

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TƏNZİM OLUNAN ASİNXRON MÜHƏRRİKİN KONSTRUKSIYASININ İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏDQIQI

İxtisas: 3340.01 “Elektrotexniki sistemlər və komplekslər”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Səadət Yaşar qızı Şixəliyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKI-2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin
"Elektromexanika" kafedrasında yerinə yetirilmişdir

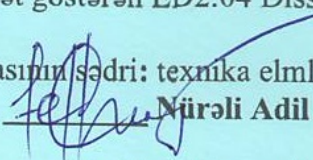
Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru, professor
Eldar Mehdi oğlu Fərhadzadə

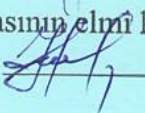
Rəsmi opponetlər: texnika elmləri doktoru, professor
Qədir Ağə oğlu Əbdülrəhmanov

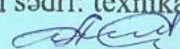
texnika elmlər namizadi, dosent
Ramiz Ağəli oğlu Hüseynov

texnika elmlər namizadi, dosent
Sevinc Marlen qızı Mirzəyeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
nəzdində fəaliyyət göstərən ED2.04 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor

Nürəli Adil oğlu Yusifbəyli

Dissertasiya şurasının elmi katibi: texnika elmlər namizadi, dosent

Şükür Nəriman oğlu Nəsirov

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor

Yaşar Ruhulla oğlu Abdullayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı:

Sənayedə, kənd təsərrüfatında, məişətdə, nəqliyyatda zaman keçdikcə tələb olunan mexanizmlərin konstruksiyasında, işində, moment və fırlanma tezliyinin tənzimlənməsində etibarlılığın, dəqiqliyin, idarə olunmanın inkişafı əsas yer tutur. Onların işində texnoloji prosesin əlverişli hərəkəti üçün işçi orqanların fırlanma tezliklərinin tez-tez tənzimlənməsi məsələsi əsas yer tutur. Xalq təsərrüfatının bütün sahələrində işçi elementin fırlanma tezliyinin tənzimlənməsi əsas şərtidir. Məsələn, torna dəzgahında yonulan dairəvi detalın kəsilmə yerində sürətin təxminən sabit saxlanması və bununla da keyfiyyətin yaxşı olması üçün dəzgahın şpindelində sürət dəyişdirilməlidir. Bu dəyişmə detalın işlənməsinin xarakterinə görə də baş verə bilər, belə ki, işlənmənin xarakteri kobud və ya təmiz ola bilər; işlənmənin fiziki-mexaniki xarakterinin və kəsilmənin dəyişməsi və s. buraya aid edilə bilər. Belə misallar xeyli çoxdur. Tənzimlənmə tələb olunan mexanizmlərə misal olaraq prokat stanlarını, kağız hazırlama, qaldırıcı-nəqliyyat, kənd-təsərrüfatı, toxuma və digər mexanizmləri göstərmək olar. Bütün hallarda fırlanma tezliyinin tənzimi istehsal mexanizmlərindən əlverişli istifadə, onların optimal iş rejiminin yaradılması və enerjiden istifadənin azalmasına imkan verir.

Hazırda fırlanma tezliyinin tənzimlənməsi prinsipi ilə işləyən sistemlər mövcuddur ki, burada bu mühərrikin bəsləmə mənbəyində gərginliyin tezliyi uyğun dəyişdirilir. Təklif olunan konstruksiyada yüksək keyfiyyətli gərginlik dəyişdiriciləri (tiristor gərginlik tənzimləyiciləri və s.) vasitəsi ilə gərginliyin qiyməti və mühərrikin valındakı fırlanma tezliyi arasında tam dəqiq mütənəsibliyin yaradılması prinsipi yeni sistemin yaranması üçün fundament yaradır.

Elektrik mühərrikləri vasitəsi ilə mexanizmlərin orqanlarının fırlanma tezliklərinin tənzimində valdakı momentin qiymətindən asılı olmayaraq və işçi orqanın tələbinə uyğun tənzimlənmə yerinə yetirilir. Mühərriklərin mexaniki xarakteristikalarının analizi göstərir ki, onların fırlanma tezliklərinin dəyişməsi elektrik dövrəsinin parametrlərinin (müqavimətin) və bəsləyici mənbəyinin parametrlərinin (gərginlik, tezlik) dəyişməsində ola bilər. Elektrik mühərrikinin fırlanma

tezliyin tənzimi birinci faktorun - dövrənin və ya bəsləmə mənbəyinin parametrlərinin dəyişməsi ilə moment verilmiş qiymətdən fərqlənməyə başlayacaqdır.

Elektrik maşınları inkişaf etdikcə energetik xarakteristikalarının verilmiş səviyyəsində materiala qənaət əldə etmək çox çətindir. Müasir zamanda elektrotexniki poladın xassələrinin yaxşılaşmasına, yuvanın mislə doldurma keyfiyyətinin, izolyasiyanın termiki dayanıqlığının yüksəlməsinə və aktiv hissələrin həndəsi ölçülərinin rəssional seçiminə sərf olunan ehtiyatlar artıq tükənib. Belə bir şəraitdə soyuma intensivləşməsinin rolu daha da yüksəlir. Bu ən çox İP 44 seriyalı fırlanma tezliyi tənzim olunan asinxron maşınlarla aiddir. Çünki bu maşınlarda aşağı fırlanma tezliklərdə enerji itgisinin həcmi artır.

Fırlanma tezliyi tənzim olunan asinxron maşınlarla tənzimlənmə diapazonunun genişlənməsi zamanı ventilyatorun məhsuldarlığının aşağı düşməsi ilə soyuducu havanın miqdarı azalır. Bu hal maşının valdakı momentinin azalması ilə nəticələnir və bu da materialların xüsusi çəkirlərinin kəskin artmasına səbəb olur. Əgər ventilyatoru daha aşağı fırlanma tezliklərə layihə etsək, tənzimlənmə diapazonunun gələcək artmasında onun faydalı iş əmsali kəskin azalar.

Belə məqsədlərə müvafiq mühərriklərin layihə edilməsində mütləq aşağıdakı məsələlər həll olunmalıdır: idarə qurğuları ilə mühərrikin elektromaqnit uyğunluğu, xüsusilə parametrlərin gərginlik tənzimləyicilərinin dayanıqlı işinə, buraxıla bilən artıq yüklənmələrin qiymətinə, mühərrikin gücünün seçiminə, əlavə yüklənmələrin müəyyən edilməsinə, əlavə itgilərin, momentin və s. təsiri.

İşlənən konstruktiv ifadə özünün sadəliyi, tətbiq olunan avadanlıqların ucuzluğu və idarə edilməsinin sadəliyinə görə əhəmiyyət kəsb edir. İdarə sistemində işlədilən avadanlıqlar az həcmə malik – asan idarə olundurlar.

İşin məqsədi:

Yuxarıda göstərilən amillərin yerinə yetirilməsində əsas element onların mexaniki enerji ilə təminatını yaradan elektrik maşınının yaradılması, görülən dissertasiya işinin əsas məqsədi olaraq tələb olunan amillərə tam cavab verir. Göstərilən elmi iş istifadə olunması elementlərinə görə müasir aktuallığı səviyyəsini təmin edir.

Texnoloji prosesdə iştirak edən mexanizmlərin fırlanma tezliklərini

geniş diapazonda dəqiq tənzimləyəbilən və yüksək göstəricilərə malik olan iki rotorlu asinxron mühərrikin işlənməsindən ibarətdir.

Qoyulmuş məqsədə müvafiq olaraq dissertasiya işində aşağıdakı əsas məsələlər həll olunmuşdur:

1. Layihə olunan konstruksiyanın ümumiləşdirilmiş sxemi.
2. Mühərrikin yüklənmə və tənzimlənmə parametrlərinin uyğunlaşması.
3. Gərginliyin qiymətindən asılı olaraq fırlanma tezliyinin müxtəlif qiymətlərində valdakı momentin hansı qiymətlər ala bilməsinin yoxlanması.
4. Fırlanma tezliyin dəyişilməsində momenti təmin edən cərəyanlar və onlar arasında nisbətəin həm hesabi, həm də qrafiki müəyyənləşməsi.
5. Rotor dövrəsindəki müqavimətin müxtəlif qiymətlərində fırlanma tezliyi ilə moment arasındakı nisbətəin hesablanması və araşdırılması.
6. Mühərrikin temperatur rejiminin analizi və hesablanması.
7. Ventilyasiya ilə istilik həcmnin müqayisəsi və onlar arasındakı nisbətəin hesablanması.

İşin elmi yeniliyi:

1. Layihələndirilən yeni konstruksiyalı AM-də valdakı momentlə fırlanma tezliyi arasında səlistlik nisbətəi yaratmaq.
2. Layihə olunan AM-də bütöv konstruksiya formasında rotor müqavimətinin sistemə daxil edilməsidir.
3. Ventilyasiyanın aşağı fırlanma tezliklərində də yüksək səviyyədə saxlanması.
4. Çoxelemanlı bütöv konstruksiyalı rotoru olan yeni AM-də gedən bir neçə elektromexaniki prosesin nəzəri məsələlərinin kompleks şəkildə həlli.
5. Konstruktiv olaraq alınmış üsullar vasitəsilə asinxron maşının effektiv işləmə rejiminin yerinə yetirilməsi.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Yeni iki rotorlu konstruksiyanın tam sxematik ifasını vermək və təhlil etmək.
2. İki rotorlu AM-də gedən elektromexaniki proseslərin nəzəri məsələlərini həll etmək.

3. Valdakı momentdən asılı olaraq ayrı-ayrı elementlərdə itğilər hesabına istiliyin yaranması və yayılması prosesini təhlil etmək.

