojot Oma likumu $Z_n = U_p / I_n$ skaitli iekavās). Rezultātu atšķirību vidēji par 5% izraisa T-veida ekvivalentās shēmas idealizācija, kurā nav ņemti vērā visi faktori, kas iespaido elektrodzinēja slodzes strāvu.

4A sērijas asinhrono dzinēju un fāzgriezēja
transformatora ekvivalentās shēmas
atbilstošie parametri

AD un PGT parametri	Elektrodzinēja tips			
	4A160S4Y3	4A200M4Y3	4A250S4Y3	4A315S4Y3
Nominālā jauda P, kW	15	37	75	160
Nominālā strāva I_n, A	29	69	138	285
Nominālā slīde $s_n, \%$	2,5	1,7	1,3	1,7
Statora tinuma aktīvā pretestība R_1, Ω	0,357	0,125	0,040	0,014
Statora tinuma induktīvā pretes- tība X_1, Ω	0,652	0,275	0,142	0,082
Rotora tinuma reducētā aktīvā pretestība R_2', Ω	0,190	0,058	0,022	0,013
Rotora tinuma re- ducētā induktīvā pretestība X_2', Ω	0,985	0,448	0,176	0,116
Magnetizācijas kēdes induktīvā pretestība X_μ, Ω	30,3	14,1	7,04	3,54
AD aprēķinātā pilnā pretestība Z_n, Ω	7,83(7,59)	3,47(3,20)	1,70(1,60)	0,78(0,77)
PGT aprēķinātā induktīvā pre- testība X_B, Ω	0,0026	0,0016	0,001	0,0006
$\delta_{\max} = \frac{X_B}{Z_n} \cdot 100\%, \%$	0,034	0,05	0,06	0,08

Apskatītajā jaudu diapazonā FGT maksimālā induktīvā pretestība X_B^a veido mazāk par 0,1% no atbilstošā elektrodzinēja pilnās pretestības Z_n . Tas nozīmē, ka FGT praktiski neiespaido sprieguma kritumu uz elektrodzinēja statora tinumiem un strāvu asimetriju. FGT parametru iespāids jāņem vērā, izstrādājot elektrodzinēju aizsardzības ierīču pārbaudes standus, kuros elektrodzinēja slodzes strāva tiek modelēta ar statisku iekārtu, piemēram, trīsfāzu transformatoru, kuru baro ar pazeminātu spriegumu.

4. FĀZGRIEZĒJA TRANSFORMATORA UN ELEKTRODZINĒJU AIZSARDZĪBAS IERĪCU PĀRBAUDES STENDA PARAMETRU SASKAŅOSANA

Izstrādājot standu aizsardzības ierīču pārbaudei un regulēšanai visā darba apgabalā, jānosaka maksimāli patērētā pilnā jauda S , fāzgriezēja transformatora vijumu skaits W_1 un maksimālā induktīvā pretestība X_B^a , kā arī stenda transformatora pilnā pretestība Z_s .

Atbilstoši 3.tabulas datiem izvēlamies stenda darbības apgabalu $I_1 W_1 = 30 \dots 300 \text{ A}$. Stends patērē maksimālo jaudu pie $I_1 W_1 = 300 \text{ A}$. Pilnās jaudas izteiksmi $S = I_1^2 Z_s$ dalām un reizinām ar W_1^2 . Tad iegūstam jaudas formulu, izteiktu ar fāzgriezēja transformatora ampērvijumiem $I_1 W_1$ un stenda pilno pretestību Z_s , kuru savukārt izsakām ar FGT induktīvo pretestību X_B^a pēc nosacījuma $X_B^a \leq 0,05 Z_s$. Tad $Z_s \geq 20 X_B^a$. Izvēlamies minimāli pieļaujamo Z_s vērtību ($Z_s = 20 X_B^a$). Pamatojoties uz dotajiem nosacījumiem, stenda patērēto pilno jaudu var izteikt sekojoši:

$$S = I_1^2 Z_s = \frac{(I_1 W_1)^2 Z_s}{W_1^2} = 20 \frac{(I_1 W_1)^2}{W_1^2} X_B^a. \quad (11)$$

Ievietojot izteiksmes (6), (7) formulā (11), iegūstam izvērstu formulu:

$$S = 1,52 I_1 W_1 (1 + 0,00125 I_1 W_1) \arctg (0,05 I_1 W_1) \quad (12)$$

Tātad, izpildot iepriekš izklāstītos nosacījumus, stenda pilnā patērētā jauda S atkarīga tikai no PCT ampērvijumiem. Pie $I_1 W_1 = 300$; $S = S_{\max} = 943 \text{ W} < 1 \text{ kW}$.

Noteiksim stenda barošanas spriegumu U_b diviem variantiem.

1. variants

$W_1 = 100$ vij. Pēc formulas (7) aprēķinām $X_B^2 = 5,2 \Omega$. Tad $Z_s = 20,5,2 = 104 \Omega$, bet $U_b = I_{1\max} \cdot Z_s = 3,104 = 312 \text{ V}$. Pie izvēlētajiem parametriem stenda barošanai nepieciešams paaugstināts fāzes spriegums, kas nav racionāli no praktiskā un drošības viedokļa.

2. variants

$W_1 = 10$ vij. Tad $X_B^2 = 0,052 \Omega$; $Z_s = 20,0,052 = 1,04 \Omega$; $U_b = 30,1,04 = 31,2 \text{ V}$.

Otrā variantā priekšrocības ir acīmredzamas, jo stenda barošanai var izvēlēties pazeminātu spriegumu $U_{b\text{on}} = 36 \text{ V}$, kas nodrošina tā augstu ekspluatācijas drošību pie aizsardzības ierīču pārbaudes un iestatīšanas sērijveida ražošanā.

5. SECINĀJUMI

1. Uz eksperimentālo datu bāzes iegūtās empiriski-analitiskās izteiksmes dod iespēju aprēķināt fāzgriezeļa transformatora induktīvās pretestības ar maksimālo kļūdu $r_{\max} < \pm 5\%$, kas apmierina inženiertehnisko aprēķinu precizitātes prasības.
2. Fāzgriezeļu transformatora pretestība sastāda mazāk nekā $0,1\%$ no kontrolējamo elektrodzinēju ekvivalentās pretestības, tādēļ praktiski neiespaido tieša spriegumu sadalījumu un strāvas asimetriju.
3. Piedāvātā fāzgriezeļa transformatora aprēķina metodika dod iespēju aprēķināt un optimizēt kombinētās elektroniskās aizsardzības ierīču pārbaudes standu parametrus sērijveida ražošanā.

LITERATŪRA

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Арошин, Е. А. Соболевская. - М.: Энергостроиз-

дат. 1982. - 504с.

2. Гриндулис А.О. Шнидерс А.А. Расчет и разработка стенда для испытания фазочувствительных устройств защиты электродвигателей//Труды ЛСХА/Латв.с.-х.акад. 1987. Вып.238. С.13-23.
3. Справочник по электрическим машинам: В 2Т/Под общ. ред. И.П.Копылева и Б.К.Клокова. Т.1. - М.: Энергоатомиздат. 1988. - 456с.
4. Шнидерс А.А. Повышение надежности и эффективности фазочувствительной защиты//Труды ЛСХА/Латв.с.-х.акад. 1988. Вып. 251. С.24-37.
5. Шнидерс А.А. Разработка и исследование фазочувствительных устройств комбинированной защиты асинхронных электроприводов сельскохозяйственного назначения: Автореф. дис. к.т.н. - Челябинск. 1982. - 16с.

PHASE INVERSION TRANSFORMERS AND MOTORS PARAMETRES ANALYSIS AND HARMONIZATION

A.Sniders

LATVIAN UNIVERSITY OF AGRICULTURE

S u m m a r y

In this article the experimental and analytical methods of phase inversion transformer (PIT) research are discussed. The special PIT is made with three primary windings and two secondary windings for AC motors load and three phase current asymetry testing.

The construction, the vector diagrams and methods of PIT reactive resistance calculation are given.

The comparing of PIT parametres and AC motors parametres from 25 kW to 160 kW is performed. Some examples of AC motors combined protection test stand parametres calculation and its harmonization with the parametres of PIT are described.

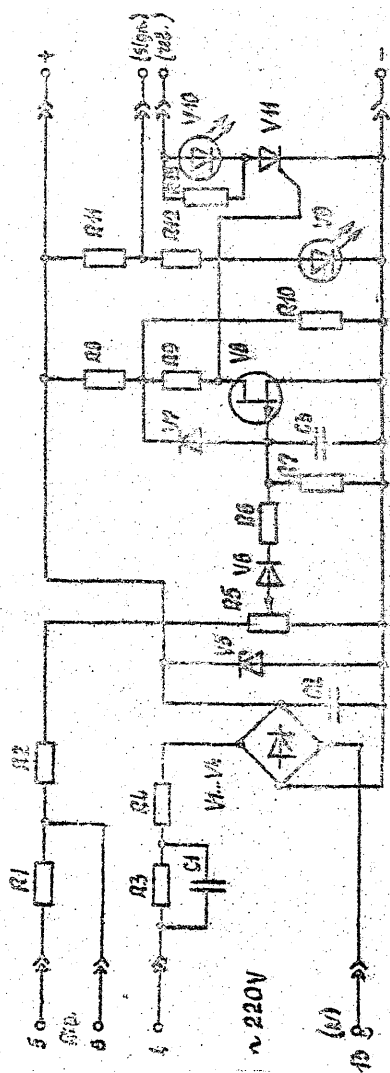
ELEKTRODZINĒJU KOMBINĒTĀS ELEKTRONISKĀS AIZSARDZĪBAS
TERMOSTABILITĀTES UN PARAMETRU IZKLIEDES PĒTĪJUMI

Приведены принципиальные электрические схемы модулей контроля сопротивления изоляции, неподфазного режима, перегрузки и нагрева статорной обмотки электродвигателя; таблицы экспериментальных исследований и гистограммы распределения параметров срабатывания модулей комбинированной электронной защиты трехфазных асинхронных электродвигателей. Проанализированы данные исследований термостабильности устройств защиты модульного типа при температуре окружающей среды $+20$ и -25 °C.

Elektrodzinēju kombinētās aizsardzības (EKA) elektroniskā shēma izvietota uz trim iespiestajām platēm, kuras zaslēdz ar saspraucņiem. Katra plate veido atsevišķu moduli, kuru atteices gadījumā ērti nomainīt. Līdz ar to paaugstinās visas ierīces remontderīgums un funkcionālais drošums.

Izolācijas pretestības kontroles modulis (IPKM) sastāv no barošanas ķēdes (R3, R4, C1, C2, V1...V5), elektrodzinēja statora tinuma pretestības mērīšanas ķēdes (R1, R2, R5...R10, C3, V6...V8, V11) un signalizācijas ķēdes (R11...R13, V9, V10) (1.att.). Gaismas diode V9 signalizē, ka barošanas ķēdē ir darba kārtībā un uz to padots spriegums ~ 220 V.

Elektrodzinēja izolācijas pretestību kontrolē ar sprieguma dalītāju R1, R2, R5. Parāleli dalītāja plecam R2, R5 starp spailēm 6, 13 (N) slēgta tinumu izolācijas pretestība R_{iz} . Izolācijas pretestības kontrole notiek elektrodzinēja palaišanas brīdī. Ja R_{iz} lielāka par normu R_n , tad potenciāls uz potenciometra R5 slidkontakta ir pietiekams, lai aizvērtu lauka tranzistoru V8. Līdz ar to pieaug potenciāls uz rezistora V11 vadības elektroda, tas atveras un ieslēdz gaismas diodi V10, kas signalizē, ka $R_{iz} > R_n$. Vien-



1. att. Izcelsijas protestības kontroles moduļa principshēma

elektriskā shēma

laicīgi tiek padots signāls uz aizsardzības releju. Ja $R_{12} < R_n$, tad tiristors V11 neatveras, gaismas diode V10 neiedegas un aizsardzības relejs neieslēdzas.

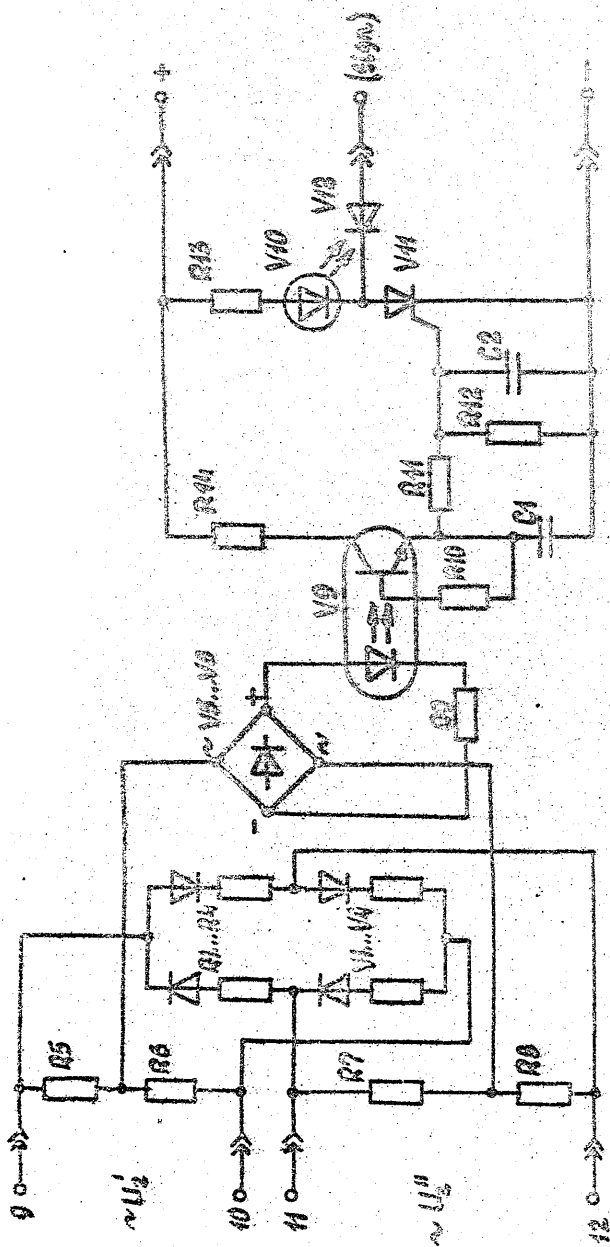
Ja IPKM diagnosticē elektrodzinēja tinumu pretestību tā ieslēgšanas brīdī, tad fāžu kontroles modulis (PKM) kontrolē fāžu nobīdes leņķi α starp trīsfāžu strāvām I_A , I_B , I_C elektrodzinēja darbības laikā pēc tā palaišanas. PKM sastāv no diviem sprieguma dalītājiem (R5...R8), kas slēgti fāzgriezēju transformatoru bloka izejā, fāžu detektora (R1...R4, V1...V4), taisngrieža tiltiņa (V5...V8) ar slodzes pretestību R9, optronu pastiprinātāja (R10, V9), laika aiztures ķēdes (R11, R14, C1), filtra (R12, C2), tiristora V11 un signalizācijas ķēdes (R13, V10, V12) (2.att.).

Izzūdot jebkurai fāzei, parādās spriegums starp dalītāju (R5, R6, R7, R8) viduspunktiem, kurš atver optronu V9. Ar nelielu laika aizturi uzlādējas kondensators C1, atveras tiristors V11 un iedegas gaismas diode V10, kas signalizē par fāzes izzušanu. Vienlaicīgi caur diodi V12 tiek bloķēts aizsardzības relejs, kurš izslēdz elektrodzinēju.

Elektrodzinēja pārslodzes un statora tinumu temperatūras kontroles modulis (3.att.) sastāv no nominālā režīma iestatīšanas ķēdes (R7...R10, V4, V5, C2), pārslodzes kontroles ķēdes (R1...R6, C1, C3, V1...V3, V7), temperatūras kontroles ķēdes (R13, R14, C4, V11) un divām signalizācijas ķēdēm (R11, V6, R12, V10), kuras atsaista diodes (V8, V9).

Pārslodzes kontroles ķēdi atbilstoši elektrodzinēja nominālajam režīmam iestata ar potenciometru R10 pēc gaismas diodes V4 indikācijas. Spaiļes 9, 10 pieslēgtas fāzgriezēja transformatora sekundārajam tinumam, kura izejas spriegums U_2 proporcionāls slodzes strāvai divās fāzēs.

Rodoties elektrodzinēja pārslodzei, atveras tiristors V5 un sāk uzlādēties kondensators C1, kura uzlādes laiks apgriezti proporcionāls slodzes koeficientam pēc strāvas $K_1 = I/I_{nom}$. Pie ilgstošas pārslodzes kondensators C1 uzlādējas līdz lauka tranzistora V3 aizvēršanās spriegumam, kā rezultātā atveras tiristors V7 un bloķē aizsardzības releju. Vienlaicīgi iedegas gaismas diode V6, kura signalizē par ilgstošu elektrodzinēja pārslodzi.



2.att. fazų kontrolės modulis principinė elektroninė schema

Spailēm 7, 8 pieslēdz pēzistorus, kas iebūvēti elektro-
dzinēja tinumos un kontrolē to temperatūru. Kad temperatūra
sasniegš kritisko vērtību, ievērojami palielinās pēzistoru
elektriskā pretestība, kas izraisa potenciāla pieaugumu uz
tiristora V11 vadības elektroda. Tas atveras un bloķē
aizsardzības releju. Vienlaicīgi iedegas gaismas diode V10,
kas signalizē, ka elektrodzinēja tinumu temperatūra
pārsniedz kritisko vērtību.

Pāžu kontroles, pārslodzes kontroles un temperatūras
kontroles ķēžu eksperimentālo pētījumu dati pie vides
temperatūras $T=+20^{\circ}\text{C}$ sakopoti 1.tabulā. Tika izpētīti
trīsdesmit paraugi. Tas deva iespēju noteikt attiecīgo
elektronisko ķēžu nostrādes parametru izkliedi un iegūt to
sadalījumu histogrammas.

