

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**ELEKTROMEXANİKİ KOMPLEKSLƏR ÜÇÜN ALÇAQ
MEXANİKİ TEZLİKLİ ELEKTROMAQNİT
VİBROTƏSİRLƏNDİRİCİ QURĞUNUN İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 3340.01 – Elektrotexniki sistemlər və komplekslər

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: Yusifov Ramil Əli oğlu

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı - 2024

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetində yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər:

Texnika elmləri doktoru, dosent
Hüseynqulu Bayram oğlu Quliyev

Rəsmi opponentlər: Akademik, Texnika elmləri doktoru, professor
Arif Məmməd oğlu Həşimov

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Elşən Fəxrəddin oğlu Sultanov

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Samirə Əlhədi qızı Xanəhmədova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində
fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



Texnika elmləri doktoru, professor
Nurəli Adil oğlu Yusifbəyli

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texnika elmləri namizədi, dosent
Vahid Qara oğlu Fərhadov

Elmi seminarın sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor
Rasim Əzim oğlu Səidov

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.

Sənayenin bir çox sahələrində hazır məmulatların nəql edilməsi, onların istiqamətləndirilməsi, qarışdırılması, kimyəvi reaksiyaların sürətləndirilməsi və bu kimi digər proseslərdə istifadə olunan vasitələr içərisində vibrasiya qurğularının tətbiqi geniş yer tutur. Vibrasiya qurğuları xalq təsərrüfatının bütün sahələrində tətbiq olunduğuna görə, onlar olduqca müxtəlif konstruksiyaya və geniş güc intervalında funksional imkanlara malikdir. Texnoloji proseslərin vibrasiya qurğularına olan tələbi onların mexaniki tezliyinin tələb olunan intervalda olması və bu intervalda sistemin dayanıqlı işləməsinin təmin edilməsidir.

Sənayenin müxtəlif sahələrində mexaniki tezliyin və işçi amplitudanın qiymətlərindən, onların idarə intervalından asılı olaraq texnoloji proseslərdə müxtəlif vibrotəsirləndiricilərdən istifadə olunur. Belə qurğularda mexaniki tezliyin yuxarı və aşağı qiymətlərdə olması tətbiq yerindən asılı olaraq çox müxtəlifdir. Texnoloji proseslərin elə sahələri vardır ki, bunlarda aşağı mexaniki tezlik intervalından (20 Hs-ə qədər) istifadə etmək böyük əhəmiyyət kəsb edir. Hal-hazırda mexaniki sistemi aşağı tezlik intervalında işləyən vibrotəsirləndirici qurğuların yaradılmasına olan tələbat gündən-günə artmaqdadır. Mexaniki rəqslərin aşağı tezlik diapazonunda olmasının təmin edilməsi ilə yanaşı, bu qurğular gücə görə də lazımi tələbləri ödəməlidirlər.

Aşağı mexaniki tezlik intervalında işləyən vibrasiya qurğularında təsirləndirici kimi birfazlı elektromaqnit vibrotəsirləndirici qurğular (EVQ) daha çox tətbiq olunur. Mövcud olan belə qurğularla lazım olan dartı qüvvəsini və ya gücü əldə etmək çətinlik yaradır. Tələb olunan gücü əldə etmək üçün üçfazlı EVQ-dən istifadə etmək məqsədəuyğun hesab edilir. Bununla əlaqədar olaraq, istehsalatın tələbatını ödəyən üçfazlı bir və ya ikitəktli vibrotəsirləndirici qurğuların yaradılması zəruriyyəti meydana çıxır.

Məlumdur ki, mövcud üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit tipli vibrotəsirləndiricilərin elektromaqnitlərinin nüvəsi elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılır. Belə qurğulardan ən