4. İstiliyin maşından xaric olunma prosesini yerinə yetirən yeni ventilyasiya sisteminin effektiv işlənməsinə müvəffəq olmaq və konstruktiv ifasını tam vermək.

5. Yeni konstruksiyalı AM-dəki itkiləri təyin etmək və layihə məsələlərinin həlli metodikasını işləmək.

Əsaslandırılma və dürüstlük:

Elektromexanikanın fundamental qanunlarına, o cümlədən enerjinin çevrilməsi: maqnit, elektrik və istilik proseslərin nəzəriyyəsinə əsaslanmışdır. Burada tənzimlənmə prosesinin axınlığı, prosesin hansı hədlərdə dəqiq və dürüst olması, və tənzim zonasında gedən xətaların təhlili əsas yer tutur.

İşin praktiki dəyəri:

Texnoloji prosesin əlverişli hərəkəti üçün işçi orqanların fırlanma tezliklərinin tənzimlənməsi vacib məsələdir. Mexanizmlərin fırlanma tezliklərinin tənzimlənməsi ilə onlardan əlverişli istifadə, texnoloji optimal iş rejiminin yaradılması və enerjiddən istifadənin azalmasına nail olmaq olar. Yeni konstruksiyalı asinxron mühərriklə müxtəlif tənzimlənmə üsullarının faydalılığını əldə etmək mümkündür.

Layihə olunan konstruksiyanın yuxarıda göstərilən obyektlərlə tətbiqi sistemin elementlərinə hərtərəfli müsbət təsirlər göstərir, belə ki, kiçik həcməldə fırlanma tezliyinin və momentin tənzimində qurğunun faydalı iş əmsalının yüksəlməsinə, ümumiyyətlə ümumi xərclərin azalmasına səbəb olur.

İşin nəticələrinin həyata keçirilməsi:

Tənzim olunan asinxron mühərrik sənayenin və kənd təsərrüfatının müxtəlif sahələrində tətbiq etmək üçün təqdim olunur. İki rotorlu asinxron mühərrikin konstruktiv ifasına dair hazırlanmış patent dissertasiya işinin həyata keçirilməsi üçün bir əsasdır. Patent ilkin sorğulardan keçib və müsbət cavab almışdır.

İşin aprobasiyası:

Dissertasiya işinin əsas müddəaları və nəticələri məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

1. Respublika Elmi-Praktiki Konfransında MDU, Mingəçevir, 6-7 dekabr 2013.

2. Respublika Elmi-Texniki Konfransında MDU, Mingəçevir, 28-29 noyabr 2014.
3. Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfransında SDU, Sumqayıt, 27-28 oktyabr 2015.
4. Respublika Elmi Konfransında, MDU, Mingəçevir, 27-28 noyabr 2015.
5. Respublika Elmi Konfransında, MDU, Mingəçevir, 23-24 dekabr 2016.
6. Magistrantların XVII Respublika Elmi konfransında SDU, 11-12 may 2017.
7. X Международная Научно-Практическая Конференция Молодых Ученых, УГНТУ, Россия, Уфа, 14 апреля – 19 мая 2017.
8. Respublika Elmi Konfransında, MDU, Mingəçevir, 7-8 may 2018.
9. Respublika Elmi Konfransında, SDU, Sumqayıt, 30-31 may 2019.

Nəşrlər:

Dissertasiya işi üzrə müəllif tərəfindən 10 məqalə (ondan üçü xaricdə) və 9 konfrans materialı (biri xaricdə) dərc olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi:

Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticədən və əlavələrdən ibarətdir. Həmçinin 31 şəkil və ədəbiyyat siyahısı bura daxildir.

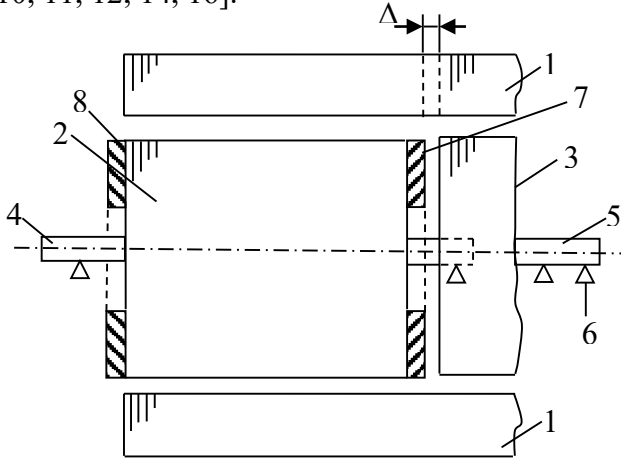
İŞİN QISA MƏZMUNU

Dissertasiyanın girişində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın əsas məqsədi və məsələləri müəyyən edilmiş, işin elmi yeniliyi, praktik əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar və dissertasiyanın əsas bölmələrinin qısa məzmunu verilmişdir.

Birinci fəsildə müqayisəli təhlillər əsasında fırlanma tezliyi tənzim olunan iki rotorlu AM–in təkmilləşdirilmiş konstruksiyasının quruluşu araşdırılmış və təqdim edilmişdir. Layihə olunmuş iki rotorlu AM–in konstruktiv quruluşu fırlanma tezliyi geniş hədlərdə tənzim olunan və yüksək energetik göstəricilərə malik olan elektrik mühərrikidir. Mühərrikin tətbiq sahəsi müəyyənləşdirilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, fırlanma tezliyinin hər hansı bir qiymətinin dəqiqliyi tələb olunan

qurğularda, məişət avadanlıqlarında, moment və fırlanma tezliyinin tənzimlənməsi tələb olunan sənaye qurğularında layihə olunan mühərrikin tələbatını artırır.

Mühərrikin konstruktiv sxemi verilmişdir (şək.1). Konstruksiya müasir qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrik əsasında yaradılmışdır [3, 4, 9, 10, 11, 12, 14, 16].



Şək 1. Mühərrikin konstruktiv quruluşu

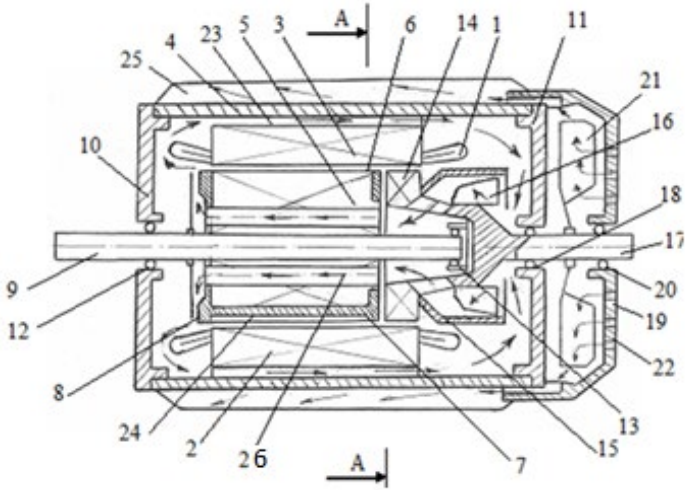
1-stator; 2-işçi rotor; 3-ələvə rotor; 4-işçi rotorun valı; 5-ələvə rotorun valı; 6-yastıqlar; 7-qısa qapanmış həlqə (mis); 8-qısa qapanmış həlqə (yüksək müqavimətli metal); Δ -hava aralığı

Statorun əhatəsində yerləşən rotor iki rotorla: işçi və əlavə ilə əvəz edilmişdir (şək. 1). İşçi rotor statorun gərginliyinə əsasən geniş hədlərdə fırlanma tezliyinə, əlavə rotor isə geniş hədlərdəki tənzimlənmədə maşının tam soyudulmasına işləməsi nəzərdə tutulub.

Layihə olunan maşının konstruktiv elementlərinin açıq şəkildə ifası üçün uzununa və eninə oxlar boyunca kəsikləri verilmişdir, burada stator və rotor əhatəsində yerləşən elementlər aydın şəkildə göstərilmişdir [16]. Hər iki ox boyunca konstruktiv kəsik sahələri, soyudulma sisteminin təsir fəaliyyəti, digər elementlər açıq şəkildə aydınlaşdırılır (şək. 2).

İşçi rotor və əlavə rotor bir-biri ilə mexaniki olaraq ancaq əsas vall digər valla ucunda qoyulmuş ikinci yastıq ilə əlaqədə olduğundan

rotorlar tamamilə sərbəstdirlər. İşçi rotor və köməkçi rotor bir-biri ilə ancaq maqnit əlaqəsindədirlər ki, iş rejimi daxili parametrlər əsasında yaradılır.



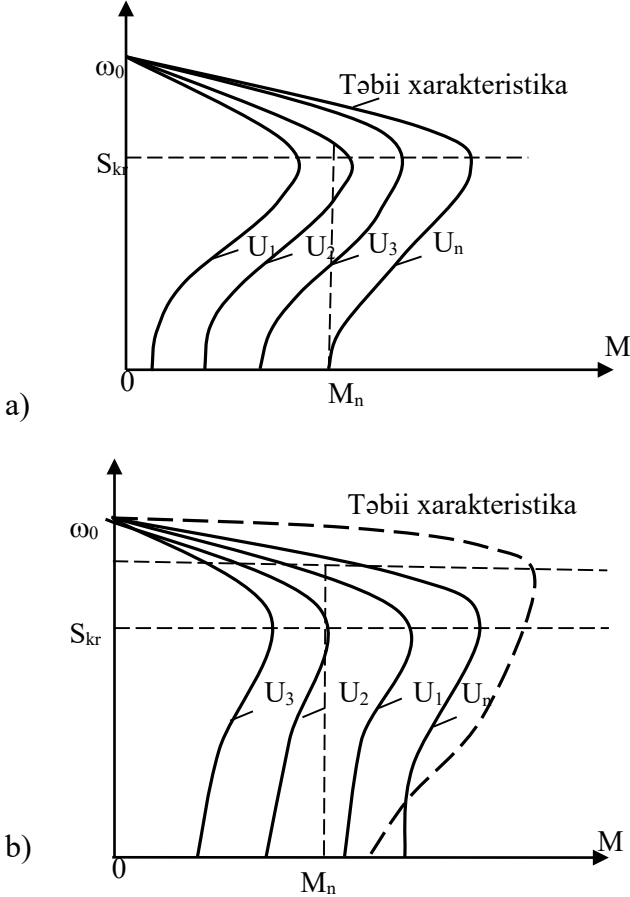
Şək. 2. Maşının konstruktiv ifası.