1.tabula

Pāžu, pārslodzes un temperatūras kontroles ķēžu nostrādes
parametri pie vides temperatūras $T = +20^{\circ}\text{C}$

Parau- ga numurs	Nostrādes laika aizture τ, s				Temperatūras kontroles ķēdes nostrā- des pretes- tība R_T , kΩ
	A	B	C	Tenolo- ģiska pār- slodze $k_1=I/I_{\text{nom}}=1,5$	
1.	2,19	2,26	2,91	27,6	2,4
2.	0,70	0,84	0,96	38,3	2,4*
3.	1,25	1,27	1,34	49,0	2,0*
4.	0,94	0,98	1,11	32,8	2,4
5.	1,27	1,18	1,42	45,8	2,9
6.	1,29	1,25	1,45	33,7	2,3
7.	0,92	0,88	1,02	49,3	2,7
8.	1,49	1,60	1,71	45	2,8
9.	2,89	8,1	3,54	33,4*	2,1
10.	1,24	1,18	1,39	60,6	2,1
11.	1,44	2,17	1,56	42,3	2,6
12.	0,96	0,93	1,12	39,0	2,4
13.	1,46	1,46	1,63	31,7*	2,3
14.	1,61	2,61	1,65	27,0	2,4*
15.	0,78	0,83	0,91	42,0	3,2*
16.	1,16	1,22	1,11	50,3	2,6
17.	1,16	1,08	1,42	40,8	2,6
18.	2,60	2,30	3,20	34,4	2,4
19.	0,52	0,58	0,74	36,8	2,4
20.	0,66	0,71	0,86	43	2,5
21.	1,16	1,16	1,33	35,9	2,3
22.	1,04	0,99	1,19	34,1	2,5

1. tabulas turpinājums

Parauga numurs	Nostrādes laika aizture τ , s			Tehnoloģiska pārslodze $k_f = I_f / I_{nom} = 1,5$	Temperatūras kontroles ķēdes nostrādes pretestība R_T , kΩ
	A	B	C		
23.	0,93	0,94	1,04	50	2,5
24.	0,96	0,91	1,0	47,4	2,4
25.	1,73	1,60	1,70	33,6	2,1
26.	0,58	0,50	0,75	28,0	2,6
27.	0,72	0,92	1,02	34,3	2,6
28.	1,12	1,14	1,30	30,5	2,4
29.	0,89	0,81	0,96	32,3	2,3
30.	1,24	1,12	1,33	28,3	2,5

Vidējais aritmētiskais $\bar{\tau}_v = 1,30$ $\bar{\tau}_v = 38,2$ $\bar{R}_v = 2,45$

Dispersija $s^2 = \sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau}_v)^2 / (n-1)$ 51,1 0,036

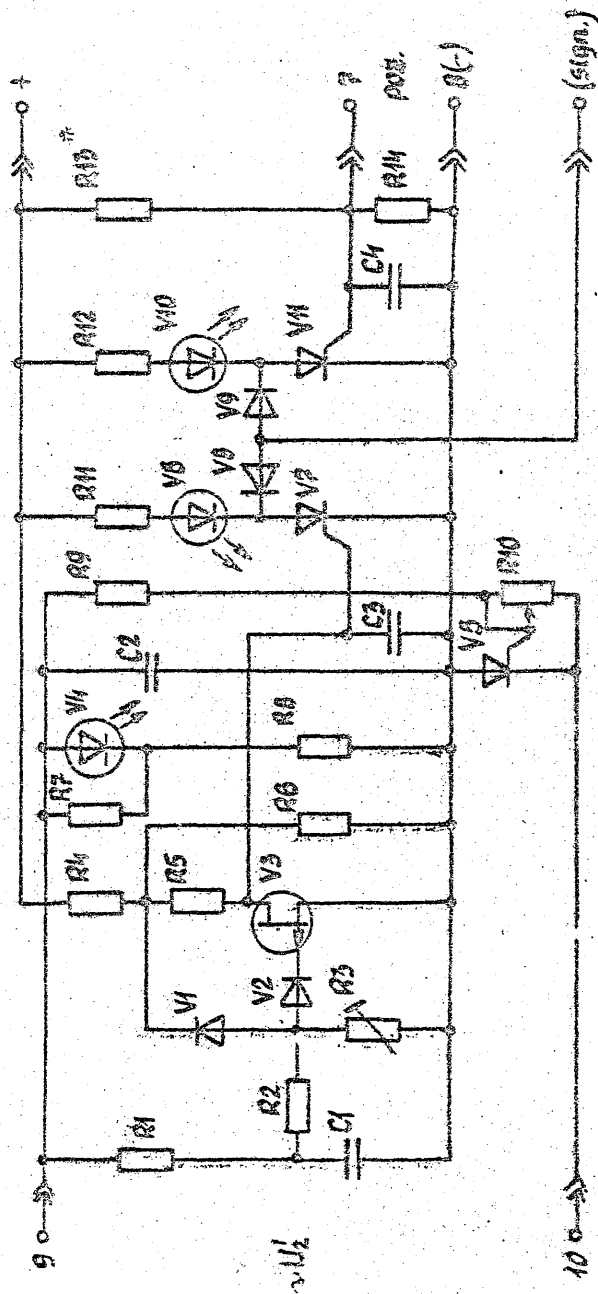
Standartklāda $s_x \% = \frac{s}{\bar{\tau}_v} \cdot 100 \%$ 15 % 8 %

Nostrādes laika kavējumu vidējais aritmētiskais pie pārtrauktās fāzes aprēķināts visām trim fāzēm A, B un C kopā. Aprēķinot nostrādes parametru τ un R_T vidējos aritmētiskos $\bar{\tau}_v$ un $\bar{R}_v$ atņemtas nejaušo lielumu minimālās un maksimālās vērtības, kas 1. tabulā apzīmētas ar zvaigznīti.

Lai uzzīmētu lielumu τ un R_T sadalījuma histogrammas, to izmaiņas diapazons sadalīts vienādos intervālos. Pārbaudāmo paraugu procentuālais daudzums, kas iekļaujas attiecīgajos mainīgo lielumu τ un R_T intervālos apzīmēts ar n.

Fāžu kontroles ķēdes nostrādes kavējuma laika τ sadalījuma histogramma uzņemta pie slodzes koeficienta $k_f = I_f / I_{nom} = 1,5$, kur I_f - elektrodziņēja statora strāva pie pārtrauktas fāzes; I_{nom} - nominālā strāva.

Histogrammas (4.att.) un 1. tabulas datu analīze parāda, ka visi pārbaudītie paraugi atbilst tehniskajiem noteikumiem, pēc kuriem fāžu kontroles ķēdes nostrādes laika kavējums nedrīkst pārsniegt 10 sekundes. Apmēram 50 % pār-



3.att. Pārslodzes un temperatūras kontroles moduļa principiālā elektriskā shēma

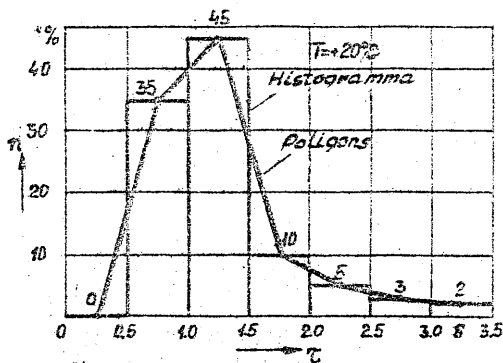
baudīto paraugu nostrādā ar laika kavējumu $\tau = 1,0 \dots 1,5$ s. Laika kavējums $\tau < 0,5$ s nav vēlams, jo var notikt viltus nostrādes pie īslaicīgas fāžu asimetrijas.

Pārslodzes kontroles ķēdes darbība tika pētīta pie slodzes koeficienta $k_1 = I/I_{\text{nom}} = 1,5$, kur I - elektrodzinēja reālā slodzes strāva. Visi pārbaudītie paraugi, izņemot vienu, iekļaujas tehniskajos noteikumos paredzētajās normās ($\tau = 35 \pm 17$ s). Apakšējo laika τ robežu nosaka iespējamās viltus nostrādes pie īslaicīgām pārslodzēm, bet augšējo robežu - statora tinumu pārkaršana pie ekstremāliem elektrodzinēja darba apstākļiem. Apmēram 80 % pārbaudīto paraugu nostrādā ar laika kavējumu $\tau = 30 \dots 50$ s, kas ir optimāls rādītājs lauksaimniecībā ekspluatējamu elektrodzinēju aizsardzībai (5.att.). Pārslodzes kontroles ķēdes nostrādes laika τ sadalījuma poligona maksimums gandrīz sakrīt ar vidējo aritmētisko $\tau_v = 38,2$ s.

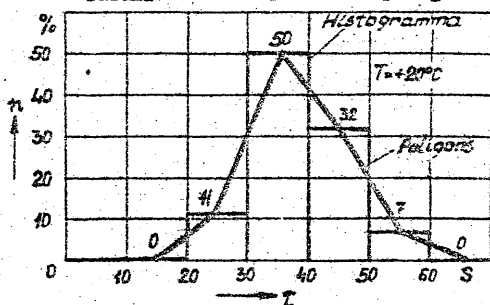
Temperatūras kontroles ķēde nostrādā pie pozistoru pretestības $R_T = 2,0 \dots 2,9$ k Ω ar maksimālo novirzi vienā gadījumā $R_{T\text{max}} = 3,2$ k Ω un vidējo aritmētisko $R_T = 2,45$ k Ω . Visu paraugu nostrādes parametri iekļaujas pieļaujamās robežās ($1,6$ k $\Omega \leq R_T \leq 4,0$ k Ω) (6.att.).

Elektronikas moduļu termostabilitāte tika pētīta pie temperatūrām $+20^\circ\text{C}$ un -25°C . Lai iegūtu -25°C , temperatūru elektronikas bloki tika ievietoti saldēšanas kamerā un izturēti divas stundas. Tika izpētīts pārslodzes kontroles ķēdes (3.att.) kondensatora C_1 uzlādes process pie temperatūrām $+20^\circ\text{C}$ un -25°C , mainot slodzes koeficientu pēc strāvas K_1 robežās no 1,25 līdz 6,0 (7.att.). Uzlādes raksturlieknes $U_{C1} = f(\tau)$ parāda, ka zemās temperatūrās samazinās kondensatora C_1 uzlādes ātrums un pazeminās bloka nostrādes sliekšnis. Tā pie $T = +20^\circ\text{C}$ nostrādes sliekšnis $U_n = 3,1$, bet pie $T = -25^\circ\text{C}$ $U_n = 2,9$ V. Kondensatora C_1 uzlādes ātruma samazināšanās pie zemām temperatūrām kompensē bloka nostrādes sliekšņa pazemināšanos, kā rezultātā samazinās laika-strāvas raksturliekņu izkliede temperatūras iespaidā. Šādu efektu var izskaidrot ar lauka tranzistora īpašībām, kurš efektīvāk aizveras pie zemām temperatūrām.

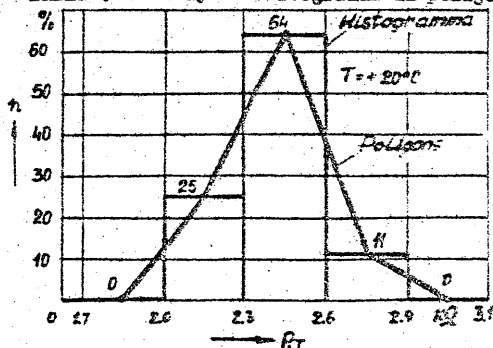
Lai optimizētu elektrodzinēja atkārtotas ieslēgšanas



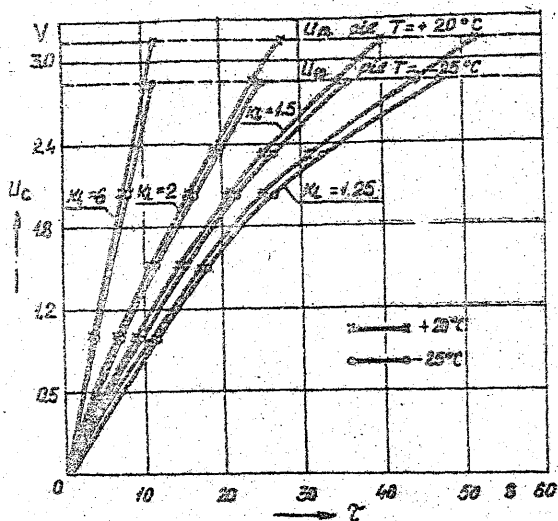
4.att. Pāžu kontroles ķēdes nostrādes kavējuma laika τ sadalījuma histogramma un poligons



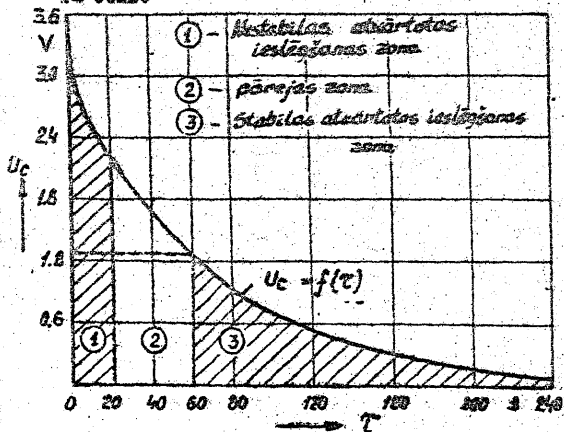
5.att. Pārslodzes kontroles ķēdes nostrādes kavējuma laika τ sadalījuma histogramma un poligons



6.att. Pozistoru pretstības R_T sadalījuma histogramma un poligons



7.att. Pārslodzes kontroles laika aiztures kādes kondensatora C_1 (3.att.) uzlādes raksturliņķnes $U_{C1}=f(\tau)$ pie $T = \text{const}$



8.att. Pārslodzes kontroles laika aiztures kādes kondensatora C_1 izlādes raksturliņķnes pēc aizsardzības releja noslēgšanas

nosacījumus pēc pārslodzes ķēdes nostrādes, tika uzņemta kondensatora C1 izlādes raksturlikne (8.att.). Raksturlikne $U_{C1z1}=f(\tau)$ sadalīta trīs zonās: 1) nestabilas atkārtotas ieslēgšanās zona; 2) pārejas zona; 3) stabilas atkārtotas ieslēgšanās zona. Laika intervālā $\tau = 0...20$ s kondensators C1 izlādējas par 28 % no sākuma sprieguma vērtības, tādēļ pie atkārtotas aizsardzības releja ieslēgšanas pirmajā zonā notiek tā bieža pašizslēgšanās. Otrajā (pārejas) zonā releja pašizslēgšanās notiek ievērojami retāk, bet trešajā zonā tā vispār nav novērojama.

No tā var izdarīt secinājumus, ka minimālā pauze pirms elektrodzinēja atkārtotas ieslēgšanas $\tau = 20$ s, bet optimālā $\tau_{opt} = 60$ s.

Pārslodzes kontroles ķēdes un fāzu kontroles ķēdes pētījumu eksperimentālie dati pie vides temperatūrām $T = +20^{\circ}\text{C}$ un $T = -25^{\circ}\text{C}$ un dažādiem slodzes koeficientiem K_1 pēc strāvas sakopoti 2., 3., 4. un 5. tabulā.

2. tabula

Pārslodzes kontroles ķēdes eksperimentālās pārbaudes dati pie vides temperatūras $T = +20^{\circ}\text{C}$

Eksperi- menta numurs	Slodzes koeficients pēc strāvas $K_1 = I/I_{d \text{ min}}$					
	Nostrādes laika kavējums τ , s					
	$K_1=1,25$	1,5	2	3	6	
1.	61,9	39,3	26,5	20,1	11,5	
2.	62,5	40,0	27,2	19,5	11,4	
3.	62,9	40,8	27,5	19,7	11,5	
4.	63,6	39,5	26,8	19,4	11,3	
5.	63,2	39,0	26,3	19,5	11,2	
$\bar{v}$	62,8	39,7	26,9	19,6	11,4	
$\bar{v}$	Slodzes koeficients pēc strāvas $K_1 = I/I_{d \text{ max}}$					
	1.	40,8	30,5	22,5	16,2	9,3
	2.	41,2	31,0	22,4	15,8	9,5
	3.	40,7	31,5	22,6	15,9	9,2
	4.	41,0	30,9	22,0	16,1	9,4
	5.	40,9	31,2	22,3	16,0	9,4
	$\bar{v}$	40,9	31,0	22,4	16,0	9,4

3. tabula

Pārsildzes kontroles ķēdes eksperimentālās pārbaudes
dati pie vides temperatūras $T = -25^{\circ}\text{C}$

Eksperi- menta numurs	Slodzes koeficients pēc strāvas $K_1 = I/I_{d \text{ min}}$				
	Nostrādes laika kavējums τ , s				
	$K_1 = 1,25$	1,5	2	3	6
1.	52,5	34,8	24,1	17,7	11,3
2.	53,0	35,3	24,4	18,0	11,1
3.	52,8	35,0	24,0	17,8	11,2
4.	53,4	35,5	23,9	18,2	11,0
5.	53,1	34,8	24,2	18,1	11,3
$\bar{\tau}_v$	53,0	35,1	24,1	18,0	11,2
	Slodzes koeficients pēc strāvas $K_1 = I/I_{d \text{ max}}$				
1.	38,5	27,6	20,0	13,8	9,4
2.	38,2	27,5	19,5	14,2	9,1
3.	37,5	27,8	19,8	13,9	8,9
4.	37,6	28,0	20,2	14,0	9,0
5.	38,0	28,2	19,9	13,7	9,2
$\bar{\tau}_v$	38,0	27,8	20,0	13,9	9,1

4. tabula

Pāzu kontroles ķēdes eksperimentālās pārbaudes
dati pie vides temperatūras $T = +20^{\circ}\text{C}$

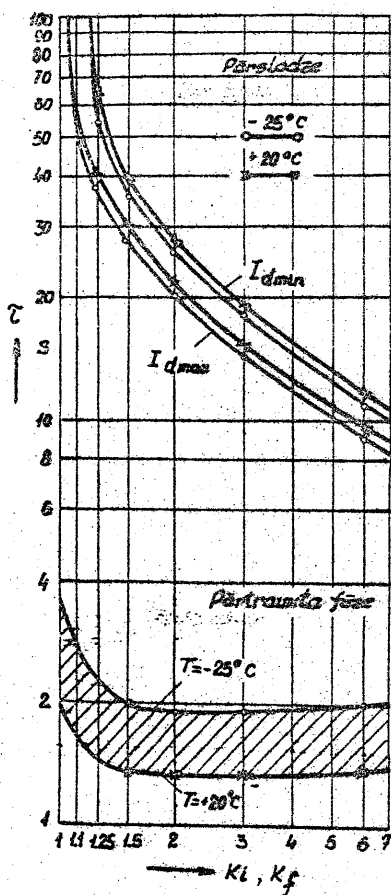
Pārtraukta fāze	Slodzes koeficients pēc strāvas $K_f = I_f/I_{\text{nom}}$			
	Nostrādes laikā kavējums τ , s			
	$K_f = 1,5$	2	3	6
A	1,28; 1,22; 1,22	1,46; 1,43; 1,45	1,66; 1,68; 1,65	1,59; 1,63; 1,60
B	1,28; 1,30; 1,28	1,17; 1,14; 1,15	1,20; 1,12; 1,16	1,30; 1,28; 1,29
C	1,45; 1,48; 1,40 1,32	1,33; 1,37; 1,35 1,32	1,35; 1,33; 1,36 1,39	1,30; 1,33; 1,31 1,40

5. tabula

Pāžu kontroles ķēdes eksperimentālās pārbaudes
dati pie vides temperatūras $T = -25^{\circ}\text{C}$

Pārtraukta fāze	Slodzes koeficients pēc strāvas $K_f = I_f / I_{\text{nom}}$			
	Nostrādes laika kavējums τ , s			
	1,5	2	3	6
A	1,79; 1,77; 1,78	2,15; 2,02; 2,1	2,46; 2,26; 2,30	2,49; 2,46; 2,47
B	1,96; 1,93; 1,95	1,65; 1,67; 1,66	1,57; 1,60; 1,55	1,74; 1,64; 1,68
C	2,24; 2,20; 2,23	1,94; 1,95; 1,99	1,91; 1,87; 1,90	1,98; 1,93; 1,90
$\bar{\tau}_V$	1,98	1,90	1,93	2,02

Pārslodzes kontroles ķēdes laika-strāvas raksturlielnes $\tau = f(K_f)$ tika uzņemtas pie aizsardzības ierīces darba diapazona minimālās strāvas $I_{d \min}$ un maksimālās strāvas $I_{d \max}$ mainot slodzes strāvu I attiecībā pret $I_{d \min}$ un $I_{d \max}$ robežās no 1,25 līdz 6,0. Tika izpētīti pieci paraugi un noteiktas to nostrādes laika kavējuma vidējās vērtības $\bar{\tau}_V$. Pēc šiem datiem uzkonstruētas laika-strāvas raksturlielnes $\tau = f(K_f)$ pie vides temperatūrām $T = +20^{\circ}\text{C}$ un $T = -25^{\circ}\text{C}$ (9.att.). Pētījumi liecina, ka pārslodzes kontroles ķēdei ir laba termostabilitāte temperatūru diapazonā no -25°C līdz $+20^{\circ}\text{C}$. Raksturlielņu izkliede lielākā mērā atkarīga no elektrodzinēja nominālās strāvas I_{nom} . Aizsardzības ierīces nostrādes laika kavējums pie $I_{\text{nom}} = I_{d \min}$ un $K_f = 1,5$ ir par 25 % lielāks nekā pie $I_{\text{nom}} = I_{d \max}$. Tas izskaidrojams ar pārslodzes kontroles signālu formas un amplitūdas atkarību no elektrodzinēja nominālās strāvas. Pāžu kontroles ķēdes raksturlielņu $\tau = f(K_f)$ izkliede ievērojami lielākā mērā atkarīga no temperatūras (9.att.) un pie $K_f = 1,5$ sastāda 50 %. Tādēļ tas neiespaido aizsardzības ierīces darbības kvalitāti, jo šī izkliede pilnībā iekļaujas tehniskajos noteikumos paredzētajās robežās.