geniş yayılanların işləmə prinsipi gərginliklər və ya cərəyanlar rezonansına əsaslanan, elektromaqnitin dolağına uyğun olaraq ardıcıl və ya paralel kondensator qoşulmuş sxemlə işləyən qurğulardır. Bu cür qurğular işləyərkən sistemin dayanıqlığı elektrik və mexaniki sistemlərin məxsusi tezliklərinin eyni və ya bir-birinə yaxın qiymətdə saxlanmasıdan asılıdır. Aydın ki, iş prosesində mexaniki sistemin məxsusi tezliyi kütlədən asılı dəyişən olur, elektrik sistemin məxsusi tezliyi isə praktik olaraq sabit qalır. Bu isə vibrasiya qurğusunun elektromexaniki sisteminin dayanıqsız işləməsinə səbəb olur. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün elektrik sistemin amplitud-tezlik xarakteristikasının tezlik intervalını genişləndirmək daha məqsədəuyğundur. Qeyd etmək lazımdır ki, nüvəsi adi elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış vibrotəsirləndiricinin gücünün lazımı qiymətində tezlik intervalı amplitud-tezlik xarakteristikasının dikliyi səbəbindən çox kiçikdir. Tezlik intervalını genişləndirmək və uyğun olaraq sistemin dayanıqlı işini təmin etmək üçün elektromaqnit nüvəsinin materialının konstruksiyasında müvafiq dəyişikliklərin edilməsi ilə hazırlanması məqsədəuyğun hesab edilir. Eyni zamanda, burada əsas məqsəd avadanlığın yerləşdiyi ətraf mühitin müxtəlif ziyanlı təsirlərinə maksimum dözümlü olması və mümkün qədər sadə konstruktiv quruluşa malik olmasından ibarətdir. Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqədar olaraq, EVQ-nin maqnit sisteminin ifadələrini almaq üçün elektromexaniki analogiyalar metodundan istifadə edilir. Belə qurğularda elektromaqnitin dolağının induktivliyi gərginliyin dəyişməsinə çox həssas olur ki, bu da elektrik sistemin məxsusi tezliyini sürətlə dəyişdiyindən qurğunun dayanıqlı işini pozur.

Nüvəsi adi elektrotexniki poladdan hazırlanan vibrasiya qurğuları mövcud elmi-texniki ədəbiyyatda kifayət qədər işıqlandırılmışdır. Bu sahədə Nitusov Y.E., Babiçev A.P., Je-Hoon Kim, Sang-Hyun Jeong, Quliyev Z.A., Qasımov R.A., Babayev İ.S., Cəfərov S., Hüseynov R.A. və digərləri tədqiqat işləri aparmışlar. Lakin baxılan işlərdə tezlik intervalının genişləndirilməsi və effektiv idarəetmənin təmin edilməsi üçün müvafiq konstruktiv dəyişikliklərin aparılması və nəzəri-praktik tədqiqatların yerinə yetirilməsi məsələləri tam həllini tapmamışdır. Belə ki, nüvəsi adi

elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış vibrotəsirləndiricinin gücünün lazımi qiymətində tezlik intervalı amplitud-tezlik xarakteristikasının dikliyi səbəbindən çox kiçikdir. Tezlik intervalını genişləndirmək və uyğun olaraq sistemin dayanıqlı işini təmin etmək üçün elektromaqnit nüvəsinin materialında müvafiq dəyişikliklərin edilməsi ilə hazırlanması məqsədəuyğun hesab edilir.

Belə qurğularda elektromaqnitin dolağının induktivliyi gərginliyin dəyişməsinə çox həssas olur ki, bu da elektriki sistemin məxsusi tezliyini sürətlə dəyişdiyindən qurğunun dayanıqlı işini pozur. Dissertasiya işi bu və yuxarıda qeyd olunan digər məsələlərin həllinə həsr olunduğundan **aktuallıq** kəsb edir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Tədqiqatın obyekti kimi, təbabət, yüngül sənaye, neft qazma sənayesində vibro qazma, vibro diaqnostika, vibro-ələk və s., fasiləsiz, periodik aktiv və passiv eksperimental tədqiqatların aparılması ilə həmin tədqiqatların reallaşdırılması üçün tətbiq edilən riyazi model, alqoritm, idarəetmə, nəzarət sistemi və vasitələri nəzərdə tutulur.

Tədqiqatın predmeti sənayenin müxtəlif sahələrində texnoloji proseslərin həyata keçirilməsi üçün istifadəsi nəzərdə tutulan üçfazlı ikitaklı alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit vibrotəsirləndirici qurğunun konstruksiyası, nəzəri modeli və tətbiqidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işində əsas məqsəd üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli vibrotəsirləndiricinin (ÜEMVQ) elektromaqnit sisteminin parametrlərinin nəzəri-praktik tədqiqi və yeni iki taktlı vibrasiya qurğusunun işlənməsi, ÜEMVQ-nin funksional imkanlarının artırılması, riyazi modelinin qurulması və dartı xarakteristikasının hesablanması, qurğunun eksperimental tədqiqi və istehsalatda tətbiqi məsələlərinin həll olunmasıdır.