1-statorun dolaqları; 2- statorun maqnit keçiricisi; 3-stator; 4-gövdə; 5-işçi rotor; 6, 24-işçi rotorun mis dolağı; 7-qısa qapayıcı mis həlqə; 8-qısa qapayıcı fexral həlqə; 9-işçi rotorun valı; 10,11-yastıq qalxanları; 12,13-yastıqlar; 14-əlavə rotor; 15-ventilyasiya kanalları; 16-ventilyasiya kürəkləri; 17-əlavə val; 18-yastıq; 19-yastıq qalxanı; 20-yastıq; 21-ventilyator; 22-ventilyasiya kanalları; 23-ventilyasiya kanalları; 25-gövdənin qabırğaları; 26-işçi rotorun ventilyasiya kanalları.

Stator dolağına verilən gərginliyin qiymətindən (zəruri fırlanma tezliyi almaq üçün statorun dolağına nominal gərginliyin tam və ya ondan aşağı qiymətləri verilə bilər) asılı olaraq işçi rotor müəyyən fırlanma tezliyi ilə fırlanacaqdır. Fırlanma tezliyini geniş hədlərdə dəyişmək üçün bu gərginlik dəyişdirilir. Qalınlığı 0,5 mm olan elektrotexniki polad vərəqələrdən hazırlanan işçi rotorda xarici diametr üzrə açılmış yuvalara mis material ərimiş halda daxil edilir. Əlavə rotor tərəfdən rotor dolağının çıxışları qısa qapanmış həlqə şəklində bütöv

konstruksiya təşkil edir. İşçi rotor dolağının digər tərəfdəki xarici çıxışları aktiv müqaviməti yüksək olan fexraldan hazırlanır ki, stator dolağına verilən gərginliyin qiymətinin dəyişməsi ilə işçi rotorun fırlanma tezliyinin 1:10 diapazonunda dəyişməsinə imkan yaradır.

Mühərrikin konstruksiyasında fırlanma tezliyinin tənzimlənməsi statora verilən gərginliyin dəyişdirilməsinə əsaslanır (şək. 3).



Şək. 3. Gərginliyin qiymətinin azalmasında asinxron maşının mexaniki xarakteristikası

a) - normal qısa qapanmış rotor valında; b) - layihə olunan maşında yüksək müqavimətli qısa qapanmış halqanın olması ilə ω - fırlanma tezliyi

Mühərrikin valındakı momentlə temperatur arasında münasibətlər araşdırılmışdır. İşçi rotorun fırlanma tezliyinin aşağı salınma prosesində mühərrikin gücünün saxlanması halında itkilərin dəyişməsi ilə temperatur artımına şərait yaradılmır, belə ki, mühərrikin bütün fırlanma tezliklərində soyudulma sistemi maşında yaranan temperaturun artmasının qarşısını alır. Soyuducu hava bütün fırlanma tezliklərində gərginlikdən asılı olmayaraq kifayət həcmdə vurulur və temperatur artımı xaricə - atmosfərə ötürülür.

İşçi rotorun ümumi dolaq konstruksiyasında materialların seçimi buna əsas verir. Rotorun müqavimətinin artımı rotordan hava axının çıxdığı istiqamətdəki qısa qapayıcı həlqənin yüksək müqavimətli materialdan - fexraldan yerinə yetirilməsi ilə baş verir. Maşının əvəz sxeminə əsasən rotorun aktiv müqavimətinin artımı fırlanma tezliyinin tənziminə imkan verir.

Stator dolağına gərginlik verildikdə yaranan statorun maqnit sahəsi həm işçi rotorun və həm də əlavə rotorun maqnit nüvəsindən axır. Hər iki rotorda fırlanan maqnit sahəsi yaranır. Əsas işçi rotorla əlavə rotor arasında ancaq bir mexaniki əlaqə-yastıq vardır. Hər iki rotor bir-birindən sərbəstdirlər [7].

Stator dolağına verilən gərginliyin qiymətindən asılı olaraq işçi rotor müəyyən bir fırlanma tezliyi ilə fırlanacaqdır. Fırlanma tezliyinin geniş hədlərdə tənzimlənməsi üçün gərginliyin qiyməti dəyişdirilir və bununla da kritik sürüşmə rotorun aktiv müqavimətinə r'_2 -ə düz mütənasib dəyişəcəkdir:

$$S_{kr} = \frac{c_1 r'_2}{\sqrt{r'_1 + (x_1 + c_1 x_2')^2}}$$

Aktiv müqavimətin hesabına kritik sürüşmənin qiyməti maksimal momentin qiymətini də nəzərə almaqla artır.

Asinxron mühərriklərin fırlanma sürətlərinin tezliyini statora verilən gərginliyin qiymətini dəyişməklə daha sərfəli üsulla tənzimləmək mümkündür. Bunun üçün avtotransformator, tiristor gərginlik tənzimləyicisi – TGT və s. vasitələrdən istifadə etmək olar [17].

TGT-lərin digər tənzimləyicilərdən (avtotransformator, doyma drossel və s.) fərqli bir neçə üstünlükləri vardır: tez təsiredici qabiliyyətin olması, f.i.ə.-nin yüksək olması, ucuz dəyərə malik olması, tən-

zımlənmə xarakteristikasının sərt və axınlı olması və s. Üç fazlı döv-rədə hər bir fazaya qarşılıqlı-parallel sxemdə iki tiristor qoşulur və bu-nunlada yük cərəyanının şəbəkənin U_1 gərginliyində iki yarımperiodda axmasına şərait yaradılır.

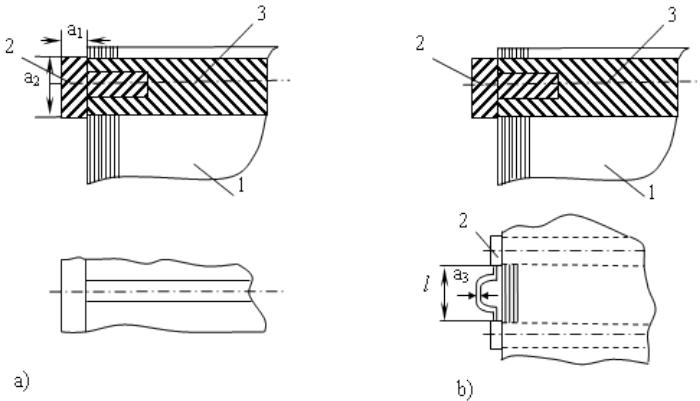
TGT ilə gərginliyi $U_{nom} - 0$ qədər tənzimləmək mümkündür. Stator gərginliyinin forması qeyri-sinusoidal olduqda TGT-lərin tətbiqi kritik sürüşmənin qiyməti böyük olan maşınlarda daha sərfəlidir.

İkinci fəsildə maşının layihələndirilməsində əsas və əlavə rotorla-rın yerləşdirilməsi prosesinə baxılır. Məlum gücdə əlavə rotorun gücü müəyyənləşdirilir: bu məsələdə normal güc şəraitində ventilyasiya sis-teminə zəzuzi olan güc müəyyən edilir, və bu gücə uyğun hava aralı-ğının uzunluğu əlavə rotorun uzunluğu kimi qəbul edilərək işçi rotorun uzunluğu bir-iki millimetr az olmaqla stator paketinin uzunluğuna görə hesablanır. Nəticə olaraq aktiv rotorun uzunluğunda bir neçə millimetr fərq olur ki, bu fərq ümumi uzunluq hesablandıqda qısa qa-panmış həlqə istiqamətində əlavə olunur. İşçi rotor xüsusi olaraq ayrı-ayrı materiallardan hazırlanır ki, bu elementlər fırlanma tezliyinin tənzimlənməsində faydalı olaraq iştirak etsinlər.

Rotorun maqnit sistemi seriya ilə hazırlanan maşınların konstruksiyasına uyğundur. Rotorun dolağının iki hissədən olması maşının işinin normal olaraq yerinə yetirilməsi üçündür: dolağın özü və bir tərəfin qısa qapanmış həlqəsi mis materialdan tökmə üsulu ilə hazırlanır. Misdən cərəyan itkilərinin azaldılması məqsədilə istifadə edilmişdir. Digər qısa qapanmış həlqə isə yüksək müqavimətli materialdan olub dolaqla qaynaqlanaraq birləşdirilir [6].

Yüksək müqavimətli qısa qapanma həlqəsi zəruri olan müqavimə-tin qiymətindən asılı olaraq müxtəlif konstruksiyada hazırlana bilər. (şəkil 4. a-da) göstərilən konstruktiv ifadə a_1 və a_2 ölçülərini dəyişdir-məklə zəruri tənzim müqaviməti almaq mümkündür. Müqavimətin daha geniş hədlərdə tənzimi (şəkil 4.b-də) göstərilir. Burada iki yuva ilə əlaqədar olan qapayıcı hissənin qalınlığı a_3 və uzunluğu l dəyişdi-rilərək zəruri müqavimət əldə oluna bilər.