9.att. Pārslodzes un fāžu kontroles ķēžu laika-strāvas raksturlieknes $\tau = f(K_f)$ un $\tau = f(K_l)$ temperatūru diapazonā no -25 līdz $+20^\circ\text{C}$: $I_{d \min}$, $I_{d \max}$ - aizsardzības ierīces darba diapazona minimālā un maksimālā

SECINĀJUMI

1. Elektrodzinēju kombinētās elektroniskās aizsardzības vienplates modifikācijas nomaiņa ar moduļu tipa aparātu paaugstina tās remontderīgumu un funkcionālo drošumu sakarā ar iespēju operatīvi diagnosticēt un nomainīt bojāto bloku.
2. Trīsdesmit paraugu eksperimentālā pārbaude pie vienes temperatūras $T = +20^{\circ}\text{C}$ liecina, ka kombinētās aizsardzības fāzu un temperatūras kontroles moduļu nostrādes parametri iekļaujas tehniskajās normās, pēc kā var prognozēt visas ģenerālkopas atbilstību tehniskajiem noteikumiem.
3. Pārslodzes kontroles ķēdes pētījumi parāda, ka tā ir termostabila, jo laika-strāvas raksturlikmu izkliede temperatūru diapazonā no -25°C līdz $+25^{\circ}\text{C}$ pie slodzes koeficienta $K_1 = 1,5$ nepārsniedz 15 %, kas pilnīgi iekļaujas tehniskajās normās un ir labāks rādītājs salīdzinājumā ar siltuma relejiem.
4. Fāzu kontroles ķēdes nostrādes laika kavējums τ pieaug 1,5 reizes, samazinoties vienes temperatūrai no $+20^{\circ}\text{C}$ līdz -25°C , bet pēc absolūtās vērtības nepārsniedzot tehniskajos noteikumos paredzēto normu ($\tau < 10$ s), tādēļ temperatūras iespaids kompensācija nav nepieciešama.

LITERATŪRA

1. Grundulis A., Sniders A., Trots R. Lieljaudas elektrodzinēju kombinētā aizsardzība// IIA raksti/Latv. Lauks. akad. 1991. 266. sēj. 1. daļa, 19-26. lpp.
2. Шнидерс А. А. Повышение надежности и эффективности фазочувствительной защиты//Труды ЛСХА/Латв. с.-х. акад. 1988. Вып. 251. С. 24-37.
3. Шнидерс А. А. Разработка и исследование бесконтактного устройства комбинированной защиты асинхронных двигателей сельскохозяйственного назначения//Труды ЛСХА/Латв. с.-х. акад. 1984. Вып. 214б С. 93-101.

THE ELECTROMOTOR'S COMBINED ELECTRONIC PROTECTION
THERMOSTABILITY AND PARAMETERS DISPERSION RESEARCH.

A. Sniders

LATVIAN UNIVERSITY OF AGRICULTURE.

S u m m a r y

The article deals with combined method of asynchronous motors protection against break-down (overload) regimes. The principle schemes of electromotors overload, three phases current asymetry, insulation resistance and stator windings temperature control modulus are described.

The experimental data tables and characteristics of electronic modulus parametres dispersion are given.

The time current characteristics of overload and current asymetry control modulus and its thermostability from -25°C to $+20^{\circ}\text{C}$ are analysed.

UDK 621.31:614.8

A.Galiņš

(Elektrotehnikas katedra)

ELEKTRODZINĒJA ELEKTRISKAS IZOLĀCIJAS KONTROLES SHEMAS

Приведены три схемы контроля сопротивления электрической изоляции асинхронного электродвигателя, не допускающие включения двигателя при понижении сопротивления изоляции ниже допустимого значения. Схемы предотвращают выход из строя обмотки электродвигателя при увлажненной изоляции. Приведены результаты исследований разработанных схем. Сняты кривые термостабильности.

Схемы разработаны как функциональные блоки электронного устройства комбинированной защиты асинхронного двигателя.

Elektrodzinēja elektriskās izolācijas kontroles shēma (IKS) paredzēta elektrodzinēja izolācijas pretestības kontrolei pirms dzinēja palaišanas. IKS kontrolē izolācijas elektrisko pretestību starp dzinēja tinumu un korpusu. IKS darbība pamatojas uz sprieguma krituma mērīšanu sprieguma dalītājam (1.att.), kur viena no pretestībām ir elektrodzinēja izolācijas pretestība R_{12} , bet otra — R ir dalītāja pretestība, kuras vērtība konstanta. Elektrodzinēja ekspluatācijas laikā dažādu apstākļu ietekmē mainās izolācijas pretestība R_{12} [1]. Pretestību R un R_{12} attiecība izmainās. Proporcioniāli notiek arī sprieguma U_{12} izmaiņa. Ja izolācijas pretestība R_{12} pasliktinās, kļūst mazāka, arī dalītāja izejas spriegums U_{12} samazinās. Ja izolācijas pretestība liela, tad spriegums U_{12} arī ir atbilstoši liels.

IKS salīdzina spriegumu U_{12} ar mums vēlamo, minimāli pieļaujamo spriegumu, kas atbilst pieļaujamajai izolācijas pretestībai R_{12p} . Lai izpildītu šo funkciju, nepieciešama salīdzināšanas shēma vai sliekšņa elements. IKS izveidē viens no pamatuždevumiem ir izstrādāt vienkāršu, stabilu un lētu sliekšņa elementu, kas precīzi nostrādā, ja spriegums U_{12} kļūst mazāks par iepriekš ieregulēto kontroles līmeni.

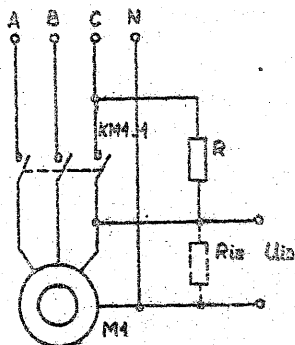
Praktiski tika izveidoti trīs shēmas varianti:

1. Par sliekšņa elementu izmantots komparators, kas izveidots uz operacionāla pastiprinātāja bāzes. Aizsardzības

ierices vadības shēma izveidota uz diskrētiem elementiem.

2. Sliekšņa elements tāds pats kā pirmajā shēmā, bet vadības shēma izveidota uz KMOP sērijas loģiskās mikroshēmas.

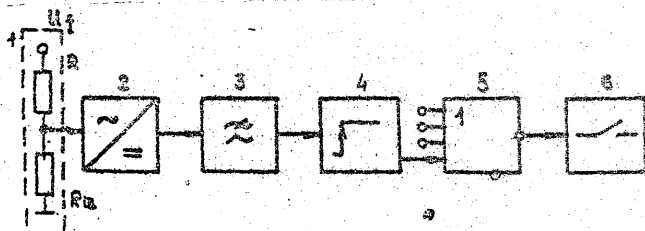
3. Sliekšņa elements un vadības shēma ir izveidoti uz KMOP sērijas loģiskās mikroshēmas bāzes.



1.att. Sprieguma dalītājs

Visi shēmas risinājumi ir izgatavoti no nedeficītām detaļām un ar minimālu komplektējošo elementu skaitu. Izstrādājot shēmu, galvenā uzmanība tika veltīta shēmas ekonomiskumam, drošumam un termostabilitātei.

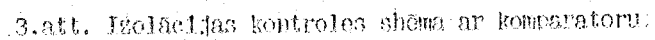
Mūsu izstrādātie IKS shēmu varianti ir izveidoti pēc vienas funkcionālās shēmas (2.att.), kas sastāv no sešiem elementiem: sprieguma dalītāja 1, taisngrieža 2, filtra 3, sliekšņa elementa 4, loģiskā VAI elementa 5 un slēdža 6, kura komutācijas kādē var būt relejs vai kāds cits komutācijas elements, piemēram, simistors.



2.att. Izolācijas kontroles funkcionālā shēma.

Shēmas (2.att.) darbība ir sekojoša. Pirms elektrodzinēja palaišanas fāzes spriegums U_f tiek padots uz sprieguma dalītāju R_1, R_{12} , kur R_{12} ir elektrodzinēja elektriskās izolācijas pretestība starp tinumu un korpusu. Sprieguma dalītāja 1 izejā iegūst mainspriegumu, kas ir tieši proporcionāls dzinēja elektriskajai pretestībai. Pusperioda taisngriezis 2 iztaisno šo mainspriegumu filtrs 3 samazina iegūtā līdzsprieguma pulsācijas. No filtra 3 izejas līdzspriegums tiek padots uz sliekšņa elementu 4, kas salīdzina reālo ieejas signāla līmeni ar iepriekš iestatīto nostrādes līmeni. Izejas signāls no sliekšņa elementa 4 tiek padots uz loģiskā VAI-NE elementa 5 ieeju. Loģiskā shēma ir izveidota ar vairākām VAI ieejām, kas paredzētas fāžu kontroles, pārslodzes un dzinēja tinumu temperatūras aizsardzības bloku pieslēgšanai. Lai nodrošinātu normālu elektrodzinēja palaišanu, uz visām VAI elementa ieejām ir jābūt loģiskajai "0". Ja uz kādas no ieejām ir loģiskais "1", tad elektrodzinēja palaišana nav iespējama, jo nenostrādā slēdža elements 6, kas blokē elektrodzinēja vadības ķēdi. Ja dzinēja darbības laikā uz kādas no VAI ieejām parādās loģiskais "1", nostrādājis fāžu kontroles, pārslodzes vai temperatūras aizsardzības bloks, notiek dzinēja atslēgšana.

Iepazīsimies ar praktiski izgatavoto un pārbaudīto IKS shēmu uzbūvi un darbību. Pirmā shēma (3.att.) izveidota pēc iepriekš aprakstītās funkcionālās shēmas. Sprieguma dalītājs R_1, R_2, R_3 un izolācijas pretestība R_{12} , daļa fāzes C spriegumu. Uz pretestības R_{12} krit spriegums, kas proporcionāls R_{12} vērtībai. Šis spriegums tiek iztaisnots ar diodi VD1. Līdzsprieguma pulsācijas izlīdzina filtrs R_4, C_1 . Līdzspriegums no filtra tiek padots uz operacionālā pastiprinātāja A1 invertējošo ieeju 4. Operacionālais pastiprinātājs A1 strādā komparatora slēgumā un darbojas kā sliekšņa elements, kurš pārslēdzas, ja spriegums uz ieejas 4 mazāks par iepriekš iestatīto spriegumu uz ieejas 5. Slēgšanās sliekšņa spriegumu regulē ar potenciometru R6. Gadījumos, kad dzinēja izolācijas pretestība ļoti liela - vairāki megaomi, un spēka ķēdē ir komutācijas pārspriegumi, spriegums uz operacionālā pastiprinātāja A1 ieejas 4 var pārsniegt pieļaujamo. Lai tas



nenotiktu, operacionālā pastiprinātāja A1 ieeju aizsargā diode VD2, kas ierobežo ieejas spriegumu. Maksimāli iespējamo sprieguma līmeni uz A1 pastiprinātāja invertējošās ieejas 4 var aprēķināt ar vienādojumu:

$$U_{MAX} = \frac{U_B * (R_5 + R_6'')}{R_5 + R_6 + R_7} + U_{VD2} \quad (1)$$

kur

U_{MAX} - maksimāli iespējamais sprieguma līmenis uz operacionālā pastiprinātāja A1 ieejas 4;

U_B - barošanas spriegums shēmai;

U_{VD2} - diodes VD2 atvēršanās spriegums;

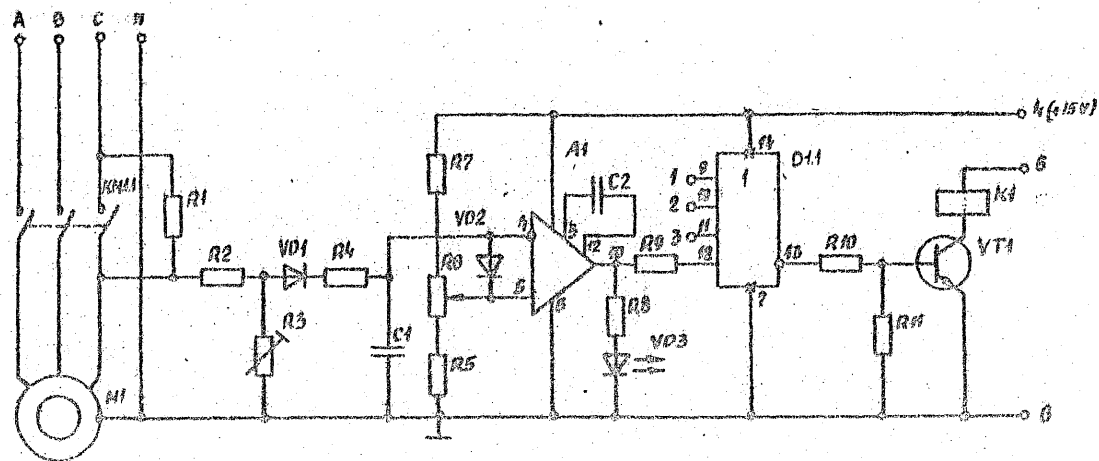
R_5, R_7 - sprieguma kalibrētāja pretestības;

R_6 - potenciometra R_6 pretestība;

R_6'' - potenciometra R_6 apakšējās daļas pretestība.

Ja elektrodzinēja izolācijas pretestība ir normāla, lielāka vai vienāda ar iestatīto nostrādes robežu, pozitīvā sprieguma līmenis uz operacionālā pastiprinātāja A1 ieejas 4 pārsniedz ieejas 5 sprieguma līmeni un operacionālā pastiprinātāja izejā ir "0" līmenis. Elektrodzinēja palaišana ir atļauta. Ja elektrodzinēja izolācija ir pasliktinājusies, pretestība mazāka par iestatīto nostrādes robežu, pozitīvais sprieguma līmenis uz operacionālā pastiprinātāja A1 ieejas 4 nerasniedz sprieguma līmeni, kāds ir iestatīts uz ieejas 5. Operacionālā pastiprinātāja izejā parādās "1" - dzinēja palaišana nav iespējama. Iedegas mirdzdiode VD3, kas parāda, ka nostrādājusi izolācijas kontroles shēma. Rezistors R8 ierobežo strāvu caur mirdzdiodes VD3. Diodes VD4...VD7 izpilda VAI elementa funkciju. Elements NE ir izveidots no tranzistora VT1 un rezistoriem R10...R15. Slēdzis sastāv no tranzistora VT2 un releja K1. Ja izolācija ir kārtībā, IKS atļauj ieslēgt releju K1.

Otrās IKS shēmas (4.att.) ieejas pakāpe, sprieguma dalītājs, taisngriezis, filtrs, komparators un indikācija neatšķiras no pirmās IKS shēmas (3.att.). Savācāk ir izveidots VAI-NE elements, VAI-NE funkciju izpilda KMOP



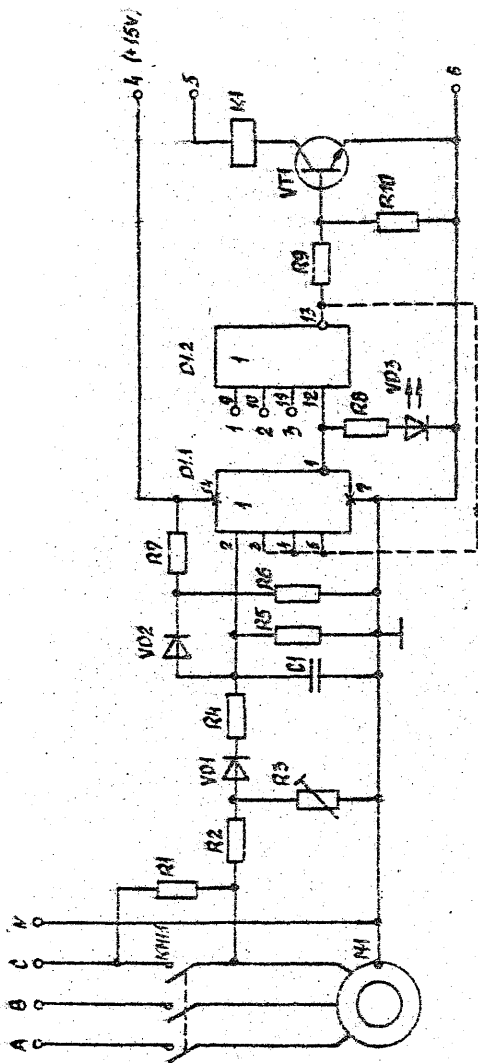
4.att. Izolācijas kontroles shēma ar komparatoru un VAI-NE elementu

sērijas loģiskā mikroshēma D1.1. Šī shēmas daļa darbojas sekojoši. Ja uz VAI-NE elementa D1.1 ieejām 9, 10, 11, 12 ir loģiskā "0", uz izejas 13 ir "1" un slēdža tranzistors VT1 atvērts. Relejs K1 ir nostrādājis un elektrodzinēja darbība atļauta. Ja uz kādas no VAI-NE elementa ieejas parādās loģiskais "1", ir nostrādājusi fāžu kontroles, pārslodzes vai tinumu temperatūras aizsardzības shēma, D1.1 izejā 13 parādās "0". Slēdža tranzistors VT1 aizveras. Rezultātā izslēdzas relejs K1 un elektrodzinēja darbība tiek pārtraukta. Ja pirms elektrodzinēja palaišanas izolācijas pretestība pasliktinājusies, uz D1.1 elementa ieejas 12 ir loģiskais "1". Slēdža tranzistors VT1 ir ciet un relejs K1 nenostādā. Elektrodzinēju nav iespējams palaist, jo IKS bloķē dzinēja vadības līniju.