Qarşıya qoyulan problemlərin həllinə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin tədqiqi nəzərdə tutulmuşdur:

1. Müasir alçaq mexaniki tezlikli ÜEMVQ-lər və onların elektromaqnit və mexaniki parametrlərinin ayrı-ayrılıqda və yaxud kompleks analizi.

2. ÜEMVQ-nun nəzəri tədqiqi.

3. ÜEMVQ-nun riyazi modelinin və dartı xarakteristikasının alınması.

4. ÜEMVQ-nun eksperimental tədqiqi.

Elmi yenilik.

Dissertasiya işinin elmi yeniliyi üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli vibrotəsirləndiricinin elektromaqnit sisteminin parametrlərinin nəzəri-praktik tədqiqi, funksional imkanlarının artırılması ilə yeni iki taktlı vibrasiya qurğusunun işlənməsi, onun riyazi modelinin qurulması, dartı xarakteristikasının alınması və effektiv idarə olunması məsələlərindən ibarətdir.

İşin elmi yeniliyi aşağıdakı elmi nəticələrdən ibarətdir:

1. ÜEMVQ-nun təsirlənmə cərəyanlarının analitik ifadələri alınmışdır.
2. ÜEMVQ-nun dartı qüvvəsi analitik üsulla təyin edilmişdir.
3. ÜEMVQ-nun dartı xarakteristikasının alınma metodikası işlənməmişdir.
4. ÜEMVQ-nun elektromaqnit sistemi keyfiyyətlilik əmsalına görə tədqiq edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Problemin hazırkı vəziyyəti, üçfazlı iki taktlı alçaq mexaniki tezliyin alınma üsullarının analizi.
2. ÜEMVQ-nin nüvəsinin yeni konstruksiyada ənənəvi elektrotexniki polad vərəqlərdən seçilməsinin əsaslandırılması.
3. İki taktlı elektromaqnit tipli vibrasiya qurğusunun nəzəri tədqiqi.
4. İki taktlı ÜEMVQ-nin riyazi modelinin alınması.
5. ÜEMVQ-nin dartı xarakteristikasının analitik təyini.
6. ÜEMVQ-nin konstruksiyasının seçilməsi və eksperimental tədqiqi.

Nəticələrin əsaslandırılması və dürüstlüyü. Tədqiqatlar elektromexanikanın tənliklərinə, hesablama metodlarına, elektromexaniki analogiyalar metoduna, elektromaqnit sahəsi nəzəriyyəsinə əsaslanır. Əsas nəzəri müddəalar və nəticələr laboratoriya və sənaye şəraitində keçirilmiş təcrübələrin uyğunluğu ilə təsdiqlənir.

Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti. Tədqiqatda alınan riyazi modellər nəzəri müddəalar iki taktlı ÜEMVQ-nun müxtəlif

rejimlərinin daha əhatəli analizinə, dayanıqlığı və effektiv idarə olunmasının təmin edilməsinə, layihələndirilmə metodikasının işlənməsinə və onun işçi orqanının parametrlərinin optimal hesablanmasına imkan verir.

Dissertasiya işinin nəticəsində yaradılmış iki taktlı qurğu separatorada məhsulu mexaniki qarışıqlardan təmizləmək (fraksiyalara ayırmaq) üçün istifadə olunan ikiqat ələkdə, “İneks LTD” MMC-nin un üyüdən dəyirmanında taxılı sortlara seçmək üçün istifadə olunan separator qurğusunda və hazır məhsulun rezervuardan boşaldılması üçün tətbiq olunmuşdur.

İşin aprobeasiyası.

Dissertasiya işində əldə olunmuş nəticələr mövcud tələblərə uyğun təşkilatlarda kifayət qədər məruzə olunmuş və uğurla müzakirə edilmişdir:

- Beynəlxalq Kimya ilinə həsr olunmuş Respublika Elmi konfransı (Sumqayıt iyun, 2011);
- Energetikanın müasir problemləri. Respublika elmi konfransı (Sumqayıt dekabr, 2011);
- САПР и моделирование в современной электронике (Брянск, 2019);
- Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri. Beynəlxalq elmi-texniki konfransı (noyabr, 2022-ci il, Bakı).

İşin strukturu və həcmi.

Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, ədəbiyyat siyahısından, qısaltmalardan və istifadə olunan işarələnmələrdən ibarətdir. İşin ümumi həcmi 204 səhifədən, o cümlədən 189 səhifə əsas mətnədən, 55 şəkil, 129 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi işarə sayı 245007, o cümlədən: Giriş – 21213 i.s., 1-ci fəsil – 37686 i.s., 2-ci fəsil – 33325 i.s., 3-cü fəsil – 48602 i.s., 4-cü fəsil – 37347 i.s., Nəticə - 3110 i.s. Mətn hissəsi cəmi: 183973 i.s.

Nəşrlər.

Dissertasiyanın əsas nəticələri 17 elmi əsərdə əks etdirilmiş, onlardan 12-si məqalə (o cümlədən 5-i xaricdə), 5-i Beynəlxalq və Respublika əhəmiyyətli konfransların materiallarında (o cümlədən 1-

i xaricdə), 1 məqalə Scopus bazasında indeksə olunmuş jurnalda dərc olunmuşdur.

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri müəyyən olunmuş, işin elmi yeniliyi, onun praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan vacib müddəalar şərh edilmiş, eyni zamanda dissertasiyanın əsas bölmələrinin qısa məzmunu verilmişdir.

Birinci fəsildə mövcud elektromaqnit tipli iki taktlı üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit vibrasiya qurğusunun (ÜEMVQ) əsas göstəricilərinin təhlili, elektromexaniki sistem parametrlərinin hesablanması ümumi vəziyyəti, tətbiq olunan ÜEMVQ-nin funksional xarakteristikalarının və dissertasiya işinin əsas məqsədinin müəyyən edilməsinə baxılmışdır.

Aparılan tədqiqatlar əsasında müəyyən olunmuşdur ki, mövcud iki taktlı, üçfazlı EVQ-lər elektromaqnitdən və lövbərdən ibarət olub, təsirləndirici qurğunun gövdəsinə elastiki yay sisteminin köməyi ilə bərkidilir və iş prinsipi gərginliklər rezonansına əsaslanan ÜEMVQ-lər mexaniki tezliyin geniş intervalda tənzim olunmasına imkan verən tutum-induktivlik ardıcıl sxemindən ibarət qurğulardır. Bu sxemlərdə rezonans zamanı lövbərin elektromaqnit tərəfindən dartılması zamanı lövbərlə elektromaqnit arasında olan hava məsafəsi kiçilir, buna uyğun olaraq, induktivlik praktiki olaraq dəyişmiş olur. Bunun sayəsində elektromaqnitin dolağının induktiv müqaviməti kondensatorun müqavimətindən fərqli alınır və sistemdə rezonans vəziyyəti pozulur. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, mövcud ÜEMVQ-nin polad nüvəsi adi elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılır. Bu cür təsirləndirici elektromaqnitlərin induktivliyi gərginliyin dəyişməsinə çox həssas olur və bu da ÜEMVQ-nin dövrəsində ferorezonans hadisəsinin yaranmasına, onun çıxış xarakteristikasının pisləşməsinə səbəb olur.

Belə qurğulardan ən geniş tətbiq edilənlərin iş prinsipi gərginliklər və ya cərəyanlar rezonansına əsaslanan, elektromaqnitin dolağına uyğun olaraq ardıcıl və ya paralel kondensator qoşulmuş

sxemlə işləyən qurğulardır. Qeyd etmək lazımdır ki, nüvəsi adi elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış vibrotəsirləndiricinin gücünün lazımi qiymətində tezlik intervalı amplitud-tezlik xarakteristikasının dikliyi səbəbindən çox kiçikdir.

Beləliklə, mövcüd birfazlı və üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit vibrotəsirləndiricidə (AMT EVT) aşağıdakı çatışmazlıqları qeyd etmək olar:

1. Bir və üçfazlı AMT EVT-lərdə tezliyin geniş diapazonda və həm də səlis tənzimlənmə məqsədi yetərinə effektiv deyildir.

2. Həmin AMT EVT-lərin iş prinsipi gərginliklər rezonansına əsaslandığı üçün onlarda istifadə olunan nüvənin materialının düzgün seçilməməsi hesabına rezonans əyrisinin dikliyi yüksək olur və bu da qurğunun dayanıqlı iş rejiminin tez-tez pozulmasına səbəb olur.

3. Bir və üçfazlı AMT EVT-lərin maqnit sisteminin parametrlərinin hesablanması ən çox empirik düsturlarla aparılır və onların lazımi səviyyədə müasir layihələndirilmə işlərində bir çox tələblərə cavab vermir.