Əsas xarakteristika olaraq moment xarakteristikası nəzərdə tutulur ki, bunun üçün də stator və rotor bölmələrinin bəzi parametrləri dəqiq hesablanmalıdır.



Şək. 4. Yüksək müqavimətli qısa qapanma həlqəsinin konstruktiv görünləri

1-mağnit keçiricisi; 2-yüksək müqavimətli qısa qapanmış həlqə;
3-rotorun mis dolağı

Bu parametrlər stator və rotorun aktiv və induktiv müqavimətləridir ki, bunların hesablanması aşağıdakı kimidir¹:

1. Stator dolağının aktiv müqaviməti

$$r_1 = \rho_{115} \frac{L_1}{q \cdot a} = \frac{10^{-6} \cdot 80,86}{41 \cdot 2,454 \cdot 2 \cdot 210^{-6}} = 0,402 \text{ } Om$$

2. Rotor dolağı fazasının aktiv müqaviməti

$$r_2 = r_{\zeta} + \frac{2r_{qq}}{\Delta^2} \quad (1)$$

$$r_2 = r_{\zeta} + \frac{r_{qq1} + r_{qq2}}{\Delta^2} \quad (2)$$

burada (1)-də göstərilən r_{qq} -müqaviməti qısa qapanma həlqələrin hər ikisi eyni materialdan olan seriyalı maşınlarla aiddir, (2)-də isə r_{qq1} - mis materialdan hazırlanmış qısa qapanma həlqəsinin, r_{qq2} -fexral materialdan hazırlanan qısa qapanma həlqəsinin müqavimətidir.

¹ Копылов Н.П. Проектирование электрических машин. Москва, 2014, с.75-115

Layihə olunan maşının xarakteristikasının seçimi üçün parametrlərin müxtəlif qiymətləri olmalıdır ki, hər hansı bir zəruri fırlanma tezliyi üçün xarakteristikalar alınsın. Bunun üçün əsasən rotorun aktiv müqaviməti dəyişdirilməlidir ki, hər bir müqavimət üçün xarakteristika olsun.

İlk növbədə gücü 15 kVt olan mühərrik üçün (2)-də göstərilən parametrlər məlum olmalıdır. Bunun üçün işçi rotor çubuğunun r_{ζ} , qısa qapanma mis həlqəsinin r_{qq1} və r_{qq2} müqavimətləri hesablanmalıdır.

$$r_2 = \rho_{115} \frac{l_2}{q_{\zeta}} = \frac{1}{41} \cdot 10^{-6} \frac{0,11}{191 \cdot 10^{-6}} = 14 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

$$r_{qq1} = \beta_{115} \frac{\pi D_{qq}}{z_2 q_{qq}} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{\pi \cdot 0,144}{38 \cdot 460 \cdot 10^{-6}} = 0,63 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

Xüsusi müqavimətləri nəzərə alırıq:

$$\text{mis üçün } 0,0175 \frac{\text{om} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m};$$

$$\text{fexral üçün } 1,2 \frac{\text{om} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 120 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Hər iki qısa qapanma həlqəsinin ölçülərini eyni qəbul etsək fexraldan hazırlanan həlqədə müqavimət $k_f = 120/1,75 = 68,6$ dəfə çox olacaqdır.

Qəbul etdiyimiz eyni ölçü üçün

$$r_{qq2} = r_{qq1} \cdot k_f = 0,63 \cdot 10^{-6} \cdot 68,6 = 43,22 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

k_f -in qiymətini 50% azaltmaqla növbəti – nisbətən kiçik qiymətləri əldə edirik.

$$r_{qq2} = 21,61; 10,805; 5,355; 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

Nəzərdə tutulmuş qiymətlər əsasında rotor dolağının tam aktiv müqavimətini hesablayırıq:

$$r_2 = r_{\zeta} + \frac{r_{qq1} + r_{qq2}}{\Delta^2} \quad (3)$$

Hesablama əməliyyatı r_{qq2} -nin müxtəlif qiymətləri üçün nəzərdə tutulur ki, maşının alarıq (yazılmış ədədi qiymətlər layihə olunan 15

kVt güclü asinxron maşın üçün nəzərdə tutulmuşdur): mexaniki xarakteristikaları əldə olunsun və yararlı olan xarakteristikanın nəzərdən keçirək. Hesablamalar aşağıdakı ardıcılıqla aparılır. (3) ifadəsini qəbul olunmuş qiymətlərlə yazsaq

$$r_2 = 14 \cdot 10^{-6} + \frac{0,063 \cdot 10^{-6} + r_{qq2}}{0,329^2}$$

Yuxarıda r_{qq2} -nin ədədi qiymətlərinin ardıcıl olaraq ifadədə yerinə yazmaqla r_2 üçün qiymətlər alırıq, (cədvəl 1).

Cədvəl 1.

Qısa qapanma həlqəsinin müqavimətini nəzərə almaqla rotor dolağının müqaviməti

$r_{qq2}, 10^{-6}\text{Om}$	43,22	21,61	10,805	5,355	2,7
$r_2; 10^{-6}\text{Om}$	453	238	128	73	33,3

Cədvəl 1-dən alınmış r_2 qiymətlərinin stator dolağının sarğılar sayına keçiririk

$$r_2' = r_2 \frac{4m(\omega k_{d1})^2}{z_2} \quad (4)$$

Hesablamalar cədvəl 2-də qeyd olunur.

Cədvəl 2.

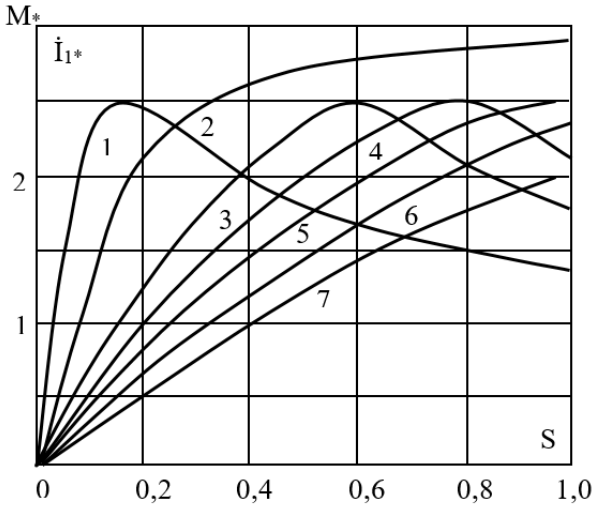
Rotor dolağının müqavimətinin statora çevrilmiş qiymətləri

$r_2, 10^{-6}\text{Om}$	453	238	128	74	33,3
$r_2'; \text{Om}$	15,4	9,0	5,31	3,51	1,68

Maşının əsasən vacib olan işəburaxma xarakteristikalarına baxılmışdır (şək. 5). Burada işçi rotorun müxtəlif konstruktiv ifalarında: rotor dolağı tam misdən olduqda stator cərəyanı və moment xarakteristikası, yüksək müqavimətli qısa qapanmış həlqə olduqda müxtəlif moment xarakteristikaları hesablanmışdır.

Maşında istilik rejimi aşağıdakı qaydada təsir edir: işçi və əlavə rotorların işləməsi zamanı ayrılan istilik həcmi - stator zonasından keçərək maşının gövdəsinə daxil olmalı və oradan atmosfərə ötürülməlidir. Ventilyasiya sisteminin adi seriya maşınlarında olduğu kimi təsiri (şəkil 6 a-da) verilir: rotordan ayrılmış istilik seli rotorların maqnit keçiricisi vasitəsilə hava aralığından keçərək stator paketinə daxil olur, oradan isə gövdə poladına keçir və nəhayət hava axını vasitəsilə (xarici

ventilyator) atmosferə göndərilir. Yeni konstruksiyada isə bu proses əlverişli konstruktiv quruluşda gövdə poladına (şəkil 6 b-də) daxil olur və oradan atmosferə ötürülür. [11].

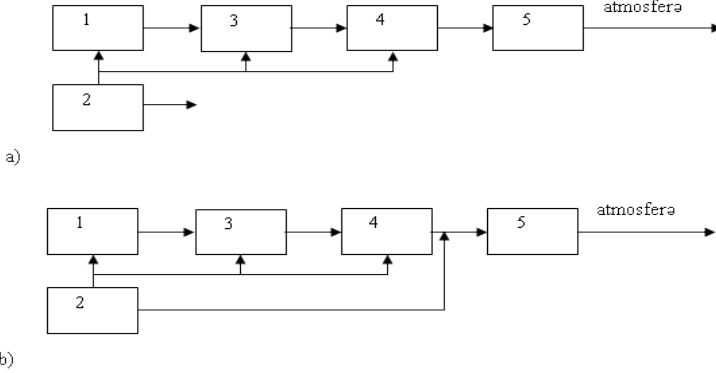


Şək. 5. Layihə olunan mühərrikin işə buraxma xarakteristikaları
 1- rotor dolağı misdən olduqda statorun cərəyanı; 2-rotor dolağı misdən olduqda moment xarakteristikası; 3-7-rotorun bir qısa qapanma həlqəsi yüksək müqavimətli fexraldan olduqda müqavimətin müxtəlif qiymətlərində (cədvəl 3) moment xarakteristikaları.

Cədvəl 3.