Trešā IKS shēma (5.att.) izveidota uz KMOP sērijas loģiskajiem elementiem. Sprieguma dalītājs, taisngriezis un filtrs neatšķiras no iepriekš apskatītajām (3., 4.att.) shēmām. Sliekšņa elements izveidots no KMOP elementa D1.1, un tā nostrādes līmenis atbilst izmantotā loģiskā elementa slēgšanās līmenim. Ja pozitīvais sprieguma līmenis uz filtra R4, R5, C1 izejas pārsniedz loģiskā elementa slēgšanās līmeni, elementa D1.1 izejā 1 ir "0", kas līdzīgi kā iepriekš apskatītajām shēmām atļauj dzinēja palaišanu. Ja spriegums uz D1.1 ieejas 2 nesaņiedz slēgšanās līmeni, izejā 1 ir loģiskais "1", kas neļauj palaist dzinēju. Loģiskā elementa D1.1 ieejas 2 aizsardzībai pret pārsprigumiem izveidots sprieguma dalītājs R6, R7 ar diodes slēdzi VD2. Ierobežotā sprieguma līmeni uz mikroshēmas D1.1 ieejas 2 var aprēķināt pēc sakarības:

$$U_{MAX} = \frac{U_B \cdot R_6}{R_6 + R_7} + U_{VD2}$$

kur U_{MAX} - maksimāli iespējamais sprieguma līmenis uz mikroshēmas D1.1. ieejas 2; U_B - barošanas spriegums shēmai; U_{VD2} - diodes VD2 atvēršanās spriegums; R_6, R_7 - sprieguma dalītāja pretestības.

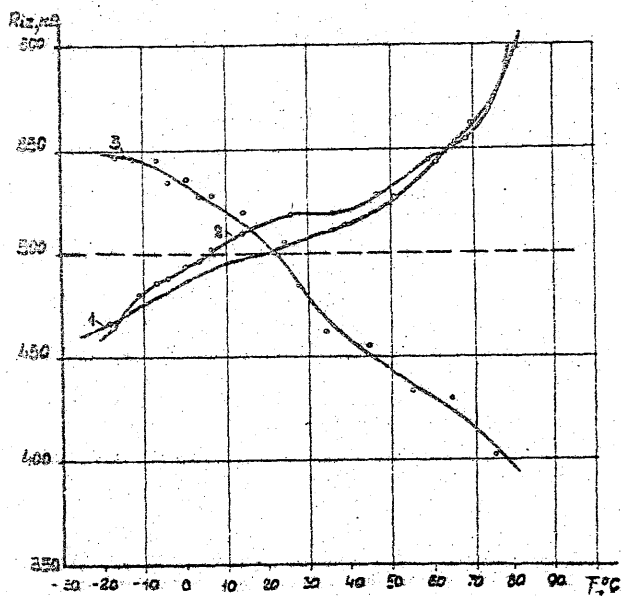


5.att. Izolācijas kontroles shēma ar VAI-NE elementiem

Par IKS shēmas nostrādi uzrāda indikācija, kas izveidota uz mirdzdiodes VDS. Strāvu caur šo diodi ierobežo rezistors R8. Tālāk sekojošais VAI-NE elements un tā darbība neatšķiras no iepriekšējā shēmā (4.att.) izmantotā.

Praktiski pārbaudījām visu IKS shēmu termostabilitāti temperatūras diapazonā no -20 līdz $+70^{\circ}\text{C}$. Visas trīs shēmas darbinājām saldēšanas kamerā un pēc tam žāvēšanas skapī. Temperatūru mērijām ar graduētiem termopāriem un galvenometru, papildus kontrolei tika lietots dzīvsudraba termometrs. Lai iegūtie mērījumu dati būtu savstarpēji salīdzināmi, mēs visas trīs IKS shēmas darbinājām vienlaicīgi, vienādos darba apstākļos. Visi mērījumi tika veikti ar vieniem un tiem pašiem mēraparātiem. Termostabilitātes pētījumiem mēs izveidojām eksperimentālo shēmu (6.att.). IKS shēmas baro no stabilizēta līdzstrāvas avota B. 15V spriegumu mērījumu laikā nodrošina stabilizācijas ķēde R3, VD1. Barošanas sprieguma kontrolei pieslēgti līdzstrāvas voltmetri P1, P2. IKS shēmām nepieciešamo 220V fāzes spriegumu mēs nodrošinām ar autotransformatoru T1. Spriegumu kontrolē ar voltmetru P3. Elektrodzinēja izolācijas pretestību imitē divas pretestību magazīnas R1 un R2, no kurām vienai pretestības diapazons ir līdz 1M , otrai līdz 100K . Par IKS shēmu nostrādi liecina elektromagnētiskais relejs K1, kurš pieslēgts pārbaudāmajai shēmai caur slēdža S1 kontaktiem. Slēdzis S1 kālpo arī pretestību magazīnas R1 un R2, barošanas avota un fāzes sprieguma pārslēgšanai.

IKS shēmas pārbaudījām uz nostrādi pie dažādām temperatūrām. Sliekšņa elementa nostrādi pānācām, samazinot pretestību magazīnu R1 un R2 summu pretestību, - nosacīti samazinot izolācijas pretestību. Vienlaicīgi reģistrējām sliekšņa elementa nostrādes pretestību un temperatūru. Pamatojoties uz šiem datiem, uzkonstruējām termostabilitātes līknes $f(t) = R_{\text{IZnostr}}$ (7.att.) pētītajām shēmām. Pirms raksturlīknes uzsākšanas, shēmu (3., 4., 5.att.) nostrādes sliekšni iestatījām pie temperatūras $+20^{\circ}\text{C}$ un nostrādes pretestības $R_{\text{IZnostr}} = 500\text{k}\Omega$.



7.att. Izolācijas kontroles shēmu termostabilitātes raksturlieknes.

No iegūtajām līknēm (7.att.) redzams, ka 1. un 2. shēmai nostrādes pretestība pieaug, palielinoties temperatūrai. Šāda sakarība netraucē normālai aizsardzības ierīces darbībai, jo, palielinoties temperatūrai, elektrodzīnēja elektriskās izolācijas pretestība parasti palielinās. Tas ir izskaidrojams ar dzīnējā esošā kondensācijas mitruma iztvaikošanu pie augstākās temperatūras. Tinumiem izžūstot, izolācijas elektriskā pretestība palielinās.

Trešajai shēmai ir raksturīgi tas, ka pie augstākām temperatūrām nostrādes pretestība samazinās un pie negatīvajām temperatūrām ir lielāka nekā sākotnēji, pie 20°C. Tas varētu būt par iemeslu priekšlaicīgai aizsardzības ierīces nostrādei, darbinot dzīnēju pie negatīvam temperatūrām. Kaut gan nostrādes izkliede temperatūras

diapazonā no -20 līdz $+70^{\circ}\text{C}$ šai shēmai nav pārāk liela tikai $65\text{ K}\Omega$, attiecinoi pret $500\text{ K}\Omega$, tas ir 13% .

Pirmajai un otrajai shēmai, 1. un 2. likne nostrādes izkliede temperatūras diapazonā no -20 līdz $+70^{\circ}\text{C}$ ir aptuveni $50\text{ K}\Omega$ un, attiecinoi pret $500\text{ K}\Omega$ tas ir 10% .

Praktiski visas šīs trīs shēmas ir ejošas un lietojamas aizsardzības ierīces konstruēšanai. Bet, tā kā ir jāizšķiras, kura no šīm shēmām ir labākā, tad izdarīsim detalizētāku shēmu analīzi. Aplūkojot 1. raksturlikni, redzams, ka tā ir vislineārākā visā temperatūras diapazonā. Ja mēs apskatām pirmo shēmu (3.att.), tad ir redzams, ka komplektējošo elementu skaits šai shēmai ir vislielākais, jo shēmas VAI-NE elements izveidots uz diskrētiem elementiem. Ka parādīja praktiskie izmēģinājumi, stabilitāte un darbības drošums šai shēmai ir visaugstākais.

Otrā shēma 2. likne arī ir pietiekami stabila, (4.att.). Aplūkojot shēmu (4.att.), redzams, ka shēma ir vienkāršāka, jo VAI-NE elements sastāv no mikroshēmas. Trūkums ir tas, ka tiek izmantota tikai $1/2$ no šīs mikroshēmas, otru pusi varētu izmantot citos aizsardzības blokos. Vēl viens trūkums ir tas, ka, salīdzinot ar pirmo shēmu, ir 2 mikroshēmu korpusi.

Trešā shēma, ja to aplūko no konstruēšanas viedokļa, ir visērtākā. Tai ir vismazāk komplektējošo elementu un tikai viens mikroshēmas korpus, kurš tiek pilnīgi izmantots. Šī shēma labi iekļaujas uz KMOP sērijas mikroshēmām konstruētā aizsardzības ierīcē. Trešajam shēmas risinājumam ir viens būtisks trūkums - raksturlikne (7.att.) neatbilst mums nepieciešamajai, temperatūras stabilitāte, kā arī drošums mūs neapmierina.

S e c i n ā j u m i

No trim izstrādātajām elektrodzinēju izolācijas kontrolējošām shēmām visvienkāršākā, ar vismazāko komplektējošo elementu skaitu, ir trešā shēma, kurā izgatavota uz vienas loģiskās mikroshēmas. Pētījumu rezultāti parādīja, ka šai shēmai nostrādes izkliede temperatūras diapazonā no -20 līdz $+70^{\circ}\text{C}$, nepārsniedz 13% . Tas nav slikts rādītājs, bet galvenais

trūkums ir tas, ka, palielinoties temperatūrai, nostrādes pretestība samazinās. Šīs shēmas parametrus var uzlabot un veiksmīgi izmantot nākamajās aizsardzības ierīču konstrukcijās.

Otrajai shēmai sliekšņa elements ir izveidots kā koparators un vadības shēma izgatavota uz viena KMOP sērijas VAI-NE elementa, ir ar labiem parametriem. Nostrādes izkļūde temperatūras diapazonā no -20°C līdz $+70^{\circ}\text{C}$ nepārsniedz 10 %. Vides temperatūrai palielinoties, nostrādes pretestība palielinās. Shēma sastāv no divām mikroshēmām, operacionālā pastiprinātāja un loģiskās mikroshēmas, kurai izmantota tikai 1/2. Tas ir galvenais trūkums, salīdzinot ar pirmo izolācijas kontroles shēmu.

Pirmā shēma izveidota uz viena operacionālā pastiprinātāja, kas strādā komparatora režīmā, darbojas tikpat labi, kā otrā shēma. Galvenā priekšrocība šai shēmai ir tā, ka satur tikai vienu mikroshēmu. Praktiskie pētījumi parādīja, ka vislabākā ir pirmā shēma, tāpēc tā tiek izmantota jaunajā elektrodzinēju aizsardzības ierīcē.

Literatūra.

Galins A. Izolācijas pretestības kontrole elektrodzinējiem ekspluatācijas laikā //LLA raksti/Latv.Lauks.akad. 1991. 266.sējums. 1.daļa. 61.- 66.lpp.

The circuits of electric motor electric insulation testing.

A.Galins

Latvian University of Agriculture

S u m m a r y

This article is about automatic testing circuits of electric insulation of AC electric motors. Insulation testing circuits is a part of AC electric motors protection unit which is made in Latvian University of Agriculture. The article contains three practical circuits and temperature characteristics.

ASINHRONO DZINĒJU KOMBINĒTĀS AIZSARDZĪBAS IERĪCES EKA-2
FĀZU REŽIMA KONTROLES KĒDES PĒTIJUMI

В данной статье рассмотрены устройство и принцип работы цепи контроля фазового режима электродвигателей. Приведены главные параметры разработанной схемы, дан расчет некоторых элементов цепи, проанализирована работа примененных фазовращающих трансформаторов.

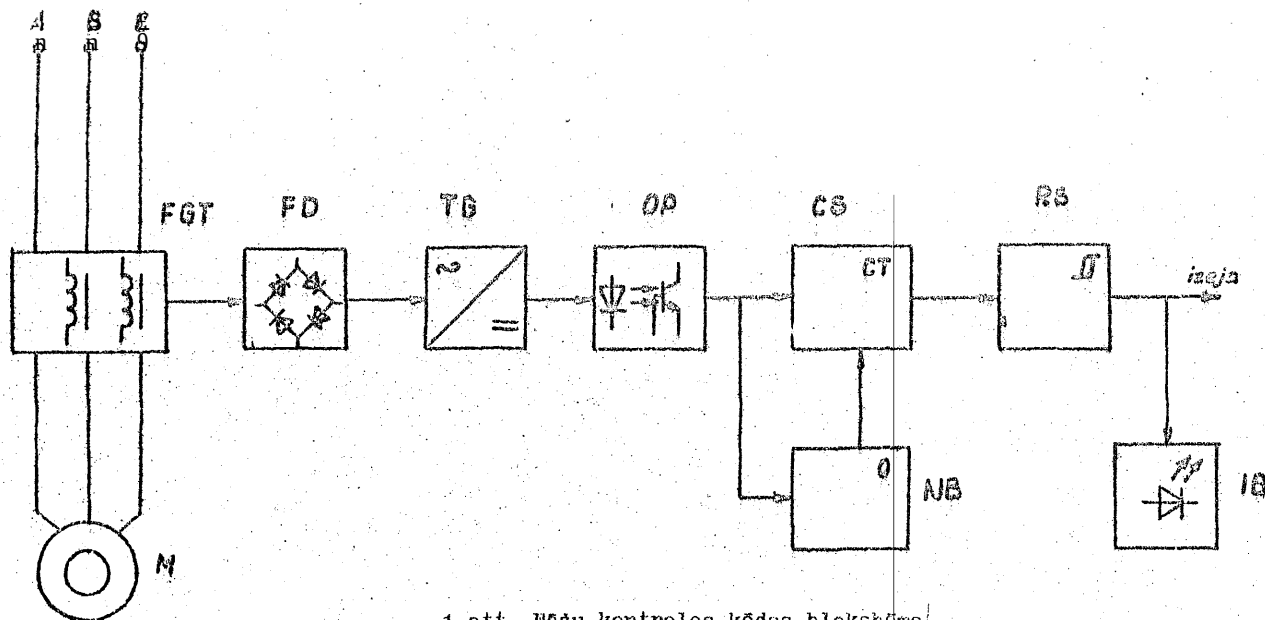
Схема предназначена для использования в качестве составной части комбинированного устройства защиты электродвигателей.

1. Kēdes uzbūves un darbības apraksts

Fāžu režīma kontroles kēde paredzēta dzinēja aizsardzībai pret nepilnfāžu režīmu. Tā sastāv no analogajiem un ciparu elementiem. Shēmu nosacīti var iedalīt sekojošos funkcionālos blokos (1.att.): fāzgriezēju transformatoru bloks (PCT), fāžu detektors (PD), taisngriezis (TC), optrona pastiprinātājs (OP), ciparu skaitītājs (CS), nullēšanas bloks (NB), RS trigeris (RS) un indikācijas bloks (IB).

Kēdes principiālā shēma parādīta 2.attēlā.

Fāzgriezēju transformatori (T1-T2) kontrolē elektrodzinēja fāžu režīmu. Tie strādā transreaktora režīmā. Pēc uzbūves tie ir strāvas transformatori, taču darbojas ar salīdzinoši lielu slodzes pretestību pretstatā strāvas transformatoriem, kas normāli darbojas īsslēguma režīmā. Līdz ar to transformatora zerdē rodas liels magnetizējošais spēks $I_m \omega$ un notiek serdes magnētiskā piesātināšanās. Tas rada izteikti nesinusoidālus spriegumus U_2' , U_2'' transformatoru sekundārajā pusē. Fāzes izrušanas gadījumā mainās spriegumi U_2' , U_2'' un fāžu nobīdes leņķis starp tiem no 6° uz 0° vai 180° (atkarībā no tā kura fāze izkritusi).