4. Hazırkı mövcud mənbələrin heç birində AMT EVT-nin elektromaqnit parametrlərinin, həmçinin rəqs konturunun induktivliyinin və tutumunun gərginlikdən asılılığı yetərinə araşdırılmamışdır.

5. Bir və üçfazlı AMT EVQ-lərin funksional imkanlarının yüksəldilməsi, xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması, f.i.ə-nin yüksəldilməsi kimi məsələlər geniş tədqiq olunmamışdır.

6. Mövcüd AMT EVT-lərin hazırlanma texnologiyası mürəkkəbdir.

Mexaniki rəqslərin tezliyi və amplitudu aşağıdakı üsullarla tənzimləyə bilər:

1) elektromaqnitlərin sargıclarını qidalandıran gərginliyin tənzimlənməsi (avtotransformatorla);

2) elektromaqnitdə cərəyan şiddətinin dəyişdirilməsi (aktiv müqavimətin azaldılması ilə);

3) lövbərlə nüvə arasındakı hava məsafəsinin tənzimlənməsi vasitəsilə elektromaqnitin dartı qüvvəsinin dəyişdirilməsi;

4) maqnit selinin artırılması (dolaqlarda sargılar sayının dəyişdirilməsi);

5) faza bucağının dəyişdirilməsi (kondensatorun tutumunun dəyişdirilməsi);

Vibrotəsirləndirici qurğunun rezonansa sazlanması aşağıdakı hissə və sistemin parametrlərinin dəyişdirilməsi ilə yerinə yetirilə bilər:

- 1) yayların eninə kəsiyinin ətalət momentlərinin;
- 2) intiqalın işçi uzunluğunun;
- 3) sistemin kütləsinin və ya ümumi ətalət momentinin;
- 4) yayların işçi halqalarının sayının dəyişdirilməsi.

Bütün qeyd edilənlərlə yanaşı, tezlik intervalını genişləndirmək və uyğun olaraq sistemin dayanıqlı işini təmin etmək üçün elektromaqnit nüvəsinin materialının xüsusi poladdan hazırlanmasının daha məqsəduyğun olduğu müəyyən edilmişdir.

Üçfazlı iki taktlı vibrasiya qurğuları konstruktiv olaraq olaraq III şəkilli üç birfazlı dolağın birləşməsindən ibarət ola bilər. Burada da hər bir çubuq üzərində dolaq yerləşdirilir və onlar da müəyyən sxem üzrə yığılır və üçfazlı şəbəkəyə qoşulur. Burada çubuqlar bir müstəvi üzərində yerləşdirilir. Belə qurğunun maqnit dövrəsi maqnit qeyri-simmetrikliliyinə malik olur.

Maqnit sistemində yaranan qeyri-simmetrikliliyə baxmayaraq, lövbərə təsir edən dartı qüvvəsi

$$\dot{F} = \dot{F}_A + \dot{F}_B + \dot{F}_C \quad (1)$$

kimi yazılır. Burada $\dot{F}_A, \dot{F}_B, \dot{F}_C$ – uyğun olaraq ayrı-ayrı fazaların maqnit sellərinin yaratdığı enerjinin moduluna uyğun gələn dartı qüvvəsidir. Hər bir fazaya uyğun alınan dartı qüvvəsinin ifadəsinin tərkibində tezlikdən asılı olmayan, ikiqat tezliklə dəyişən ω_k və ω_{k-1} tezliklərin cəminə və fərqinə uyğun harmonikalar alınır ki, bunlardan da $(\omega_k - \omega_{k-1})$ bucaq tezliyi ilə dəyişən təşkeildici vibrasiya qurğusunun çıxışına ötürülür. Beləliklə, qurğuda yaranan avtorəqsin tezliyi göstərilən tezliklər fərqinə uyğun alınır.

Yuxarıda göstərilən çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün dissertasiya işində nüvəsi xüsusi polad vərəqlərdən yığılmış elektromaqnitli üçfazlı iki taktlı ÜEMVQ-nin yaradılması məsələsi aşağıda göstərilən istiqamətlər üzrə tədqiq edilmiş və həll olunmuşdur:

1. Müasir iki taktlı ÜEMVQ-nin elektromexaniki

parametrlərinə görə analizi.

2. İki taktlı ÜEMVQ-nin konstruktiv quruluşunu nəzərə almaqla nəzəri tədqiqi.