Qısa qapanma həlqəsinin müqavimətindən maşının mexaniki xarakteristikaları $M_* = f(r'_2)$

Qısa qapanma həlqəsinin müqaviməti r'_2		S ü r ü ş m ə					Kritik sürüşmə 0,6
		1,0	0,8	0,5	0,2	0,1	
1,68	M_*	2,0	1,75	1,2	0,51	0,27	0,8
3,51	M_*	2,25	2,05	1,48	0,62	0,35	1,0
5,31	M_*	2,5	2,23	1,70	0,75	0,45	-
9,0	M_*	2,25	2,5	1,9	1,0	0,55	-
15,4	M_*	1,75	2,25	2,45	1,45	0,8	-



Şək. 6. İstilik sellərinin axma sxemi

a-seriya mühərriki, b- ikirotorlu geniş hədlərdə tənzimlənən mühərrik
1-stator dolağı, 2- işçi və adi əlavə rotorlar, 3-yuva izolyasiyası,
4-stator poladı, 5-gövdə.

Prosesin belə axımı rotorların həcmindən ayrılan istiliyin bir hissəsini hava aralığına ötürür və stator izolyasiyasına isti havanın axının qarşısını alır. Bu halda stator izolyasiyasında temperaturun aşağı düşməsi baş verəcəkdir və maşının yükünü artırmaq imkanı yaranacaqdır. İşçi rotorda hava kanallarının effektiv konstruksiyaya malik olması bu müsbət prosesi daha da sürətləndirir.

Layihə olunmuş konstruksiya belə elektrik maşınlarının istifadəsini genişləndirir.

Layihə olunan maşında yaranan itkilərin hesablanması və onların əsasında mühərrikin faydalı iş əmsali təyin edilmişdir.

Hesablamaların aparıldığı bölmələrdə bir çox parametrlər seriya maşınlarına uyğun olan göstərişlər əsasında və tələbata uyğun bəzi düzəlişlərlə qəbul edilmişdir.

1. Maşının poladındakı əsas itkilər:

$$P_{p,\text{ə}} = P_{1,0/5,0} \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta (k_{da} B_a^2 m_a + k_{dz} B_{z1}^2 m_{z1}) =$$

$$= 2,6(1,6 \cdot 1,65^2 \cdot 16,78 + 1,8 \cdot 1,81^2 \cdot 5,27) = 270,8 \text{ Vt}$$

$$m_a = \pi(D_a - h_a) h_a l_{p1} k_p \gamma_p =$$

$$= \pi(0,272 - 0,0217) \cdot 0,0217 \cdot 0,13 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 16,78 \text{ kq}$$

$$h_a = 0,5(D_a - D) - h_y = 0,5(0,272 - 0,185) - 0,0218 = 0,0217 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} m_{z1} &= h_y \cdot b_{y \text{ orta}} \cdot z_1 \cdot l_p \cdot k_p \cdot \gamma_p = \\ &= 21,8 \cdot 10^{-3} \cdot 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot 48 \cdot 0,13 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 4,94 \text{ kq} \end{aligned}$$

2. Rotorun səthindəki itkilər:

$$\begin{aligned} P_{sr} &= p_{sr} \cdot (t_1 - b_{s2}) \cdot z_2 \cdot l_{p2} = \\ &= 242,4 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3} \cdot 38 \cdot 0,13 = 18,2 \text{ Vt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{sr} &= 0,5 R_{or} \left(\frac{z_1 n_1}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{or} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = \\ &= 0,5 \cdot 1,5 \left(\frac{48 \cdot 1500}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,338 \cdot 12,1)^2 = 242,4 \text{ Vt/m}^2 \end{aligned}$$

Səthdəki induksiya:

$$B_{or} = \beta_{or} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,37 \cdot 1,22 \cdot 0,749 = 0,338$$

3. Rotor dişlərində pulsasiya (titrəmə) itkiləri:

$$\begin{aligned} P_{pul.2} &= 0,11 \left(\frac{z_1 n}{1000} B_{pul.2} \right)^2 m_{z2} = \\ &= 0,11 \left(\frac{48 \cdot 1500}{1000} \cdot 0,131 \right)^2 \cdot 7,77 = 69,1 \text{ Vt} \end{aligned}$$

Rotor dişlərinin - poladının çəkisi:

$$\begin{aligned} m_{z2} &= z_2 \cdot h_{z2} \cdot b_{z \text{ orta}} \cdot l_{p2} \cdot k_c \cdot \gamma_c = \\ &= 38 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,13 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 7,77 \text{ kq} \end{aligned}$$

4. Poladdakı əlavə itkilərin cəmi:

$$P_{\text{əl.p}} = P_{s2} + P_{pul.2} = 18,2 + 69,1 = 87,3 \text{ Vt}$$

5. Poladdakı tam itkilər:

$$P_p = P_{p \text{ əsas}} + P_{p \text{ əl}} = 270,8 + 87,3 = 358,1 \text{ Vt}$$

6. Mexaniki itkilər:

$$P_{mex} = k_t \left(\frac{n}{10}\right)^2 D_a^4 = 0,95 \left(\frac{1500}{10}\right)^2 \cdot 0,272^4 = 117 \text{ Vt}$$

7. Nominal rejimdə əlavə itkilər:

$$P_{\text{əl.n.r}} = 0,005 P_{1n} = 0,005 \frac{P_{2n}}{\eta} = 0,005 \cdot \frac{1500}{0,88} = 85,4 \text{ Vt}$$

Faydalı iş əmsalı $\eta=0,88$ gücü 10-30 kVt seriya ilə istehsal olunan maşın üçün təxmini qiyməti qəbul edilmişdir.

Layihə olunan maşının faydalı iş əmsalının hesablanması üçün tam itkilər aşağıdakı bölmələrin cəmindən ibarətdir [15]:

$$\Sigma P = P_p + P_{mex} + P_{\text{əl}} + P_{e1} + P_{e2}$$

8. Stator dolağındakı elektrik itkiləri:

$$P_{e1} = 3 I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 29^2 \cdot 0,402 \cdot 10^{-3} = 1,05 \text{ kVt}$$

9. Rotor dolağındakı elektrik itkiləri:

$$r_2 = r_{\zeta} + 2 \frac{r_{kl}}{\Delta^2}$$

$$r_2 = r_{\zeta} + \frac{r_{kl.m}}{\Delta^2} + \frac{r_{kl.f}}{\Delta^2}$$

$$r_{\zeta} = \beta_{115} \frac{l_2}{q_{\zeta}} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{0,13}{167 \cdot 10^{-6}} = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

$$r_{\zeta} = \beta_{115} \frac{\pi D_{kl.orta}}{z_2 \cdot q_{kl}} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,147}{38 \cdot 595 \cdot 10^{-6}} = 0,49 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

$$r_{kl.f} = \beta_{115} \frac{\pi D_{kl.orta}}{z_2 \cdot q_{kl}} = \frac{10^{-6}}{7,58} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,147}{38 \cdot 600 \cdot 10^{-6}} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Om}$$

Rotor dolağının ümumi aktiv müqaviməti:

$$\begin{aligned} r_r &= r_{\zeta} + r_{kl.m} + r_{kl.f} = (19,8 + 0,49 + 2,7) \cdot 10^{-6} = \\ &= 22,99 \cdot 10^{-6} \approx 23 \cdot 10^{-6} \text{ Om} \end{aligned}$$

Rotorun aktiv müqavimətinin stator dolağının sarğılar sayına çevrilmiş qiyməti:

$$r'_r = r_2 \frac{4m(\omega \cdot k_{d1})^2}{z_2} = 23 \cdot 10^{-6} \frac{4 \cdot 3(112 \cdot 0,957)^2}{38} = 0,83 \text{ Om}$$

Rotor dolağındakı elektrik itkiləri:

$$P_{e2} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_2 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 29^2 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} = 0,213 \cdot 10^{-3} \text{ Vt}$$

Maşının ümumi itkiləri:

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_p + P_{mex} + P_{e1} + P_{e2} + P_{el} = \\ &= 358,1 + 117 + 1050 + 213 + 87 = 1825,1 \text{ Vt} \\ \Sigma P &= 1,825 \text{ kVt} \end{aligned}$$

Maşının faydalı iş əmsalı:

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1} = 1 - \frac{1,825}{15} = 1 - 0,121 = 0,879$$

Alınmış qiymət seriya ilə istehsal olunan maşınlardan bir az (0,003-0,005 qədər) aşağı olması mühərrikin xüsusi idarə olunan maşınlarla aid olduğunu göstərir və bu qiymət yüksək göstərici sayıla bilər.

Üçüncü fəsildə mühərrikin gücünün və momentin tezlikdən asılılığı araşdırılmışdır. Gücün tezliyin kubuna, momentin isə tezliyin kvadratına mütənasibliyi təsdiqlənmişdir. Bütün tezlik diapazonu üçün bu məsələyə baxılmışdır. Digər güc növləri üçün də fırlanma tezliyindən asılılıqlara baxılmış və əsaslandırılmışdır² [14].

Yükün və fırlanma sürətinin dəyişməsinə uyğun olan iş prosesində tezliyin, cərəyanın və gərginliyin dəyişməsi gərginlik və tezliklə idarə olunan mühərrikin optimallaşdırılması məsələsi üç mərhələyə bölünə bilər:

1. Nominal hesabi rejimin seçimi;
2. Qəbul oluna bilən həllin axtarışı;
3. Optimal həllin axtarışı.

Birinci mərhələdə gücün və ya momentin fırlanma tezliyindən asılılığı analiz edilir. İki kənar hala baxaq: ventilyator yükü və sabit güc rejimi.