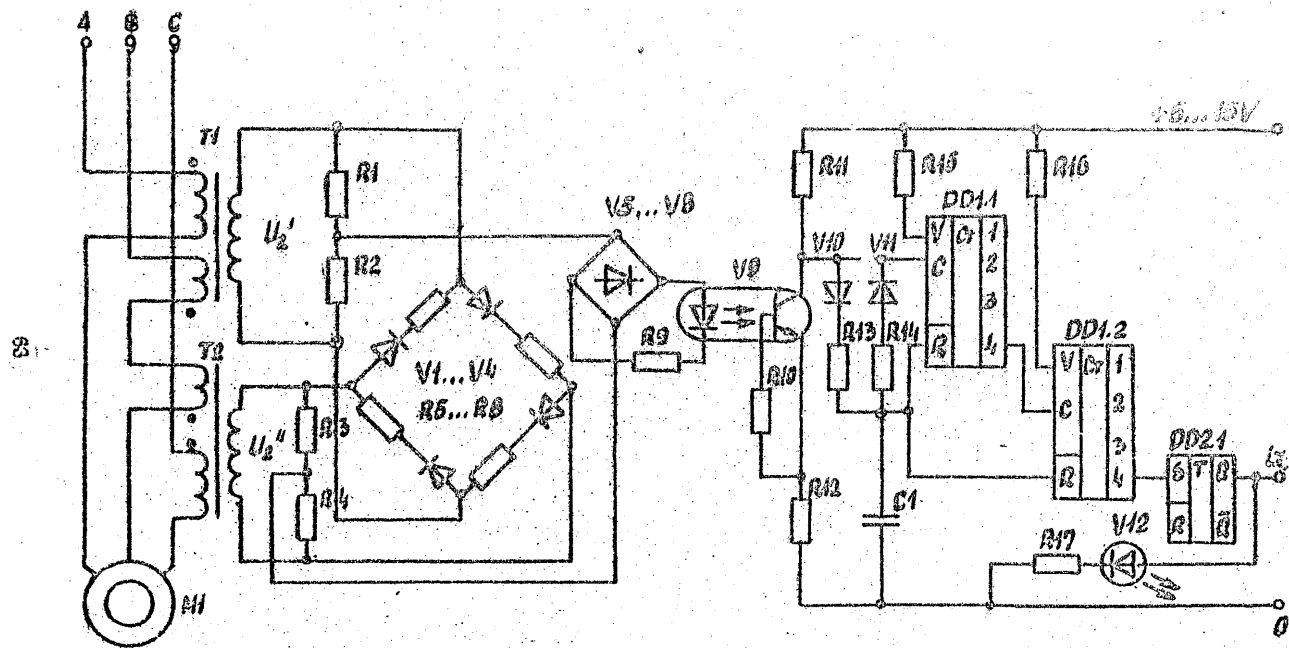
1.att. Fāžu kontroles ķēdes blokschema

Fāžu detektora (V1...V4, R6...R8) izejā parādās nesinusoidāls mainstrāvas signāls, kas tiek iztaisnots ar taisngriezi (V5...V8). Optrona pastiprinātājs (V9) atsaista fāžu detektora kādi no pārējās shēmas, kā arī formē signālu skaitītājam. Izzūdot kādai no fāzēm uz optronu tranzistora kolektora parādās taisnstūrveida impulsi. Normālā fāžu režīmā uz kolektora pastāv līdzspriegums ar vērtību, kas tuva barošanas spriegumam. Taisnstūrveida impulsa periods $t_1 = 0,01s$. Tas ir konstants, atkarīgs tikai no tīkla frekvences. Šie impulsi tiek padoti skaitītāja DD1 ieejā. Shēmā izmantots 8 bitu skaitītājs ar skaitīšanas cikla periodu $T_2 = 2^8 = 256$ impulsi. Tātad loģiskais vieninieks skaitītāja izejā parādīsies pēc $256:2 = 128$ impulsiem jeb 1,28 sekundēm. Šis signāls pārslēdzas un bloķē RS triggeri DD2.1, kura izejā parādās loģiskais vieninieks "1". Tā līmenis atkarīgs no barošanas sprieguma ($U_b = 5...15V$). Līdz ar to iedegas mirdzdiode V12, kas signalizē par nepilnfāžu režīmu. Šāds triggera un mirdzdiodes stāvoklis saglabājas, kamēr pieslēgts barošanas spriegums, dodot iespēju apkalpojošajam personālam noteikt elektrodzinēja aizsardzības nostrādes iemeslu.

Lai ierīce nereaģētu uz vairākiem atkārtotiem īslaicīgiem fāžu izzušanas gadījumiem, kas dzinējam nav bīstami, piemēram, magnētiskā palaidēja kontaktu nevienmērīga saslēgšanās u.tml., izveidota kāde automātiskai skaitītāja nullēšanai, kas novērš impulsu summēšanu šajos gadījumos. Ja spriegums fāzē atjaunojas ātrāk par ierīces nostrādes laiku, notiek skaitītāja nullēšana, jeb atgriešana izejas stāvoklī. Nullēšanas kāde sastāv no kondensatora (C1), tā uzlādes (V10, R13) un izlādes (V11, R14) kādēm. Izzūdot kādai no fāzēm, uz optrona V9 kolektora rodas negatīvas polaritātes impulsi, kuri izlādē kondensatoru C1. Līdz ar to skaitītāja nullēšanas ieejās R parādās loģiskā nulle "0", kas atļauj tam darboties.

Atjaunojoties fāzes spriegumam pirms dzinēja atslēgšanās no tīkla, spriegums uz V9 kolektora caur V10, R13 uzlādē C1 līdz loģiskajam "1", kas nullē skaitītāju.

Elementu C1, R13, R14 parametri izvēlēti tādi, lai kom-



2.att. Ierīces principiālā elektriskā shēma

densatora izlādes laiks būtu mazāks par negatīvā impulsa ilgumu t_i , bet uzlādes laiks lielāks par pauzes ilgumu t_p .

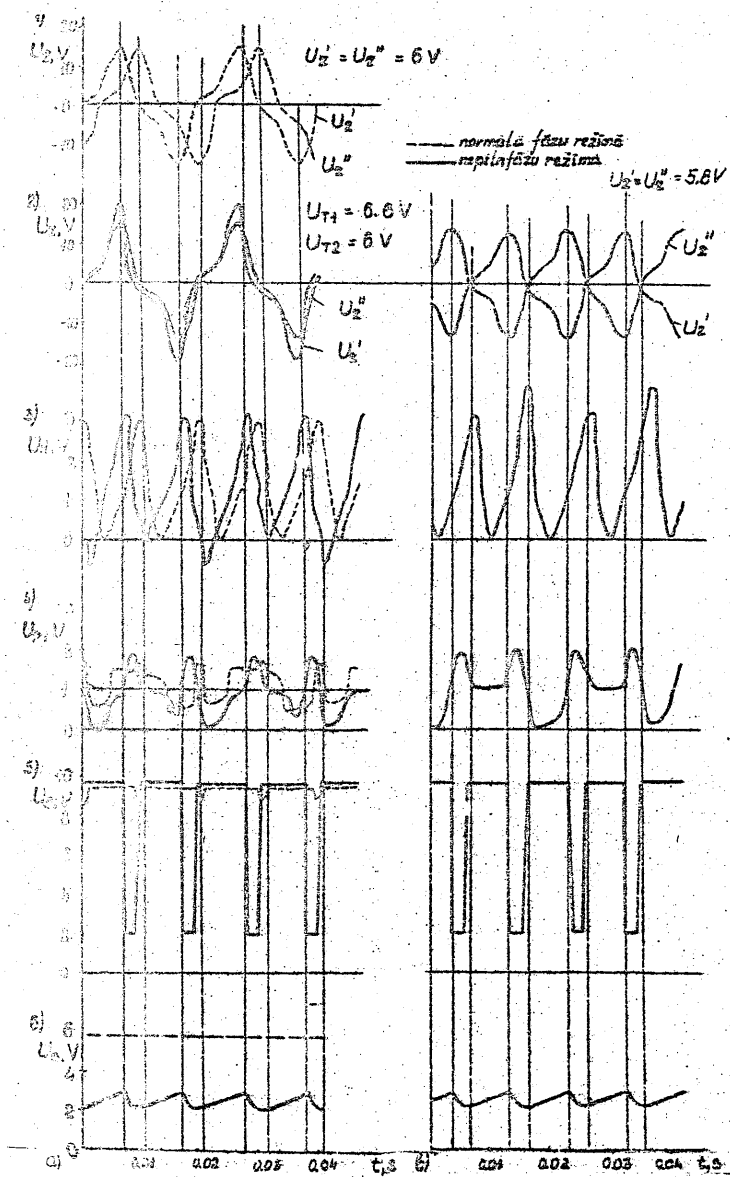
Aprakstītajai fāžu kontroles ķēdei ir stabils nostrādes laiks, kas nav atkarīgs no dzinēja slodzes strāvas I_{sl} un apkārtējās vides temperatūras T_v . Salīdzinājumā ar shēmām uz analoģo elementu bāzes, dotajā ciparu shēmā (2.att.) neietilpst tādi termonestabili laika aiztures elementi kā elektrolītiskie kondensatori.

Aprakstītā shēma stabili darbojas pie barošanas sprieguma $U_b = +5...+15V$ un saglabā informāciju par avārijas režīmu, kura dēļ dzinējs ticis atslēgts no tīkla. Pie 10V barošanas sprieguma aprakstītā fāžu kontroles ķēde (bez trigeru DD2.1) patērē strāvu $I_p \sim 5$ mA un jaudu $P_p \sim 50$ mW. Shēmas darbība eksperimentāli pārbaudīta pie apkārtējās vides temperatūrām $T_v = -20...+60^\circ C$. Eksperimentāli iegūtais vidējais nostrādes laiks $t = 1,28s$, kas ir pilnīgi pietiekami, lai nebūtu viltus atslēgumu. Tas nemainās visā temperatūras diapazonā un sakrīt ar teorētisko.

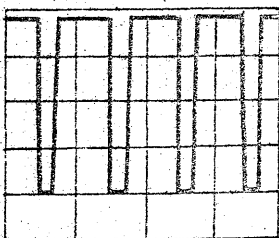
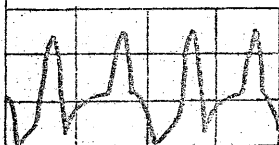
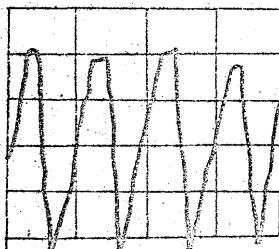
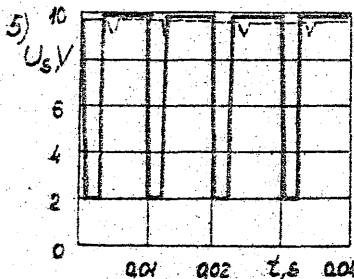
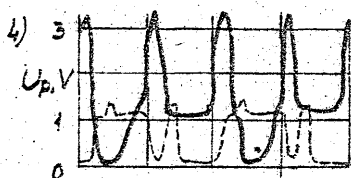
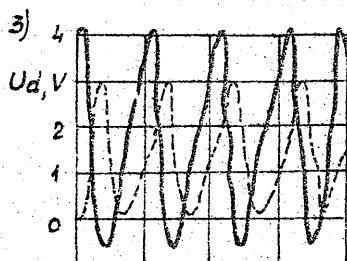
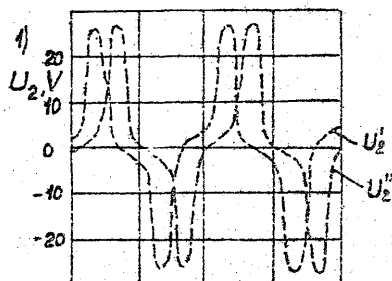
2. Kēdes elementu darbības analīze

Lai optimizētu shēmas parametrus, tika veikta tās eksperimentāla pārbaude un uzņemtas oscilogrammas. Pētījumos izmantots divstaru oscilogrāfs C1-114/1 ar skalas gradāciju 10V/cm, 2 V/cm un 1 V/cm. Shēmas darbība tika pētīta divos elektrodzinēja darbības režīmos: pie nominālās slodzes un tukšgaitā. Oscilogrammas tukšgaitas režīmam dotas 3.attēlā, bet pie nominālās dzinēja slodzes 4.attēlā. Oscilogrammas secībā no augšas uz leju (3.att.) parāda sekojošu lielumu izmaiņas laikā t :

- 1) spriegumus uz T1 un T2 sekundārajām izejām U_2' , U_2'' normālā fāžu režīmā; 2) tas pats nepilnfāžu režīmā;
- 3) spriegumu fāžu detektora izejā U_d taisngrieža V5...V8 mainstrāvas pusē; 4) spriegumu optrona izejā U_p ;
- 5) spriegumu optrona izejā U_s uz skaitītāja takts izejas;
- 6) nullēšanas spriegumu U_0 skaitītāja R izejās. Analoģi 4.attēlā parādīta 1., 3., 4. un 5. oscilogramma. Nav dota 2.



3.att. Shēmas darbības oscilogrammas elektromotora tukšgaitā.



— normale fāzu režīmā
— nepilnfāzu režīmā

a)

b)

4.att. Shēmas darbības oscilogrammas pie elektrodaņģē
nominālās slodzes

un 6. oscilogramma, kas principiāli neatskiras no 3.attēlā uzrādītajām. Kā redzams, spriegums U_2' un U_2'' transformatoru T1 un T2 sekundārajās pusēs ir izteikti nesinusoidāls. Lai parādītu kā formējas fāzgriezēju transformatoru sekundārais spriegums, uzzīmēsim vektoru diagrammu. Nepieciešamie aprēķini veikti pēc metodikas, kas dota literatūrā [1].

1. Izmēram sekundārā tinuma EDS pilno strāvu un aktīvo pretestību (izmantots voltmetrs B7-26 un miliampermetrs 59)

$$E_2 = 6,2V \quad I_2 = 5mA \quad R_t = 9\Omega .$$

2. Pilnā ķēdes pretestība

$$Z_2 = \frac{E}{I_2} = 1240\Omega .$$

3. Aprēķinām sekundārā tinuma induktīvo pretestību:

$$X_t = \sqrt{Z^2 - (R_t^2 + R_s)^2} = 512\Omega ,$$

kur $R_s = R_1 + R_2$ - slodzes pilnā pretestība.

$$R_s = 1120\Omega .$$

4. Magnētiskās ķēdes viduslīnijas garums $l_m = 0,309m$.

Serdes šķērs griezuma laukums $S_m = 0,00017 m^2$.

5. Serdes materiāls elektrotehniskā tērauda skārda 3411 plāksnītes.

6. Aprēķinām spriegumu kritumus uz atsevišķām ķēdes komponentēm:

a) uz tinuma aktīvās pretestības;

$$U_{Rt} = I_2 \cdot R_{2t} = 0,045 V \approx 0;$$

b) uz tinuma induktīvās pretestības

$$U_{xt} = I_2 \cdot X_{2t} = 2,6 V$$

c) uz slodzes pretestībām (R_s)

$$U_R = I_2 \cdot R_s = 5 V$$

7. Fāzu nobīdes leņķis starp E_2 un I_2

$$\alpha = \arctg \frac{X_t}{R_t + R_s} = 24,4^\circ .$$

8. Maksimālā indukcija

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 f S_m \omega_2} = 0,82 \text{ T},$$

kur f – strāvas frekvence, Hz

ω_2 – sekundārā tinuma vijumu skaits.

9. Leņķis starp maksimālās indukcijas B_m un pilnā magnetizējošā MDS vektoriem (atrod pēc tabulām 8-7 [2]) vidējās kvalitātes materiāliem

$$\psi = 48^\circ.$$

10. Īpatnējais magnetizējošais MDS H_0 (pēc tabulas 8-1 [2]) vid. kvalitātes materiāliem (MDS uz magnētiskās ķēdes 1m)

$$H_0 = 29 \text{ A/m}.$$

11. Magnetizējošais spēks:

$$H = H_0 \cdot l = 29,0,309 = 9,6 \text{ A}.$$

12. Leņķis starp H un primāro MDS H_1

$$\beta = 90^\circ - (\psi + \alpha) = 17,63^\circ.$$

Pēc aprēķiniem konstruētā vektoru diagramma parādīta 5.attēlā.

No diagrammas $H_1 = 25,2 \text{ A}$; $H_2 = 16,6 \text{ A}$.

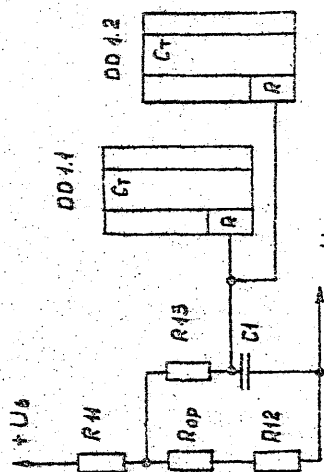
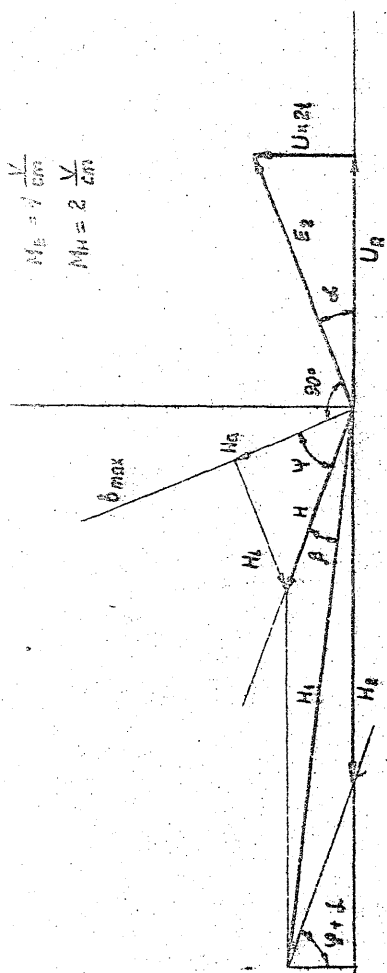
3. Skaitītāja nullēšanas ķēdes aprēķins

Nullēšanas ķēdes elementu R13, R14 un C1 parametri izvēlēti pēc sekojošiem nosacījumiem: skaitītāja jānullē jebkurā gadījumā, ja izkritusi fāze atjaunojas laikā, kas mazāks par 1,28 s, bet, parādoties negatīviem taisnstūrveida impulsiem skaitītāja taks ieejā, C nullēšanas ķēdei jāatļauj skaitītājam darboties. Pēc oscilogrammām redzams, ka signāla U_s skaitītāja ieejā krituma un pieauguma laika konstantes ir salīdzinoši nelielas, tāpēc varam pieņemt, ka spriegums pieaug vai krit momentāni. Normālā fāžu režīmā U_s ir vienāds ar loģisko vieninieku un tuvs barošanas spriegumam U_b . Šis līmenis caur V10 un R13 uzlādē C1 un nullē skaitītāju.

Uzlādes ķēdes ekvivalentā shēma attēlota 6.attēlā. Pauszes laikā optromā tranzistors ir aizvērts, tāpēc tā pretestība ir ļoti liela un to var aprēķināt neievērot. Līdz ar to R1 uzlādes ķēdes pretestību veido R11 un R13.

$$M_E = \frac{V}{cm}$$

$$M_H = 2 \frac{V}{cm}$$



5.att. Strāvas transformatoru darbības vektoru diagrammas

6.att. Uzlādes ķēdes ekvivalentā shēma

Vispārējā gadījumā uzlādes procesu raksturo diferenciālvienādojums

$$\tau \frac{dU_c}{dt} + U_c = U, \quad (3.1)$$

kur τ - laika konstante,

U_c - spriegums uz C_1 ,

U - pievaditais spriegums.

Šī diferenciālvienādojuma atrisinājums

$$U_c = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (3.2)$$

kur t - uzlādes laiks.

Dotajā gadījumā $t = t_p$ un pēc oscilogrammas (3.att.) $t_p = 0,008s$, kur t_p - pauzes laiks, jeb laika periods starp diviem impulsiem.

Izsakot no sakarības 3.2 laika konstanti, τ iegūstam izteiksmi tās aprēķinam:

$$\tau = \frac{t_p}{\ln \frac{U}{U - U_c}}, \quad (3.3)$$

kur U - sprieguma līmenis pauzes laikā, kas praktiski ir vienāds ar barošanas spriegumu $U = U_b = 10V$,

U_c - spriegums uz kondensatora C_1 uzlādes procesa beigās.

U_c nedrīkst sasniegt loģiskā vieninieka pārslēgšanās līmeni, kas ir $U_{c-1} = 3,5 \dots 4,0V$ pie $U_b = 10V$. Ievērtējot drošības rezervi, pieņemam $U_c = 3V$.

Negatīvā impulsa laikā pievaditais spriegums pēc 5. oscilogrammas (3.att.) $U = U_1 = 2V$, tātad uzlādes sākumā uz C_1 pastāv sākotnējais spriegums $U_1 = 2V$.

Ievērtējot šo sākotnējo spriegumu, sakarību 3.3 varam uzrakstīt

$$\tau = \frac{t_p}{\ln \frac{(U - U_1)}{(U - U_c) - (U_c - U_1)}}$$

Skaitliski atrisinot šo vienādojumu, iegūstam laika konstanti

$$\tau = 0,06 \text{ s}.$$

Pēc uzlādes ķēdes ekvivalentās shēmas (6.att.), laika konstanti τ varam izteikt $\tau = (R_{11} + R_{13}) \cdot C_1$.

Izvēlāmies $C_1 = 0,047 \text{ } \mu\text{F}$, šajā gadījumā $R_{13} = 1,27 \text{ M}\Omega$. Kapacitāte izvēlēta no termostabilitātes apsvērumiem, jo elektrolītiskajiem kondensatoriem ar lielu kapacitāti termostabilitāte ir ievērojami zema. R_{11} nodrošina optronu tranzistora darbības režīmu un ir salīdzinoši maza, tāpēc to var neievērot ($R_{11} = 5,1 \text{ k}\Omega$). No pretestību rindas izvēlāmies $R_{13} = 1,5 \text{ M}\Omega$. Izmantojot elementus ar maksimālo novirzi no minimālā, apskatām uzlādes procesu.

Ja $C_1 = 0,047 \text{ } \mu\text{F} - 20\%$, $R_{13} = 1,27 \text{ M}\Omega - 10\%$,

tad laika konstante $\tau = 0,045$ un uzlādes laiks līdz 3V spriegumam

$$t_u = \tau \ln \frac{U - U_i}{(U - U_i) - (U_c - U_i)} = 0,0066 \text{ s},$$

kas ir mazāks par t_p , tādēļ palielinām τ , izvēloties rezistoru R_{13} ar lielāku pretestību $R_{13} = 1,8 \text{ M}\Omega$. Tad pie maksimālās novirzes $C_1 = 0,047 - 20\% \text{ } \mu\text{F}$ un $R_{13} = 1,8 - 10\% \text{ M}\Omega$ uzlādes laiks līdz 3V spriegumam $t_u = 0,008 \text{ s}$, kas apmierina sākotnējos nosacījumus.

C_1 izlāde notiek caur rezistoru R_{14} un diodi V_{11} . Kondensatoram C_1 jāpaspēj izlādēties negatīvā impulsa laikā līdz impulsa vērtībai, t.i., $u_1 = 2\text{V}$.

Vispārīgā veidā kondensatora izlādi nosaka diferenciālvienādojums

$$\tau \frac{d U_{cbr}}{d t} + U_{cbr} = 0, \quad (3.4)$$

kur U_{cbr} - brīvais spriegums uz kondensatora.

Šī vienādojuma atrisinājums ir

$$U_{cbr} = U_c \ln \frac{t}{\tau}, \quad (3.5)$$

kur τ ir laika konstante, $\tau = C_1 \cdot R_{14}$.

Dotajā ķēdē negatīvā impulsa laikā ar periodu $t_i = 0,002$ s C1 jāizlādējas, no sprieguma $U_R = 3V$, līdz kuram tas tika uzlādēts pauzes laikā, uz spriegumu $U_i = 2V$.

No izteiksmes (3.5) τ aprēķināšanai iegūstam sekojošu sakarību :

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{U_c}{U_{cbr}}} \quad (3.6)$$

kur $U_{cbr} = U_i = 2V$.

Teorētiski stacionārs spriegums U_{cbr} tiek sasniegts bezgalīgi ilgā laikā ($t = \infty$), praktiski var pieņemt, ka stacionāra vērtība tiek sasniegta laika posmā $t \approx 4\tau$ ar precizitāti līdz 2%. Tātad varam pieņemt, ka U_{cbr} procesa beigās būs $U_{cbr} = 2V + 2\% = 2,04V$.

Pieņemot par nulles līmeni impulsa vērtību U_i , iegūstam sakarību

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{U_c - U_i}{U_{cbr} - U_i}}$$

un $\tau = 0,0006$ s.

C1 kapacitāte tika izvēlēta pie uzlādes ķēdes aprēķiniem un tā ir $C1 = 0,047 \mu F$.

$$R14 = \frac{\tau}{C_i} = 13,2 \text{ k} \Omega$$

No pretestību rindas izvēlamies $R14 = 12 \text{ k} \Omega$.

Aprēķinām izlādes procesu pie maksimālajām elementu novirzēm: $C1 = 0,047 \mu F + 20\%$, $R14 = 12 \text{ k} \Omega + 10\%$.

Tad $\tau = 0,00722$ s.

Tātad šajā laika sprīdī C1 neizlādēsies līdz 2,04V, tāpēc izvēlamies mazāku pretestību $R14 = 10 \text{ k} \Omega$. Tādā gadījumā pie $R14 = 10 \text{ k} \Omega + 10\%$ un $C1 = 0,047 \mu F + 20\%$ $\tau = 0,00058$ s. Šī laika konstante ir pietiekama, lai C1 varētu izlādēties līdz nepieciešamajai vērtībai.

Nullēšanas ķēdes darbības oscilogrammas parādītas 4.attēla 6. grafikā.

Secinājumi

Aprakstītā fāžu režīma kontroles ķēde izceļas ar stabili nostrādes laiku $t_n = 1,28$ s, kas nav atkarīgs no apkārtējās vides temperatūras un elektrodzinēja darba režīma. Shēmā izmantoti mikroelektronikas elementi, kas stabili darbojas pie mainīga barošanas sprieguma $U_0 = 5 \dots 15$ V. Shēmas izmēģinājumu laikā nav konstatēts neviens elektrodzinēja viltus atslēgums vai gadījums, kad ierīce nereaģētu uz nepilnfāžu režīmu. Ietvertā avārijas režīma indikācija dod iespēju personālam operatīvi noteikt aizsardzības ierīces nostrādes iemeslu un to novērst. Minēto fāžu režīma kontroles ķēdi paredzēts ietvert elektrodzinēju kombinētās aizsardzības ierīcē kā vienu no tās sastāvdaļām.

Literatūra

1. Афанасьев В.В. и др. Трансформаторы тока. Л.: Энергия, 1980. - с.

RESEARCHING OF PHASES REGIME'S CONTROL CIRCUIT

FOR AC MOTORS COMBINED PROTECTION DEVICE EKA-2

Latvian University of Agriculture

Summary

In this article operation of phase control circuit (PCC) is described. The PCC disconnects electric motor from network after 1.28 seconds if one of phases is broken. This time is independent from motor loading degree and environmental temperature. The PCC was tested in environmental temperatures from -20 to $+60$ °C. In this area of temperatures PCC has unvariable time of disconnection. The PCC don't break motor circuit if the time of two phase regime is less than 1.28 seconds.

The circuit is built on analogue and discrete electronic base.

The PCC is proposed to use in combined electric motors protection device as its part.

TEMPERATŪRAS KONTROLES SHĒMA ASINHROŅO ELEKTROMOTORU KOMBINĒTĀS AIZSARDZĪBAS IERĪCĒ EKA

Предложен вариант решения температурной защиты асинхронных электродвигателей на базе термостабильного логического элемента серии КМОП. Схема предназначена для использования в составе комбинированного устройства защиты электродвигателей. Проведен статистический анализ характеристик, примененных в схеме датчиков температуры-возисторов СТ14-1А.

Esošo trīsfāžu asinhrono elektromotoru aizsardzības ierīču ekspluatācija parādījusi, ka vispilnīgāk elektromotora iziešanu no ierindas novērs un līdz ar to efektīvi ļauj izmantot darba resursu kombinētās aizsardzības ierīcēs, kurās paralēli darbojas atsevišķas attiecīgu avārijas režīmu kontroles ķēdes. Arī jaunizstrādātajā aizsardzības ierīcē EKA līdztekus pārslodzes, fāžu asimetrijas un izolācijas pretestības kontroles ķēdēm darbojas temperatūras aizsardzības shēma, kuras galvenais uzdevums ir novērst motora tinumu temperatūras nepieļaujamu paaugstināšanos nelielu tehnoloģisko pārslodžu un dzesēšanas traucējumu gadījumos, bet mērķis – novērst tinumu izolācijas novecošanos.

Atšķirībā no lielu pārslodžu ($k_p > 2$) un fāžu asimetrijas kontroles shēmām, temperatūras aizsardzība reaģē nevis uz avārijas režīma cēloni, bet sekām. Nelielu pārslodžu režīmā tas ir nesvarīgi, jo silšanas process šeit norit ar tik zemu intensitāti, ka būtisku iespaidu uz gala rezultātu – tinumu temperatūru atstāj citi blakus apstākļi. Piemēram, ar vienu un to pašu tehnoloģisko pārslodzi pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām, tinuma temperatūra kritisko vērtību sasniedz pēc atšķirīgiem laika sprīžiem, jo dažāda ir dzesēšanas efektivitāte.

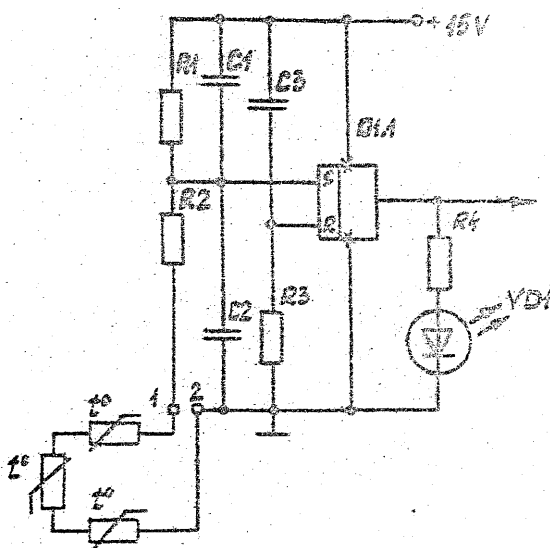
Kā tinuma temperatūras dāvēji tiek izmantoti trīs

virknē slēgti pozistori, kas iestiprināti motora katras fāzes tinumā. Pozistorus uzstāda razošanas (speciālām sērijām) vai remonta procesā, taču to var veikt arī jebkuram elektromotoram, to daļēji izjaucot un katra tinuma pieres daļā piestiprinot pozistoru. Svarīgi panākt pēc iespējas lielāku kontakta virsmu starp motora tinumu un pozistoru. Jo mazāka siltuma pārejas pretestība, kas līdztekus ar pozistora masu, iespaido tā silšanas inerci, jo augstāka tinumu temperatūras kontroles precizitāte. Jo lielāks temperatūras gradients, jo motora tinumu un pozistora temperatūru starpība lielāka. Līdz zināmā robežai temperatūras aizsardzība dublē pārsildzies un fāžu asimetrijas kontroles ķēdes, ja šajos avārijas režīmos tinumu temperatūra arī pārsniedz pieļaujamās robežas.

Temperatūras aizsardzības shēma izstrādāta, vadoties no pastāvošajiem tehniskajiem noteikumiem, kas nosaka, ka aizsardzībai jānostrādā pie pozistoru ķēdes pretestības galējās vērtības 4 k Ω , bet nav jāreaģē uz pozistoru pretestību zem 1,6 k Ω .

Kā pamatelements shēmā izmantots KMOP mikroshēmu sērijas RS trigers, kuram raksturīga augsta darbības termostabilitāte un maza patērētā jaudā. Trigers strādā kā sliedīgs elements, vadības signālu tā "S" ieejā padod nostabilizēta barošanas sprieguma dalītāja R_1 ; R_2+R_1 (skat.1.att.).

Pozistoru ķēde R_1 slēgta dalītāja apakšējā plecā. Virknē slēgtais rezistors R_2 paredzēts strāvas ierobežošanai caur pozistoru ķēdi un nostrādes sliedīga iestatīšanai, kompensējot trigeru nostrādes sprieguma izkliedes. Pieaugot pozistoru pretestībai, palielinās apakšējā pleca pretestība un izmainās sprieguma dalījums. Vadības sprieguma vērtībai sasniedzot trigeru nostrādes līmeni (lōģisko "1"), pēdējais pārslēdzas. No trigeru izejas lōģiskais "1" tiek padots uz komutācijas bloku magnētiskā palaidēja ķēdes pārtraukšanai. Vienlaicīgi caur strāvu ierobežojošo pretestību R_4 spriegums tiek padots uz avārijas režīma gaismas indikācijas elementu diodi VD1.

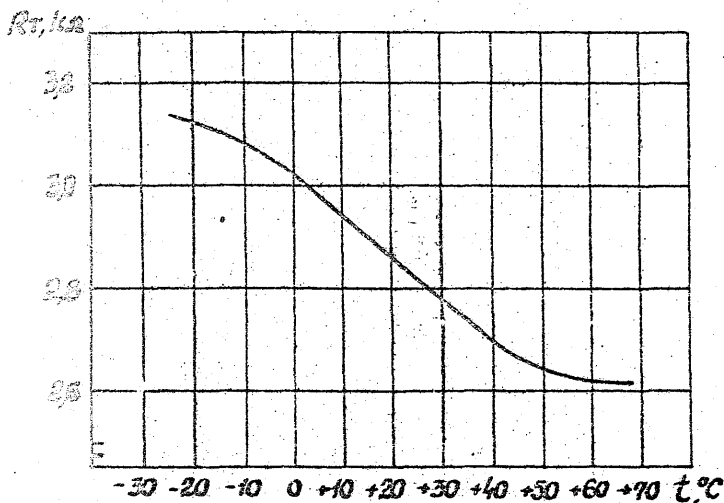


1.att. Temperatūras kontroles ķēdes principiālā shēma

Elektromotoru palaižot, diferenciājošā ķēde R_3 , C_3 trigeri iestata izejas "0" stāvokli, bet filtra kondensatori C_1 , C_2 nodrošina shēmas aizsardzību pret traucējumiem.

Izstrādātās shēmas darbības termostabilitāti ilustrē eksperimentāli iegūtā nostrādes raksturlieme (skat.2.att.). Pēc tās redzam., ka temperatūru diapazonā no -20 līdz $+60^{\circ}\text{C}$ aizsardzība nostrādā noteiktajās robežās.

lai izveidotu elektromotoru temperatūras aizsardzību ar nepieciešamo nostrādes precizitāti, nepieciešams ņemt vērā arī ievērojamās pozistoru statisko raksturliemu $R_t=f(T)$ izkliedes. Šajā nolūkā tika uzņemtas 21 pozistoru OT14-1A raksturliemes. Šo raksturliemu izkliedes zona atspoguļota grafiski 3.attēlā.



2.att. Temperatūras kontroles ķēdes nostrādes
pretestības termiskās izkliedes raksturliktne

Veiktās datu statistiskās apstrādes rezultāti sniegti 1.tabulā. Statistiskie rādītāji aprēķināti pozistoru pretestības vērtībām nostrādes temperatūrā 130°C un pie temperatūras 135°C , kā arī temperatūras vērtībām, pie kurām pozistoru pretestība sasniedz $1,3 \text{ k}\Omega$.

Kā redzams, pozistoru pretestības vērtību izkliedes intervāls ir plašs, piemēram, 1.gadījumā no $0,087$ līdz $3,78 \text{ k}\Omega$. Iespēja, ka būtu uzņemtas raksturliktnes dažādu marku pozistoriem ir niēcīga, jo ekscesa rādītājs $E > -2$.

Spriežot pēc pozistoru vidējās pretestības vērtības nostrādes temperatūrā $R_t = 0,722 \pm 0,265 \text{ k}\Omega$, dažos gadījumos temperatūras aizsardzība nenostādās. Bez tam asimetrijas rādītājs $A = 2,1$. Tā ir pozitīvā jeb kreisā asimetrija un tas nozīmē, ka vairumā gadījumu (75%) pozistoru pretestības vērtība ir zemāka par aprēķināto vidējo vērtību, kas vēl vairāk izslēdz nostrādes varbūtību.

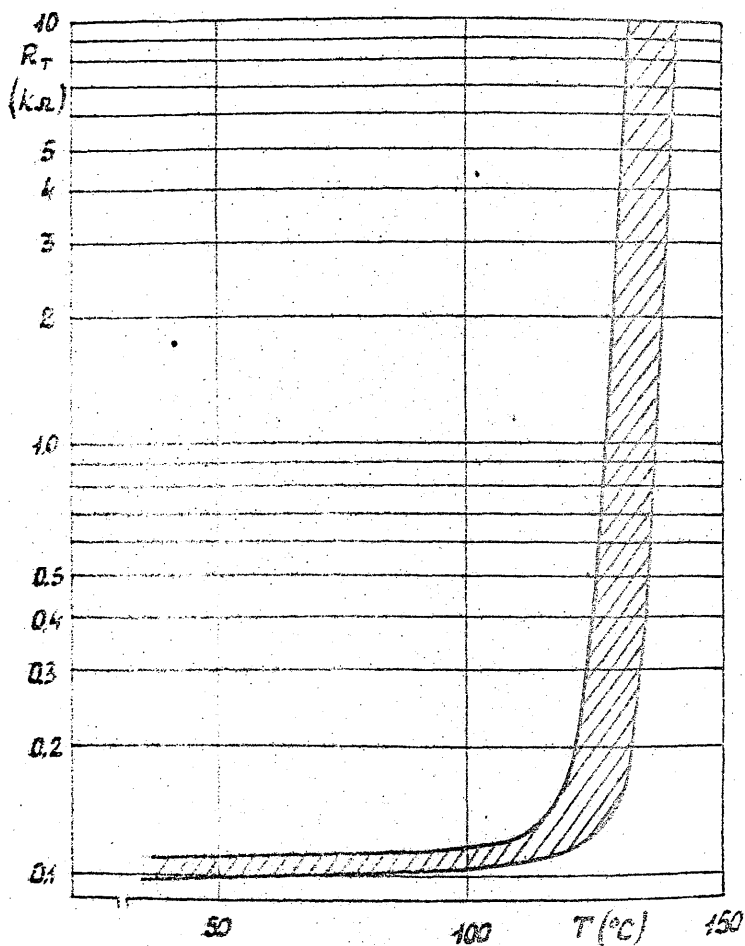


Рис. 1. Температурная статическая характеристика $R_T = f(T)$ (включая
погрешности).

analogi rezultāti parādās arī pozistoru temperatūrai sasniedzot 135°C . Pozistoru pretestību vidējā vērtība $R_t = 3,3 \pm 0,8 \text{ k}\Omega$, taču asimetrija $A = 1,43$ norāda, ka lielāka varbūtība ir mazākām pretestības vērtībām.