² Тубис Я.Б., Фанарь М. С., Нарынская В.М., Зезюлина Л. М. Методы исследования и анализ теплоотдачи асинхронных двигателей. М.: Информэлектро, 1981

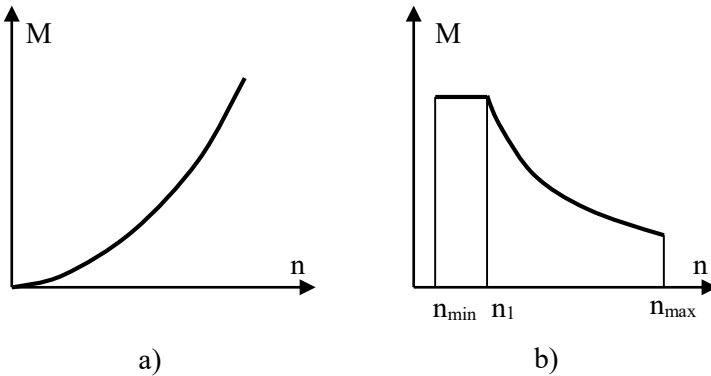
Birinci halda güc tezliyin kubuna, moment isə kvadratına mütənasibdir (şək. 7 a). Uyğun optimal asılılığı $U(f)$ seçərək bütün tənzim diapazonunda kifayət qiymətli f.i.ə. təmin etmək olar. Hərəkət edən qurğuların elektrik intiqalları üçün yük qrafiki (şək. 7 b-də) göstərilir. n_{\max} - n_1 intervalında $P=\text{const}$, n_1 - n_{\min} intervalında $M=\text{const}$.

Diametr üzrə bərklik və rotorun möhkəmliyi üçün məhdudiyyyət n_{\max} rejiminə daxil edilməli, qızmaya görə məhdudiyyyət n_1 rejiminə daxil edilir ki, buna maksimal cərəyan və maksimal maqnit seli uyğundur.

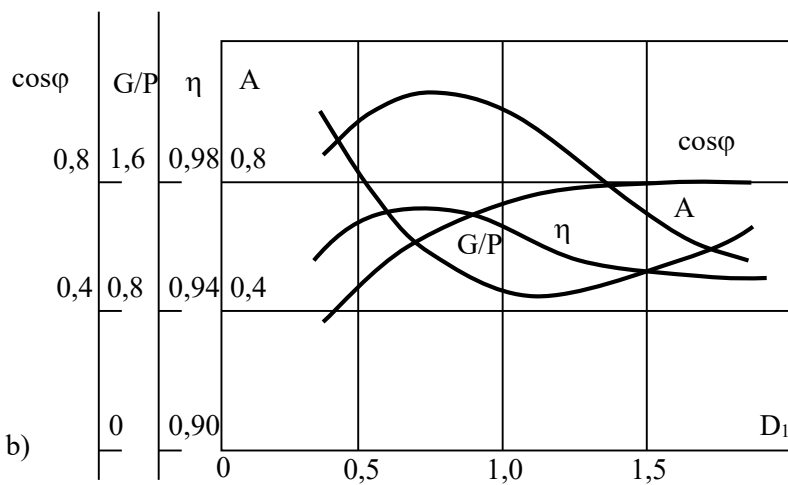
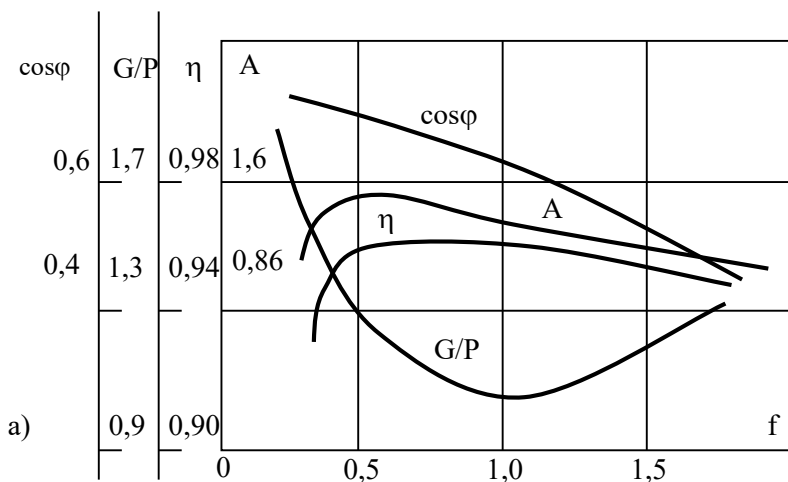
İkinci mərhələdə optimal nominal tezliyi və baş ölçülərinin uyğun qiymətlərinin seçimi əməliyyatı aparılır. Ən çox yayılmış kriteriya lardan biri minimal kütlədir.

Diametrin verilmiş qiymətində aktiv materialların kütləsinin tezlikdən asılılığı şək. 7.a-də verilir.

Optimal nominal tezliyin və əsas ölçülərin uyğun qiymətlərinin seçimi aparılmışdır (şək. 8). Hər bir mümkün olan diametr üçün induksiyanın müəyyən qiymətlərində $G(P)$ asılılığını asanlıqla hesablamaq və dəqiq qiymətini tapmaq mümkündür. Digər tərəfdən bir dəyişənin növbəti metodundan digərinin fiksasiya olunmuş ekstremal qiymətindən istifadə etmək olar.



Şək. 7. Tezliklə idarə olunan rejimdə asinxron mühərrikin qrafiklərinin əsas tipləri:
 a-ventilyator xarakteristikası, b-yük xarakteristikası



Şək. 8. Asinxron mühərrikin kütləsinin və digər göstəricilərinin asılılıqları:

a) $D=\text{const}$ olduqda tezlikdən və b) $f=\text{const}$ olduqda isə diametrdən

Quass-Zeydal metoduna görə, həm f , həm də D -yə görə minimum tapmaq olar. Diametr tez-tez konstruktiv nöqteyi-nəzərdən təyin edilir. (Şəkil 8 a,b-dən) görünür ki, tezliyin optimaldan $\pm 50\%$ -ə qədər sürüşməsi kütləni 3 dəfə dəyişir, bu halda diametrin optimal qitmətdən $\pm 50\%$ yerdəyişməsi kütlənin 20-60% artmasına səbəb olur.

Hesablamaların üçüncü mərhələsində blok-sxem sisteminə baxılmış və burada aktiv zonanın ölçülərinin (induksiya və cərəyan sıxlığının) buraxıla bilən sərhəddə seçimi aparılmışdır. Mühərrikin layihələndiril məsində onun minimal qiymətə malik olması məsələsinə baxılmışdır. Geniş güc diapazonunda maşınların qiymətləri ilə müqayisə olunmuş, layihə olunan iki rotorlu maşının ifasında bu məsələ həll edilmişdir.

Maşının ölçülərinin seçimində iqtisadi məsələlərə də müraciət olunmuşdur. Qəbul olunmuş qiymətlərin minimum şərtləri müəyyən-ləşdirilmişdir. Çəkilmiş xərclərin minimum şərti ilə layihə olunan maşının əsas ölçüləri seçilmişdir.

Dördüncü fəsildə hesablanmış itkilərə əsasən maşının temperatur rejiminə baxılmış, müxtəlif fırlanma tezliklərinə uyğun soyudulma proqramı nəzərdə tutulmuşdur. Nəzərə alınmışdır ki, işçi rotorun kiçik sürətlərində belə ventilyasiya sistemi yüksək səviyyədə təsir göstərsin. İstilik və ventilyasiya rejimlərinin zəruri səviyyə daxilində olması formalaşdırılmışdır [13,18,19].

Mühərrikin elementlərində temperaturun hesablanması üçün işçi elementlərdə itkilər nəzərə alınmışdır. İtkilərin ən çox paylandığı yer-lərdə ventilyasiya sisteminin gücləndirilməsi üçün konstruksiyada elementlərin müvafiq yerləşdirilməsinə baxılmışdır³.

Layihə olunan maşın geniş hədlərdə fırlanma tezliyinin qiymətinin və istiqamətinin dəyişdirilməsinə malik olduğundan gedən proseslər, parametrlər, moment dəyişdiyindən iş zamanı yaranmış itkilərin yarat-dıqları qızma prosesləri də xeyli mürəkkəbdir [2]. Fırlanma tezliyinin tənziyi soyudulma sisteminin düzgün layihəsini tələb edir⁴. Elektrik maşınının layihəsində soyudulma prosesin təxminən stabilliyi, işçi ro-torun geniş fırlanma tezliyi zonasına malik olması və həmçinin

³ Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах.-Л.:Энергоатомиздат, 1986, с. 118-125

⁴ Попов В.И., Ахунов Т.А., Макаров Л.Н. Современные асинхронные машины: Новая Российская серия РА.-М.:Изд-во «Знак», 1999, с. 99-124

dəyişən itkilərin yaradılması soyudulma prosesini daha da mürəkkəbləşdirir.

İki rotorun yerləşdirilməsi, əlavə rotorun işçi rotorun işindən asılı olmayaraq sistemdə ventilyasiya əməliyyatının yüksək məhsuldarlıqla yerinə yetirməsi həyata keçirilir. Baxmayaraq ki, işçi rotorun fırlanma tezliyi geniş hədlərdə dəyişir, əlavə rotor asinxron rejimdə işini davam etdirir. İşçi rotorun minimal fırlanma tezliklərində əlavə rotorun sürəti sürüşmənin bir neçə faizi həcmində aşağı düşə bilər ki, bu da soyudulma sisteminin işinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir göstərməyəcəkdir.

İşçi rotorun fırlanma tezliyinin tənzimlənməsində J_1 cərəyanının qiyməti geniş hədlərdə dəyişə bilər.