Ņemot par izejas punktu pozistoru temperatūru, pie kuras pretestība sasniedz $R_t = 1,3 \text{ k}\Omega$, kas nepieciešams drošai aizsardzības nostrādei, vidējā nostrādes temperatūra $T = 133 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$. Šajā gadījumā asimetrijas rādītājs $A = -0,214$ norāda, ka lielākā skaitā gadījumu pozistoru nostrādes temperatūra ir augstāka nekā aprēķinātā vidējā temperatūra.

1.tabula

Pozistoru parametru izkliedes
statistiskie rādītāji

$T(^{\circ}\text{C})$	$R_t (\text{k}\Omega)$	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	$S\bar{x}\%$	A	E
130	0,2; 0,37; 1,79; 0,165;	0,722	$\pm 0,265$	36,7	2,1	3,6
	3,78; 0,147; 0,186; 0,18;					
	0,31; 1,0; 0,18; 0,188;					
	0,75; 0,35; 0,7; 0,087;					
	0,265; 0,14; 0,72; 0,196;					
	0,214					
135	0,58; 6,45; 3,9; 0,34;	3,3	$\pm 0,8$	24,8	1,43	1,67
	0,98; 1,88; 0,43; 0,28;					
	2,7; 4,3; 1,5; 4,4; 2,9;					
	3,9; 0,525; 0,32; 0,45;					
	1,5; 0,72; 0,59					
$R_t (\text{k}\Omega)$	$T(^{\circ}\text{C})$	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	$S\bar{x}\%$	A	E
1,3	135; 130; 133; 137; 127;	133	$\pm 0,8$	2,2	-0,2	-1,0
	136; 135; 137; 132; 131;					
	134; 131; 132; 131; 139; 133					
	140; 139; 138; 135; 134;					
	136					

Pozistoru parametru izkliedes statistiskā analīze parāda, ka temperatūras aizsardzības shēma labākajā gadījumā nostrādā temperatūru $T = 133$ līdz 135°C intervālā. Reāli nostrādes temperatūra ir vēl augstāka, ievērtējot pozistoru siltuma inerģi un kontakta pārejas siltumvadāmību. To apstiprina agrāk veiktās pārbaudes analogām aizsardzības ierīcēm UKZ. Tehnoloģisko pārslodžu režīmā aizsardzības ierīces nostrādāja temperatūru intervālā $T = 130$ līdz 144°C . Tas nozīmē, ka pozistori nenodrošina B klases izolācijas motoru tinumu temperatūras aizsardzību.

Lai paaugstinātu nostrādes precizitāti, būtu nepieciešams pazemināt pozistoru ķēdes pretestības apakšējo robežu, virs kuras jānostrādā temperatūras aizsardzības shēmai. Tomēr tas nav atrisinājums, jo pozistoru pretestība, kaut arī mazākā mērā, taču pieaug arī temperatūrai pazeminoties. Šādā gadījumā aizsardzības shēma nelautu elektromotoram darboties normālā darba režīmā pie zemām apkārtējās vides temperatūrām.

Otrs variants - izmantot citas markas pozistorus ar zemāku nostrādes temperatūru $T = 125^{\circ}\text{C}$ un noteikt augstāku pozistoru ķēdes pretestības vērtību, pie kuras jānostrādā temperatūras aizsardzībai. Sagaidāms, ka šajā gadījumā, analogi veiktajai pozistoru parametru izkliedes statistiskajai analīzei, variācijas koeficients, kurš izsaka vērtību izkliedi ap vidējo aritmētisko pretestību vērtību, būs mazāks nekā nostrādes temperatūrā. Aplūkotojiem pozistoriem CT14-1A nostrādes temperatūrā $T = 130^{\circ}\text{C}$ variācijas koeficients $S_{\bar{x}}\% = 36,7\%$, turpretī $T = 135^{\circ}\text{C}$ tas ir $S_{\bar{x}}\% = 24,8\%$. Šādā veidā tiktu panākta lielāka aizsardzības nostrādes precizitāte.

Līdztekus jau minētajam, veiktā analīze norāda, ka, pirmkārt, lietderīgi pirms uzstādīšanas veikt pozistoru raksturlielumu pārbaudi, lai izslēgtu dotajai temperatūras aizsardzībai nederīgus pozistorus. Otrkārt, jāmeklē alternatīvi motoru temperatūras aizsardzības shēmu risinājumi, kas nodrošinātu augstāku aizsardzības nostrādes precizitāti.

S e c i n ā j u m i

1. Pozistori CT14-1A 75% gadījumu nenodrošina B klases izolācijas motoru tinumu temperatūras aizsardzību.
2. Lai nodrošinātu B klases izolācijas motoru tinumu temperatūras aizsardzību:
 - 1) jāizmanto citas markas pozistori ar nostrādes temperatūru $T = 125^{\circ}\text{C}$;
 - 2) pirms pozistoru uzstādīšanas jāpārbauda to parametri;
 - 3) uzstādot pozistorus, pēc iespējas jāsamazina siltuma pārejas pretestība.

L i t e r a t ū r a

1. Lapsiņš U. Iebūvētās asinhrono elektromotoru kombinētās aizsardzības ierīces darbības termostabilitātes problēmas//LLA raksti /Latv.Lauks.akad. 1991. 266.sēj. 1.daļa. 50.-54.lpp.
2. Liepa I. Biometrija. - R.: Zvaigzne, 1974. 336.lpp.

TEMPERATURE PROTECTION CIRCUIT FOR THE AC
MOTORS COMBINED PROTECTION DEVICE EKA

U.Lapsiņš

Latvian University of Agriculture

S u m m a r y

This article deals with some aspects of the AC electromotors temperature protection applications. The CT-14A thermistor's characteristics analysis of variance are given. The more important conclusion - it is necessary to put any thermistor to the proof when exact temperature protection is essential.

A. Galinš

(Elektrotehnikas katedra)

ASINHRONA GENERATORA AIZSARDZĪBA

Описана работа асинхронного двигателя /АД/ в режиме асинхронного генератора /АГ/. Обоснована необходимость применения защитных устройств при эксплуатации АД в режиме АГ. Даны рекомендации по применению защитных устройств.

Pēdējā laikā elektroenerģijas cenas strauji palielinās, vērojams enerģijas deficīts. Tāpēc ir aktualizējies jautājums par alternatīvās enerģijas ražošanu. Praktiski iespējams izmantot mazo upju, vēja un citu veidu enerģiju. Mehāniskā enerģija ir iegūstama samērā vienkārši – ar vēja rotoru, ūdens turbīnu, biogāzes iekšdedzes dzinēju un daudziem citiem papēdieniem.

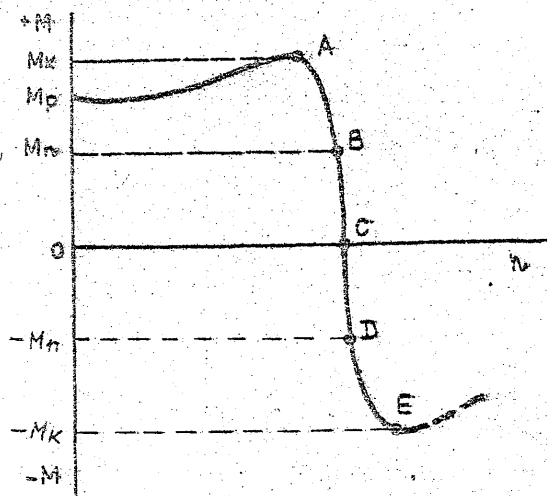
Lai pārveidotu mehānisko enerģiju elektriskajā, nepieciešama elektriskā mašīna, kuru sauc par generatoru. Veidojot spēka agregātu mehāniskās enerģijas pārvēršanai elektriskajā, jāatrisina viena problēma – jāizvēlas un jāiegādājas elektriskais generators. Šī speciālā elektriskā mašīna ne vienmēr ir pieejama, bet iespējams cits risinājums. Praktiski visas elektriskās mašīnas, tai skaitā arī asinhronais dzinējs, var strādāt gan kā dzinējs, gan kā generators. Lai elektrodzinējs strādātu kā generators ir jānodrošina attiecīgs darba režīms – rotora griešanās frekvence un ierosme. Jāpiebilst, ka vairums generatoru, kurus izmanto tehniskā, nav tiešā veidā savienojami ar 50 Hz mainstrāvas tīklu. Lai šos generatorus pieslēgtu tīklam, nepieciešami speciāli sprieguma pārveidotāji, kuri ir komplicēti un dārgi. Nepiemērota generatora izmantošana sadārdzina visas iekārtas pašizmaksu un ekspluatācijas izdevumus.

No elektriskajām mašīnām pašlaik vispieejamākā ir asinhronā mašīna (AM) ar isi slēgtu rotoru, tas ir visparastākais trīs fāžu asinhronais dzinējs. Šis dzinējs var strādāt kā generators, ja ir pieslēgts pie elektriskā tīkla un rotoru griež ātrāk par dzinēja magnētiskā lauka sinhrono

frekvenci. Piemēram, ja elektrodzinēja nominālie apgriezieni $n_n = 2800$ apgr/min, tad statora magnetiskā lauka sinhronā frekvence $n_o = 3000$ apgr/min, ja $n_n = 1440$ apgr/min, $n_o = 1500$ apgr/min, ja $n_n = 950$ apgr/min, $n_o = 1000$ apgr/min.

Asinhronā mašina ierosinās, ja to pieslēdz elektriskajam 50 Hz tīklam. Nekāda speciāla ierosmes regulēšana un sinhronizēšana ar tīklu nav nepieciešama, jo AM pieslēgšanas brīdī automātiski izpildās visi sinhronizācijas noteikumi. Vienīgi jāņem vērā tas, ka tīkls jāpieslēdz tad, kad AM rotora griešanās frekvence pārsniedz n_o . Ja rotors griežties lēnāk, tad AM strādās kā elektrodzinējs un patērēs no tīkla enerģiju.

Iepriekš aprakstīto uzskatāmi parāda AM mehāniskā raksturliktne (1.att.). Uz vertikālās ass ir mehāniskais griezes moments M uz vārpstas, uz horizontālās ass - vārpstas griešanās frekvence n . Raksturliktnes posmā no punkta A līdz C AM strādā elektrodzinēja režīmā, no punkta C līdz E kā ģenerators. Apskatīsim AM darbību asinhronā elektrodzinēja režīmā ar ilgstoši nemainīgu slodzi (S1).



1.att. Asinhronās mašīnas mehāniskā raksturliktne:

Ja asinhronais elektrodzīnējs strādā ar nominālo noslodzi, griezes moments uz vārpstas ir M_n un apgriezieni atbilst nominālajiem n_n . Dzīnējs attīsta nominālo jaudu uz vārpstas. Mehāniskajā raksturliķnē tas ir punkts B. Ja barošanas spriegums ir nominālais, visi pārējie dzīnēja parametri aptuveni atbilst pasēs datiem.

Ja mēs asinhrono elektrodzīnēju izmantojam kā generatoru, mūs visvairāk interesē, kādu jaudu tas attīstīs? Atbilde ir sekojoša. Galvenais parametrs, kurš ierobežo elektrodzīnēja jaudu, ir pielaujamā strāva tinumā. Šo strāvu praktiski nosaka elektrodzīnēja konstrukcija un darba apstākļi - tinumi nedrīkst pārkarst. Ja elektrodzīnēju darbina kā generatoru, pielaujamā strāva tinumā ir tāda pati, kā dzīnējam $I_{az} = I_{gen}$. Kā tas iespaido asinhronā generatorā elektrisko jaudu? Elektrodzīnēja pasēs dotos ir dota nominālā jauda uz vārpstas P , tā ir mehāniskā jauda. Mūs interesē elektrodzīnēja elektriskā jauda P_E , to aprēķina pēc sakarības $P_E = P / \eta$ kur η - lietderības koeficients. Tā arī ir AM nominālā elektriskā jauda. Šādu jaudu attīstīs arī asinhronais generators.

Lai asinhrono elektrodzīnēju darbinātu asinhronā generatora režīmā, ir nepieciešama papildus mehāniskā jauda zudumu kompensēšanai. Lietderības koeficients ir aptuveni līdzīgs elektrodzīnēja lietderības koeficientam η . Lai asinhronā mašina attīstītu nominālo elektrisko jaudu generatora režīmā, vārpstai ir jāpievada nominālā mehāniskā jauda $P_{gen} = P_E / \eta = P / \eta^2$. Piemēram, ja mums ir elektrodzīnējs ar nominālo jaudu $P=3\text{ kW}$ un lietderības koeficientu $\eta=0,8$, tad nominālā elektriskā jauda būs $P_E=3/0,8=3,75\text{ kW}$. Tādu nominālo jaudu šī AM attīstīs arī generatora režīmā. Mehāniskā jauda, kas nepieciešama, lai attīstītu nominālo elektrisko jaudu, ir $P_{gen}=3/0,8^2=4,69\text{ kW}$.

Mehāniskajā raksturliķnē (1.att.) punkts D ir nominālais noslodzes punkts asinhronajam generatoram. Šajā punkta generators attīsta jaudu P_E , vārpsta griežas ar ātrumu n_{ngen} un pievadītais griezes moments ir M_{ngen} . $n_{ngen} \approx (n_n - n_0)$, kur n_0 - magnētiskā lauka griešanās frekvence, n_n - elektrodzīnēja vārpstas nominālā griešanās frekvence.

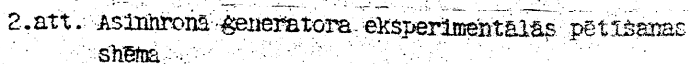
Palielinot generatora vārpstas griešanās frekvenci, palielinās griezes moments un generatora attīstītā jauda. Ja jaudā pārsniedz P_E , asinhronais generators sāk strādāt pārslodzes režīmā. Maksimāli iespējamā pārslodze ir punktā E (1.att.), kur generatora darbība kļūst nestabila - slide pārsniedz kritisko slīdi. Generatoram strādājot pārslodzes režīmā, strāva tinumos pārsniedz nominālo, tinumu temperatūra palielinās. Generatora tinumi var sadegt. Viss notiek līdzīgi, kā asinhronajam elektrodzinējam pārslodzes gadījumā.

Ja AM, kura strādā generatora režīmā, atslēdzas kāda no līnijas fāzēm, veidojas avārijas režīms, kur caur diviem pieslēgtajiem AM tinumiem sāk plūst strāva, kas ievērojami pārsniedz nominālo, aptuveni 1,5...2,0 reizes. Rezultātā pastiprināti silst tinumi un AM var iziet no ierindas. Tas pats notiek arī asinhronajam elektrodzinējam, ja atslēdzas kāda no līnijas fāzēm.

AM ir dārgas, tāpēc nav izdevīgi tās darbināt bez aizsardzības ierīcēm, jo pastāv avārijas režīmu iespējamība. Bez efektīvas aizsardzības nav iespējams garantēt ilgstošu un drošu iekārtas darbību. AM darba mūžu iespaido noslodze, darba temperatūras režīms un dažādu faktoru ietekmē, arī izolācijas pretestība. Tāpēc AM neatkarīgi no tā, vai strādā dzinēja vai generatora režīmā, ir jāsarģā no nepilnīgu režīma, ilgstošas pārslodzes, pārkaršanas un elektriskās izolācijas pretestības pasliktināšanās.

Asinhrono dzinēju aizsardzībai lieto aizsardzības ierīces FUE-M; EKA un citas. Asinhronajiem generatoriem speciālu aizsardzības ierīču nav, tāpēc jāizmanto tās pašas, kuras lieto elektrodzinēju aizsardzībai.

Lai iegūtu informāciju, kā darbojas elektrodzinēju aizsardzības ierīces kopā ar asinhrono generatoru, tika izveidota speciāla eksperimentālā shēma (2.att.). Laboratorijas iekārta sastāv no 6 polu asinhronās mašīnas ar īsi slēgtu rotoru M1, kuru piedzen 4 polu asinhronā mašīna ar fāzu rotoru M2. Piedzina ir izveidota tāda, ka dzinēja M2 apgriezieni ir regulējami no 0 līdz 1400 apg/min. Asinhronās mašīnas M1 magnētiskā lauka rotācijas ātrums ir 1000 apg/min.



2.att. Asinhronā generatora eksperimentālās pētīšanas shēma

S1 konstrukcija atļauj darbināt asinhrono mašīnu M1 gan elektrodzinēja, gan generatora režīmā. Stenda shēmā (2.att.) ir ieslēgts elektriskais skaitītājs P1, kas darbojas kā indikators, kurš parāda enerģijas plūsmas virzienu. Ar voltmetru P2, vatmetru P3 un ampērmētru P4 var kontrolēt fāzes A parametrus. Pogas S1; S2; S3 nepieciešamas fāzes izkrišanas imitēšanai. Kvēlspuldze HL1 darbojas kā indikators, kura nodziest, ja aizsardzības ierīces API nostrādā. Automātiskais atslēdzējs QF1 nepieciešams eksperimentālās iekārtas aizsardzībai pret īsslēgumiem.

Ar shēmas (2.att.) palīdzību tika pārbaudīta asinhronā generatora darbība kopā ar aizsardzības ierīcēm FUZ-M; EKA; EKA-2. Tā kā šīs aizsardzības ierīces kontrolē strāvu vērtību un fāžu nobīdi vados, bet strāvas virziena izmaiņu nemēra, tās vienlīdz labi var aizsargāt gan elektrodzinēju, gan generatoru.

Elektriskie mērījumi, kurus izdarījām asinhronajam generatoram pie dažādām noslodzēm, apstiprināja to, ka fāzes izkrišana palielina strāvu tīnumos $\approx 1,5$ reizes un vairāk. Noslodzei palielinoties, attiecība starp strāvām fāžu izkrišanas gadījumā un strāvu normālā darba režīmā palielinās. Piemēram, asinhronā generatora M1 nominālā fāzes strāva ir $I_n = 6,8$ A. Asinhronais generators darbojas ar noslodzi 0,14 no nominālās jaudas, strāva ir $I = 4,7$ A. Ja vienu fāzi atslēdz, strāva pārējās divās palielinās 1,5 reizes un ir $I = 7,1$ A. Ja generators darbojas ar noslodzi 0,5, strāva ir $I = 5,5$ A, atslēdzot vienu fāzi, strāva pārējos divos tīnumos palielinās 1,64 reizes un sasniedz vērtību $I = 9,0$ A, kas ir $9,0/6,8 = 1,32$ reizes lielāka nekā generatora nominālā strāva I_n . Rezultātā tiek ievērojami pārslogoti tīnumi.