Maşının yüksüz işləmə şəraitində işçi rotorun fırlanma tezliyi tənzimlənsə hər iki cərəyan dəyişikliyə məruz qalacaqdır. Aşağı fırlanma tezliklərində işçi rotorun cərəyanı demək olar ki, dəyişməyəcəkdir, kiçik dəyişiklikləri də nəzərdən atmaq olar. Əlavə rotorda sürüşmənin qiyməti dəyişdiyindən onun moment əyrisi üzrə cərəyanın qiyməti dəyişəcəkdir; yüksüz işləmə rejimində isə əlavə rotor üçün bu qiymət yox səviyyəsində olacaqdır, çünki onun funksiyası ventilyasiyanı təmin etməkdir.

İşçi rotorun müxtəlif fırlanma tezliklərində əlavə rotorun fırlanma tezliyi asinxron rejim prinsipinə əsasən sürüşmənin azacıq dəyişməsinə uyğun dəyişəcəkdir. Əlavə rotor elə layihə olunur ki, işçi rotorun fırlanma tezliyinin layihə qiymətinin aşağı pilləsində onun tezliyi azacıq dəyişməyə malik olacaq.

İşçi rotorun yüklü rejimində də əlavə rotor maşının tənzimləmə rejiminə tabe olmaqla statora verilən gərginliyin qiymətindən asılı olaraq fırlanma tezliyini azacıq olaraq kiçik hədlərdə dəyişə bilər.

Layihədə baxdığımız iki rotorlu asinxron maşında yuvaların çəpliyini də nəzərdən atmaq mümkündür. Belə ki, çəplik adətən maqnit itkilərinin azaldılması məqsədini daşıyır, bu itkilərin də miqdarı təqdim olunan mühərrikdə həddindən artıq az olduğundan rotor yuvaların çəpilyi ancaq böyük güclü asinxron maşınlarla aid edilə bilər.

Layihə olunan iki rotorlu asinxron mühərrik müxtəlif işləmə rejimlərinə və işçi rotorun fırlanma istiqamətinin dəyişdirilməsi proqramında da istehsal oluna bilər.

Əgər layihə olunan maşının iş rejimi iki fırlanma istiqamətlidirsə

həm daxili, həm də xarici ventilyatorlar havanı ancaq bir istiqamətdə vurmalıdır. Bu istiqamət əlavə rotordan işçi rotor istiqamətində olmalıdır. Məsələ ondadır ki, işçi rotorun mis dolağının əlavə rotorun əks istiqamətində qoyulmuş yüksək müqavimətli qısa qapanma həlqəsində istilik mənbəyinin gücü çoxdur və oradan ventilyasiya sisteminə nisbətən çoxlu həcmdə istilik axını olur. Bu məqsədlə layihə olunan mərkəzdənqaçma ventilyatorları (həm daxili və həm də xarici) hər iki fırlanma istiqamətində soyuducu mühit havasını bir istiqamətdə soyudulma kanallarına vurur.

Layihə olunan elektrik maşınının ventilyasiya hesablamalarının əsas məqsədi bütövlükdə ventilyasiya sxeminin seçimi və həmçinin hava vuran elementlərin işini müəyyənləşdirməkdir ki, bununla da vahid zamanda soyuducu mühitin zəruri həcmdə verilişinin təmin edilməsi və ya başqa sözlə zəruri hava sərfiyyatının yaradılmasıdır.

Havanın həcmi sərfiyyatı (sərf) vahid zaman ərzində kanalın eninə kəsiyindən keçən mühitin həcmidir. Bütün elektrik maşınına aid edilən bu elə bir həcmdir ki, vahid zaman ərzində ya ventilyasiya gedişinin bütün paralel yollarından, ya da gətirən (aparan) aralıqların en kəsiyindən keçir .

Sərfiyyat Q saniyə ərzində metr kubu ilə ifadə olunur və havanın kanalında orta hərəkət sürəti ω ilə sadə əlaqədə olur:

$$Q = \omega S \quad (5)$$

burada S - kanalın en kəsiyi sahəsidir.

Ventilyasiya sistemi sərbəst bir konstruktiv sxem kimi işlənmişdir: konstruktiv elementlərdə istilik həcminə uyğunlaşdırılmış ventilyasiya yolları layihələndirilmişdir, fırlanma tezliyinin hansı vəziyyətdə olmasından asılı olmayaraq soyudulma effektiv formada, yəni konstruksiyada mühərrikin işçi rejimindən asılı olmayaraq əlavə rotorun fırlanma tezliyinin sabit olması ilə buna nail olunmuşdur.

Ventilyasiya sistemi işçi rotorun hansı istiqamətdə fırlanmasına görə ventilyasiyanın elementləri havanın ancaq bir istiqamətdə vurulmasını təmin edir. Ventilyasiyanın sabitliyi - həm maşının daxili, həm də xarici ventilyatorları üçün yararlı olmaqla əldə edilir⁵.

⁵ Невельсон М.И. Центробежные вентиляторы. - М.; Госенергоатомиздат, 1984, с.225-263

Mərkəzdənqaçma ventilyatorları iki istiqamətli fırlanma üçün işlənmişdir. Ventilyatorlar maşının ikinci mərkəzi oxu üzərində yerləşmişlər və bunlar əlavə rotor vasitəsilə hərəkət edirlər: fırlanma tezliyi bütün tənzimləmə zonasında asinxron tezliyidirə

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Yeni işçi rotor konstruksiyasında qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrik haqqında ümumi anlayış verilmiş və fırlanma tezliyinin tənzimlənməsi prinsipinə baxılmışdır. Texnoloji proseslərdə iştirak edən mexanizmlərin fırlanma tezliklərini geniş diapazonda dəqiq tənzimləyə bilən və yüksək energetik göstəricilərə malik olan iki rotorlu asinxron mühərrikin işlənməsindən aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. Konstruksiyaya daxil olan işçi rotor və əlavə rotorun funksiyaları haqqında məlumat verilmiş və işləmə prinsipləri aydınlaşdırılmışdır [3, 4, 9, 10, 12, 16].

2. Fırlanma tezliyinin tənzimi məsələsinə baxılarkən, stator dolağına verilən gərginliyin dəyişməsinə uyğun olaraq kritik sürüşmənin dəyişməsi analiz olunur, gərginliyin dəyişilən qiymətləri üçün fırlanma tezliyinin dəyişmə qrafikləri verilmişdir [1, 17].

3. İşçi rotorun konstruktiv ifası araşdırılmış, dolağın ayrı-ayrı hissələrinin maşının işinə təsiri aydınlaşdırılmışdır: yüksək müqavimətli qısa qapayıcı həlqənin görüntüləri, iş prosesinə təsiri verilmişdir [2, 11, 15].

4. Ümumi itkilər sırasında işçi rotordakı itkilərin həcmi məsələsinə baxılmışdır. İşçi rotorun mis naqillli dolağının olması, maqnit dövrəsində keçiriciliyin yüksək olması, burada itkilərin azalmasına səbəb olması təsdiqlənmiş və hava aralığından stator paketinə keçən itkilərin həcmi eyni güclü digər maşına nəzərən diqqətə çatdırılmışdır [5, 14].

5. Maşında istilik mənbələri və yaranan istilik həcmi haqqında da araşdırmalar aparılmış və ventilyasiya sisteminin tətbiqi istiqaməti verilmişdir [13].

6. Layihə olunan konstruksiyada effektiv ventilyasiya sistemi verilir: eyni istiqamətli soyuducu hava kütləsinin axınını təmin edən ventilyasiya sistemində yüksək müqavimətli qısa qapanma həlqəsi ilə

yerləşdirilir ki, orada ayrılan istilik seli rotorun həcminə yox, birbaşa maşının gövdəsinə ötürülür. Bu proses o nəticəyə gətirir ki, geniş hədlərdə tənzimləmə prosesində belə maşının valında alınan gücün qiyməti azalma təsirinə məruz qalmır [18].

7. İşçi rotorun fırlanma tezliyi aşağı düşdükcə itkilərin bu və ya digər istiqamətdə artması və azalması proseslərində soyuma üçün zəruri olan hava azalmır və mühərrik effektiv olaraq soyudulur [19].

Baxılan asinxron maşın konstruksiyasının bir qədər dəyişilmiş konstruktiv ifasına baxmayaraq ondan istifadə çox məqsədə uyğundur, belə ki, statora verilən gərginliyin bir neçə üsul vasitəsilə dəyişdirməklə geniş fırlanma tezliyi diapazonu əldə etmək mümkündür və digər tənzim sistemlərindən ucuz başa gəlir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıda dərc olunmuş məqalələrdə öz əksini tapmışdır:

1. Шихалиева С.Я., Наджафов А.В. Исследование работы трансформатора при несимметричной нагрузке и пониженном качестве напряжения - Научные известия. СГУ, №1, 2012, с.75-79

2. Şıxəliyeva S.Y. Asinxron maşında itkilərin azaldılması yolları - Azərbaycan ali texniki məktəblərinin xəbərləri, №2(84), 2013, s.37-39.

3. Musayev Z.N., Şıxəliyeva S.Y. Fırlanma tezliyi tənzimlənən asinxron mühərrikin layihələndirilməsində bəzi məsələlər – Respublika elmi - praktik konfrans, MPI, 6-7 dekabr, 2013, s.107-109.

4. Мусаев З.Н., Шихалиева С.Я. Регулируемый асинхронный двигатель – Известия высших технических учебных заведений азербайджана, №2(90), 2014, с.65-68.

5. Şıxəliyeva S.Y. İstismar faktorlarının asinxron mühərriklərin etibarlılıq göstəricilərinə təsiri – Respublika elmi konfrans, Mingəçevir, 28-29 noyabr, 2014, s.105-108.