Jāatzīmē, ka fāzjutīgās aizsardzības ierīces momentāni nostrādā fāzes atslēgšanās brīdī.

Aizsardzības ierīču efektivitāte generatora pārslodzes gadījumos ir atkarīga no ierīces regulējuma, no iestatītā jutības sliekšņa. Aizsardzības ierīces regulēšanu var izdarīt komplektā ar generatoru. Regulēšanas tehnoloģija ir tāda pati, kā elektrodzinējiem uzstādītām aizsardzības ierīcēm. Iestatīt pārslodzes jutības sliekšni generatora darba laikā

ir sarežģīti, jo ne vienmēr ir iespējams mainīt mehāniskās piedziņas jaucdu, tāpēc aizsardzības ierīci ir vēlams noregulēt pirms uzstādīšanas. Regulēšanu izdara uz standarta pēc tinumu pieļaujamās strāvas.

S E C I N Ā J U M I

1. Pētījumu rezultāti apstiprināja, ka fāzes izkrišanas gadījumā strāva asinhronā ģeneratora pārējos divos tīņos palielinās 1,5 reizes un vairāk. Tāpēc ir nepieciešams izmantot efektīvas aizsardzības ierīces.

2. Praktiskie pētījumi parādīja, ka asinhronās mašīnas, kas darbojas kā ģenerators, veiksmīgi var aizsargāt no avārijas režīmiem ar plaši izplatītajām elektrodzinēju aizsardzības ierīcēm FUZ-M, kā arī ar jaunākajām Latvijas Lauksaimniecības universitātē izstrādātajām dzinēju aizsardzības ierīcēm EKA un EKA-2. Šīs ierīces nevainojami darbojas gan ar elektrodzinēju, gan asinhrono ģeneratoru.

The protection of the induction generators

A. Galins

Latvian University of Agriculture

S U M M A R Y

The article deals with application of induction AC electric motors as AC induction generators. It is described application of electromotors protection unit which is made in Latvian University of Agriculture. The protection unit of 3-phase electric AC motors is used as protection unit of 3-phase induction generator.

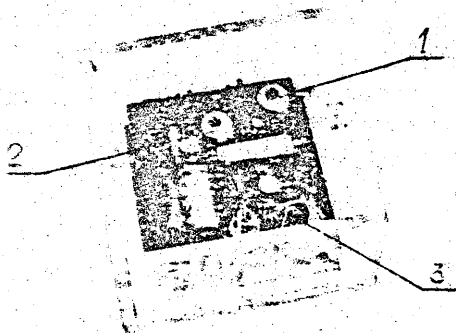
J.Fridrihsons, U.Lapsins, A.Sniders
(Elektrotehnikas katedra)

TEMPERATŪRU LAUKA ŠADALIJUMA PĒTĪJUMI
ELEKTRODZINĒJA PĪEVADKĀRĒĀ

Исследовано температурное поле в клеммной коробке новой конструкции асинхронного двигателя. Изложена методика и аппаратура проведения эксперимента.

Экспериментально получены температурные кривые в трех различных режимах нагрузки двигателя. Дан анализ результатов эксперимента.

Izstrādātā elektromotoru kombinētās aizsardzības ierīce līdzīgi ierīcei EKA novērsē galvenos elektrodzinēja avārijas režīmus. Ierīces makets aplūkojams 1.att.



1.att. Iebūvētās kombinētās aizsardzības ierīces makets:

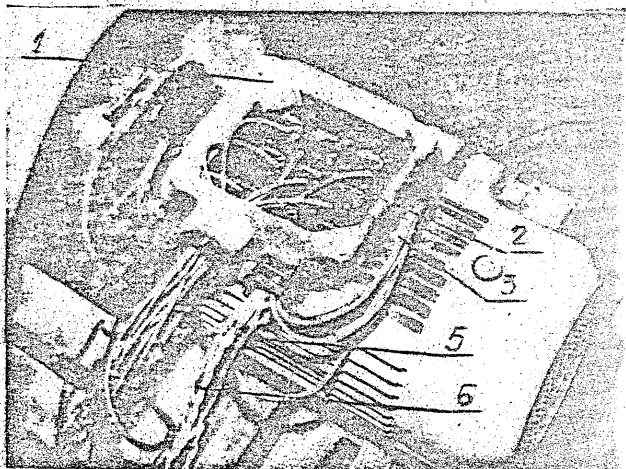
- 1-pārslodzes kontroles ķēdes regulēšanas potenciometrs;
- 2-izolācijas kontroles ķēdes regulēšanas potenciometrs;
- 3-simistors

Atšķirībā no EKA šo aizsardzības ierīci paredzēts uzstādīt tieši uz dzinēja, īpašas konstrukcijas pīevadkārā.

Vairumam shēmas elementu darbības parametri ir atkarīgi no to temperatūras, tādēļ nepieciešams noskaidrot kārbas iekšējo temperatūru lauka sadalījumu dažādos dzinēja darbības režīmos.

Temperatūru režīmu pievadkārbā nosaka ārējie un iekšējie siltuma avoti un dzesēšanas apstākļi. No ārienes siltumu dod motora stators, korpuss, kurus darba gaitā uzsilda motora tinumi. Kārbas iekšpusē temperatūru paaugstina elementi, kuros ierīces patērētā elektroenerģija izdalās siltuma veidā.

Pirmajā pētījumu posmā tika noskaidrota motora radītā siltuma ietekme. Šajā nolūkā izveidots makets (skat.2.att.). Temperatūru mērīšanai raksturīgākajos punktos uz maketa plates izvietoti rezistori MHT-0.5, kuriem pielīmēti vara-konstantāna termopāri. Izvietojuma punkti izvēlēti ņemot vērā galvenokārt dzesēšanas apstākļus.



2.att. Makets temperatūru sadalījuma mērīšanai aizsardzības pievadkārbā:

1-iebūvētā aizsardzības pievadkārbā; 2-rezistori ar uzlīmētiem vara-konstantāna termopāriem; 3-termopāru termoelektrodi; 4-elektrodzinēja pieslēgšanas kabelis; 5-statora tinumu iebūvēto pozistoru izvadi; 6-statora tinumu temperatūras mērīšanas termopāru izvadi.

Elektroiskārtu elementu un elektroniskās aparātūras ekspluatācijas parametrus reglamentē normatīvā dokumentācija. Šai aspektā radās nepieciešamība eksperimentāli pārbaudīt temperatūras T , atbilstību normai (60°C) jaunizgatavotajā savienojumu pievadkārbā pie dažādām elektrodzinēja noslodzes pakāpēm.

Nestacionārā temperatūras izmaiņa elektriskajās mašinās atbilst šādai analītiskai izteiksmei [1]:

$$T_t = T_{st}(1 - e^{-t/\tau}) + 2T_g e^{-t/\tau} \quad (1)$$

kur: T_t - tekošā temperatūra; T_{st} - stacionārā režīma temperatūra; t - laiks; T_g - apkārtējās vides gaisa temperatūra; τ - laika konstante, kas aprēķināma pēc formulas:

$$\tau = \frac{T_{st}}{\theta / (cG)} \quad (2)$$

kur: θ - siltuma zudumi; c - siltuma ietilpība; G - masa.

Eksperimenta laikā pie telpas temperatūras $T_g = 14...20^{\circ}\text{C}$ dzinējs ar nominālo jaudu $P_n = 1,7 \text{ kW}$ tika ekspluatēts trīs slodzes režīmos: $P = P_n$, $P = 1,25P_n$ un $P = 1,5P_n$.

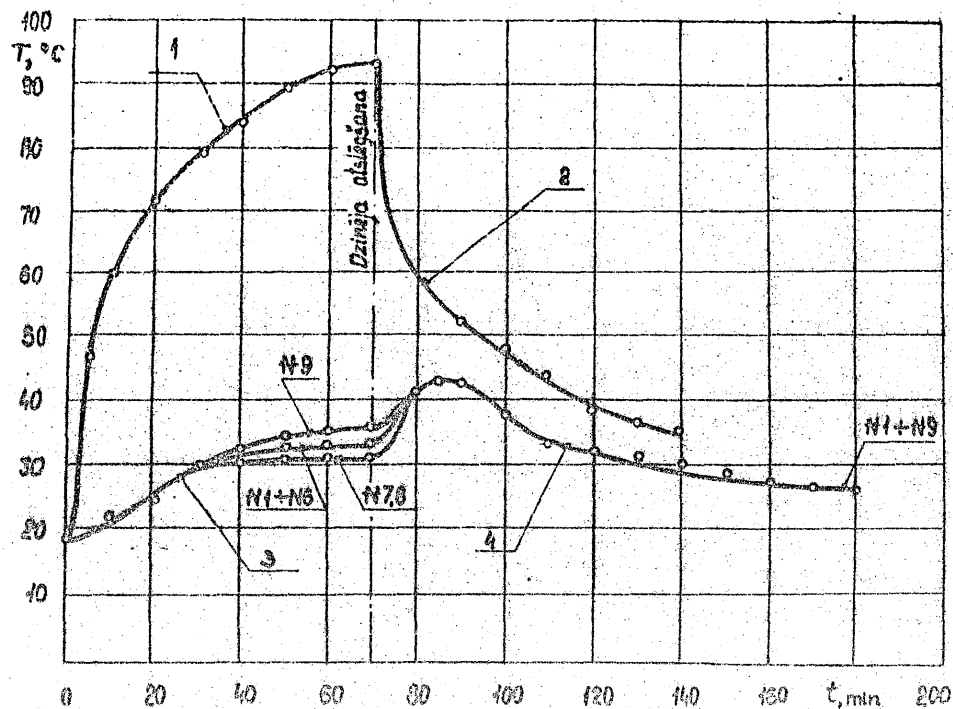
Momentā, kad statora tinumu temperatūra $T_{2(t)}$ pārsniedz pielaižamo normu (130°C), elektrodzinēju atslēdza no tīkla.

Izdarot eksperimenta rezultātu analīzi, tika konstatēts, ka stacionārs temperatūras režīms dzinēja statorā iestājas pie $P = P_n$ pēc 70 minūtēm. (3.att.). Normālā režīmā pielaižamā temperatūra nepārsniedza pielaižamo normu, bet pārslodzes režīmos šī temperatūra bija augstāka par pielaižamo un dzinējs tika atslēgts no tīkla (4., 5.att.).

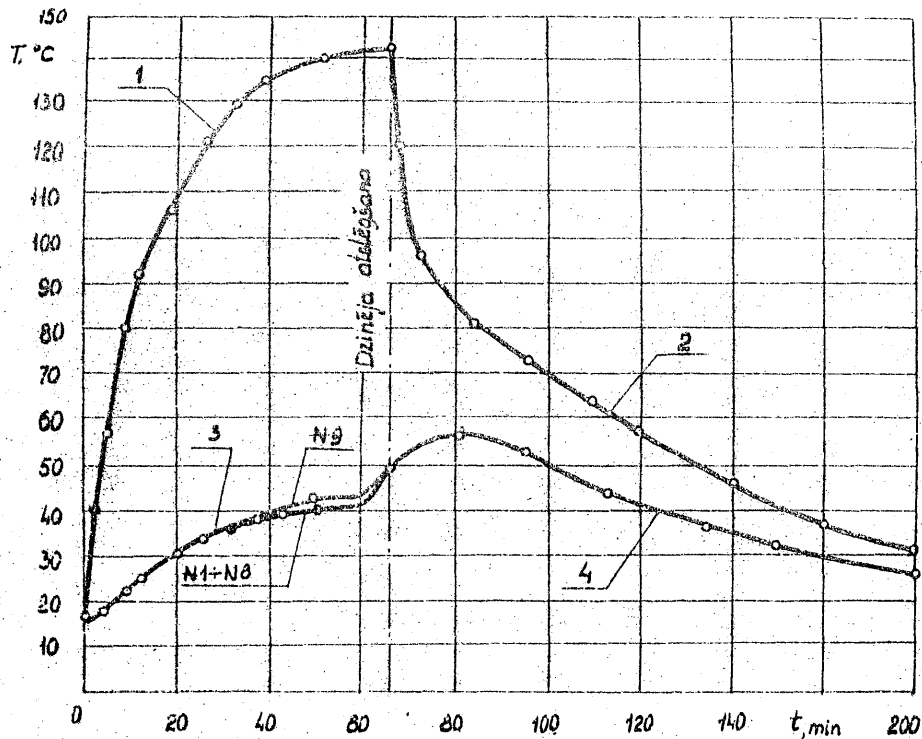
Atdzišanas process visos režīmos noris lēnāk un temperatūras kritums statora tinumos tādā pašā laika posmā sastāda tikai 75...50 %.

Tas izskaidrojams ar to, ka uzsildīšanas un atdzišanas apstākļi ir atšķirīgi (pēc atslēgšanas nestrādā dzinēja ventilators).

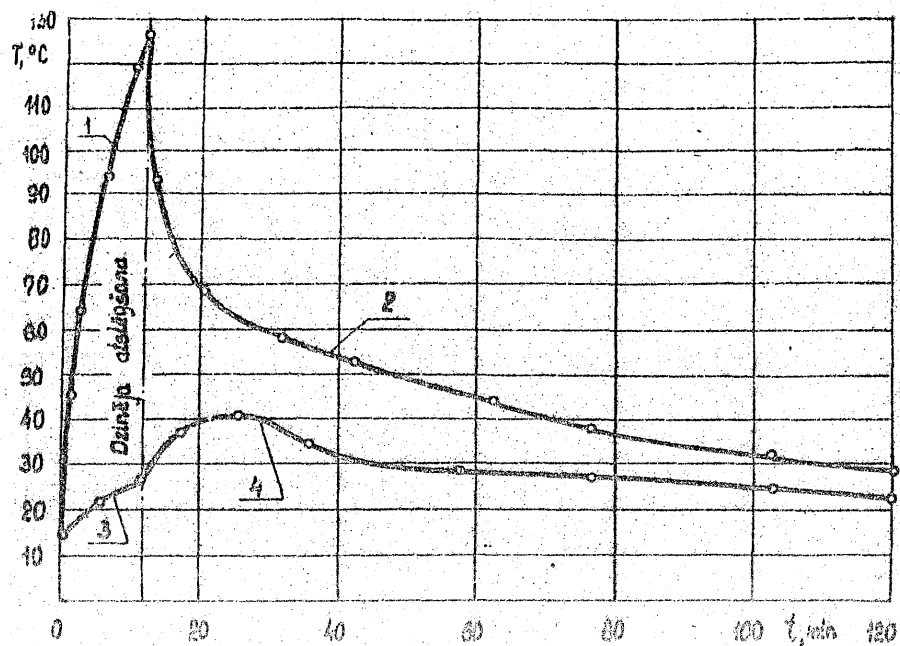
Sadales kārbā stacionārā temperatūra periferiālajos punktos, pateicoties labākiem siltuma atdeves apstākļiem, ir



3. att. Temperatūras līknes pie $P = P_N$: 1,2 - temperatūra dzinēja statora tinumos uzsildīšanas un atdzišanas procesos; 3,4 - temperatūras sadalījums aizsardzības pievādkārbā uzsildīšanas un atdzišanas procesos;
Nr.1 ... Nr.9 - termopāru numerācija



4. att. Temperatūras liknes pie $P = 1,25 P_N$: 1.2 - temperatūra dzinēja statora tinumos uzsilšanas un atdzišanas procesos; 3,4 - temperatūras sadalījums aizsardzības pievadkārbā uzsilšanas un atdzišanas procesos; Nr.1 ... Nr.9 - termopāru numerācija



5. att. Temperatūras līknes pie $P = 1,5 P_N$: 1,2 - temperatūra dzinēja statora tinumos uzslīšanas un atdzišanas procesos; 3,4 - temperatūras sadalījums aizsardzības pievadkārbā uzslīšanas un atdzišanas procesos

par 3...4 °C zemāka, kas jāņem vērā pie attiecīgo elektronikas elementu izvietojuma tajā.

Pēc dzinēja atslēgšanas pirmās 20 minūtes temperatūra turpina pieaugt par ~ 10°C, pēc kam asimptotiski samazinās līdz sākuma (gaisa) temperatūrai atbilstoši vienādojumam

$$T_{1...9} = T_{st} e^{-t/\tau} \quad (3)$$

Sīdžiens: Normālā un pārslodzes režīmos pie apkārtējā gaisa temperatūras 14...20 °C temperatūra sadales pievadkārbā nepārsniedz pieļaujamo normu (60°C), tādēļ kārbā var tikt ekspluatēta patreizējā konstruktīvajā izpildījumā.

LITERATŪRA

1. Филиппов И. Ф. Теплообмен в электрических машинах. Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. - 294с.
2. Архипов П. А. Тепловые режимы низковольтных комплектных устройств. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 72с.

TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION IN THE INDUCTION MOTOR'S CONNECTION CASE

J.Fridrihsons, U.Lapsins, A.Sniders

LATVIAN UNIVERSITY OF AGRICULTURE

S u m m a r y

Temperature field is analysed for new designed AC electromotors protection device mounted on motor.

The used experimental method is explained.

The temperature curves for three different regimes are indicated.

SATURS

A. Šniders. Trisfāžu asinhrono dzinēju kombinētās elektroniskās aizsardzības izstrāde	3
A. Šniders. Fāzgriezēja transformatora un asinhronā dzinēja parametru analīze un saskaņošana	17
A. Šniders. Elektrodzinēju kombinētās elektroniskās aizsardzības termostabilitātes un parametru izkliedes pētījumi	31
A. Galiņš. Elektrodzinēja elektriskās izolācijas kontroles shēmas	47
R. Šeļegovskis. Asinhrono dzinēju kombinētās aizsardzības ierīces EKA-2 fāžu režīma kontroles ķēdes pētījumi	60
U. Lapsiņš. Temperatūras kontroles shēma asinhrono elektromotoru kombinētās aizsardzības ierīcē EKA	74
A. Galiņš. Asinhrona ģeneratora aizsardzība	82
J. Fridrihsons, U. Lapsiņš, A. Šniders. Temperatūru lauka sadalījuma pētījumi elektrodzinēja pievadkārībā	88



ELEKTRODZINĒJU KOMBINĒTĀ AIZSARDZĪBA

LLU raksti

274. laidziens

Parakstīts iespiešanai 12.04.93. Papīra formāts 60x84/16. Ofsettehnika.

Uzsk.izd.l. 3,8. Fiziskās iespiedl.6,2. Metiens 150 eks. Pasūtījuma Nr. 91

Izdevuma Nr. 43.

Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Reģistrācijas apliecība Nr. 2 - 0084

LLU un rotaprinta adrese: Lielā iela 2

Jelgava-I Latvija, LV-3001