6. Мусаев З.Н., Шихалиева С.Я. Пути повышения коэффициента полезного действия электрических машин – Республиканская научная конференция, МПИ, 28-29 ноября, 2014, с.49-51.

7. Мусаев З.Н., Шихалиева С.Я., Сулейманова Л.Ч. Частотно-регулируемый асинхронный двигатель – Международная научно-техническая конференция СГУ, 27 – 28 октября, 2015, с.119-120.

8. Шихалиева С.Я., Нагиева М.Г. Эффективность двухроторного асинхронного двигателя - Республиканская научная конференция МГУ, Мингечевир, 27-28 ноября, 2015, с.129-130.
9. Мусаев З.Н., Шихалиева С.Я. Эффективный ротор – Республиканская научная конференция МГУ, 23-24 декабря, 2016, с.292-294.
10. Мусаев З.Н, Шихалиева С.Я. Регулируемый асинхронный двигатель – Актуальные проблемы науки и техники. Конференция молодых ученых. г.УФА, Россия, УГНТУ, 2017, с.270-272.
11. Мусаев З.Н, Шихалиева С.Я. Регулируемый асинхронный двигатель - Известия Высших Учебных Заведений Азербайджана, №3, 2017, с.83-89.
12. Şıxəliyeva S.Y. Fırılanma tezliyi tənzimlənən elektrik mühərriki – Elmi konfrans, Sumqayıt Dövlət Universiteti, 2017, s.40-41.
13. Fərhadzadə E.M., Şıxəliyeva S.Y. Effektiv soyudulma sistemli tənzimlənən asinxron mühərrik – Energetikanın problemləri, №1, 2018, s.3-5.
14. Şıxəliyeva S.Y. Tənzim olunan mühərrikin işinin optimallaşdırılması məsələsi - Energetikanın problemləri, Bakı, №3, 2018, s.90-94.
15. Fərhadzadə E.M., Musayev Z.N., Şıxəliyeva S.Y. Fırılanma tezliyi tənzimlənən asinxron mühərrik – Respublika elmi konfransı, MDU ,7-8 may, 2018, s.213-215.
16. Шихалиева С.Я. Двухроторный асинхронный двигатель - Проблемы машиностроения и автоматизации, Россия, Москва НИАТ, №1, 2018, с.64-68.
17. Şıxəliyeva S.Y. Tiristor gərginlik tənzimləyicilərinin fırlanan mexanizmlərin sürətlərinin tənzimlənməsində üstünlükləri – Respublika elmi konfransı, SDU, 2019, s.316-317.
18. Шихалиева С.Я. Система охлаждения в двухроторном регулируемом асинхронном двигателе - Технология машиностроения, Москва, 4(202) апрель 2019, с.35-38.
19. Мусаев З.Н, Шихалиева С.Я. Двигатель с интенсивной системой охлаждения – Проблемы машиностроения и автоматизации, №3, 2019, с.119-122.

ШИХАЛИЕВА СААДАТ ЯШАР гызы

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

РЕЗЮМЕ

Диссертация посвящена разработке и исследованию конструкции двухроторных асинхронных двигателей, которые могут точно регулировать скорость вращения механизмов, задействованных в технологических процессах, и обладают высокими энергетическими характеристиками.

Новая конструкция ротора имеет общее представление о короткозамкнутом роторном асинхронном двигателе и принципе регулировки скорости вращения. Дается информация о функциях рабочего и дополнительного ротора, а также разъяснены их принципы работы. При рассмотрении регулирования скорости вращения критическое изменение скольжения анализируется в соответствии с напряжением обмотки статора и анализируются графики скорости вращения для переменных напряжений.

Были исследованы конструктивные характеристики ротора, и объяснялось влияние отдельных частей обмотки ротора на работу двигателя. Были даны изображения короткозамкнутого кольца, имеющего высокое сопротивление и его влияния на рабочий процесс.

В ряду общих вопросов был рассмотрен вопрос об объеме потерь рабочего ротора. По сравнению с машинами той же мощности медный проводник ротора данного двигателя, высокая проводимость в магнитных цепях подтверждают уменьшение потерь и объема их прохода через воздушный зазор к статору.

Были также проведены исследования источников тепла и количества тепла, выделяемого в машине, и направления применения системы вентиляции. При проектировании обеспечивается эффективная система вентиляции: в системе вентиляции, обеспечивающей такой же поток массы охлаждающего воздуха, ко-

роткозамыкающее кольцо с высоким сопротивлением устанавливается так, что тепло не переносится на ротор, а непосредственно на станину. В этом процессе делается вывод о том, что в широком диапазоне регулирования как правило мощность на валу двигателя не подлежит сокращению.

Когда скорость вращения ротора уменьшается, изменение потерь в том или ином направлении не дают возможность уменьшению охлаждающего воздуха и машина всегда эффективно охлаждается.

SHIKHALIYEVA SAADAT YASHAR

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE DESIGN OF THE REGULATED ASYNCHRONOUS ENGINE

SUMMARY

The thesis is devoted to the development and study of the design of two-rotor asynchronous motors, which can precisely regulate the rotation speed of the mechanisms involved in technological processes and possess high energy characteristics.

The new design of the rotor has a general idea of a short-circuited rotor asynchronous motor and the principle of rotation speed adjustment. Information on the functions of the working and additional rotors is given, and their working principles are explained. When reviewing the rotation speed control, the critical slip change is analyzed in accordance with the stator winding voltage and the rotation speed graphs for variable voltages are analyzed.

The design characteristics of the rotor were investigated, and the effect of individual parts of the rotor winding on the engine was explained. Images of a short-circuited ring with high resistance and its influence on the working process were given.

In a series of general questions, the question of the volume loss of the working rotor was considered. Compared to machines of the same power, the copper conductor of this engine rotor, and the high conductivity in magnetic circuits, confirms the reduction of losses and the volume of their passage through the air gap to the stator.

Studies have also been conducted on the heat sources and the amount of heat released in the car, and the direction of the ventilation system. When designing, an effective ventilation system is provided: in a ventilation system providing the same mass flow of cooling air, a short-circuit ring with high resistance is installed so that heat is not transferred to the rotor, but directly goes to the frame. In this process, it is concluded that in a wide range of regulation, as a rule, the power on the motor shaft cannot be reduced.

When the rotation speed of the rotor decreases, the change in losses in one direction or the other does not allow for a decrease in the cooling air and the machine is always efficiently cooled.

ŞIXƏLİYEVƏ SƏADƏT YAŞAR qızı

TƏNZİM OLUNAN ASINXRON MÜHƏRRİKİN KONSTRUKSİYASININ İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏDQIQI

XÜLASƏ

Dissertasiya texnoloji proseslərdə iştirak edən mexanizmlərin fırlanma sürətlərini dəqiq tənzimləyə bilən və yüksək energetik göstəricilərinə malik olan iki rotorlu asinxron mühərrikin konstruksiyasının işlənilib hazırlanmasına və tədqiqatına həsr edilmişdir.

Yeni konstruksiyalı rotor qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrik və onun fırlanma sürətinin tənzimlənməsinin prinsipinə əsaslanaraq ümumi anlayışa malikdir. Əsas işçi və köməkçi rotorun funksiyaları barədə tam məlumat verilmişdir və iş prinsipləri tam izah edilmişdir. Fırlanma sürətinin tənzimlənməsini nəzərdən keçirdikdə, kritik sürüşmə dəyişməsi stator dolağına verilən gərginliyə görə təhlil edilmişdir və dəyişən gərginliklər üçün sürət qrafikləri analiz edilmişdir. Rotorun konstruksiyasının xüsusiyyətləri araşdırılmış və rotor dolağının ayrı-ayrı hissələrinin mühərrikin işinə təsiri izah edilmişdir. Yüksək müqavimətə malik qısa qapanmış halqanın qrafiki görünüşləri və onun maşının iş prosesinə təsiri verilmişdir.

Ümumi məsələlər sırasında işçi rotorun itkilərinin həcmi məsələləri nəzərdən keçirilmişdir. Eyni gücdə olan maşınlarla müqayisədə, bu mühərrikin rotor dolağının mis keçiricisindən olması maqnit dövrlərindəki itkilərin azalmasını və onun həcmi hava aralığından statora keçməsinə təsdiqləyir.

İstilik mənbələri və maşında əmələ gələn itkilərin miqdarı haqqında, həmçinin soyutma sisteminin tətbiq istiqaməti haqqında tədqiqatlar aparılmışdır. Yeni konstruksiya səmərəli bir soyutma sistemi ilə təmin edilmişdir: soyuducu hava ilə kütləvi axınının bir ventilyasiya sistemi hesabına təmin edilməsində istiliyin rotora deyil, birbaşa gövdəyə ötürülməsi üçün yüksək müqavimətli qısa qapanmış halqa quraşdırılmışdır. Bu prosedən bir qayda olaraq o qənaətə gəlmək olar ki, geniş diapazon aralığında tənzimləmə bilən mühərrikin valındakı gücün azaldılması müşahidə olunmur.

Rotor sürəti azaldıqda, bu və ya digər istiqamətdə itkilərdəki dəyişikliklər soyuducu havanın azalmasına mane olmur və maşın həmişə effektiv şəkildə soyudulur.

Dissertasiyanın müdafiəsi 16 iyun 2021-ci il tarixində saat 14:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı səh. Azadlıq prospekti 20, ADNSU-nun əsas binası, otaq №250

Dissertasiya ilə ADNSU-nun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları ADNSU-nun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 11 may 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 11.05. 2021
Kağızın formatı: A5
Həcm: 38078
Tiraj: 100