3. Üçfazlı EVQ-nin riyazi modelinin qurulması və dartı xarakteristikasının çıxarılması.

4. İki taktlı ÜEMVQ-nin nüvəsinin xüsusi elektrotexniki polad vərəqlərdən seçilməsinin əsaslandırılması.

5. İki taktlı ÜEMVQ-nin eksperimental tədqiqi və istehsalatda tətbiqi.

Birinci fəslin nəticələri [4, 14, 15] işlərində öz əksini tapmışdır.

İkinci fəsil alçaq mexaniki tezlikli üçfazlı xüsusi elektrotexniki polad nüvəli EVQ-nin elektromaqnit sisteminin analitik tədqiqinə, iki taktlı EVQ-nin elektromaqnit parametrlərinin nəzəri yolla təyini və onun yarada biləcəyi dartı qüvvəsinin analitik ifadəsinin alınması məsələlərinə həsr olunmuşdur.

Məlumdur ki, elektromaqnit nüvə üçün xüsusi polad vərəqlər seçildikdə nüvədə səthi effekt hadisəsi baş verir ki bu da qurğunun tələb olunan güc və tezlik intervalında normal işini təmin etmək üçün əlavə nəzəri tədqiqatlar aparmaq və iki taktlı ÜEMVQ-lərin parametrlərinin hesablanması üçün yeni üsullarından istifadə olunması zəruriyyəti ortaya çıxmışdır. Məsələn: A fazasının cərəyanı - i_A cərəyanı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$i_A = i_{1A} + i_{2A} = \sqrt{(B_{11} + B_{21})^2 + (B_{12} + B_{22})^2} \sin(\omega t + \varphi_{4A}) + \sqrt{B_{23}^2 + B_{24}^2} \sin(3\omega t + \varphi_{5A}) \quad (2)$$

Alınmış ifadə praktikanın tələbini (8-10)% xəta ilə təmin edir. Digər fazalar, yəni B və C fazaları üçün uyğun olaraq aşağıdakı ifadələr alınmışdır:

$$i_B = \sqrt{(N_{11} + N_{21})^2 + (N_{12} + N_{22})^2} \sin(\omega t + \varphi_{4B}) + \sqrt{N_{23}^2 + N_{24}^2} \sin(3\omega t + \varphi_{5B}) \quad (3)$$

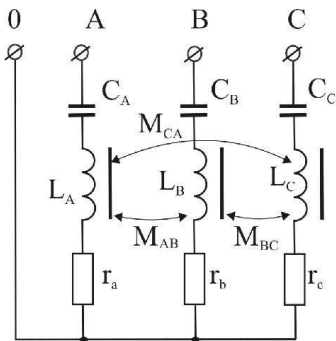
$$i_C = \sqrt{(M_{11} + M_{21})^2 + (M_{12} + M_{22})^2} \sin(\omega t + \varphi_C) + \sqrt{M_{23}^2 + M_{24}^2} \sin(3\omega t + \varphi_{5C}) \quad (4)$$

Eyni zamanda qeyd olunmuşdur ki, bu qurğuların tədqiqi Maksvell tənlikləri əsasında aparıldıqda, onların inteqrallanması

zamanı alınan riyazi ifadələr daha düzgün nəticələr əldə etməyə imkan verir. Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqədar olaraq, iki taktlı ÜEMVQ-nin maqnit sistemini təsvir edən riyazi modellərin ifadələrini almaq üçün elektromexaniki analogiyalar metodundan istifadə edilmişdir. Bu tip qurğularda elektromaqnit nüvənin dolağının induktivliyi gərginliyin dəyişməsinə xeyli həssas olur ki, bu zaman elektrik sistemin məxsusi tezliyi sürətlə dəyişdiyindən qurğunun dayanıqlığı pozulur.

Tədqiq edilən iki taktlı ÜEMVQ-nin prinsipial elektrik sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir. Üçfazlı gərginlik mənbəyindən qidalandırılan elektromaqnitin hər bir faza dolağına ardıcıl olaraq C kondensatoru qoşulmuş, akitv müqavimətləri r , induktivlikləri L və fazalar arasında yaranan qarşılıqlı induktivlikləri M olan qurğunun elektromaqnit sisteminin müvazinət tənlikləri integrodiferensial tənliklər sistemi şəklində yazılmışdır.

Alınmış tənliklər üzərində müəyyən çevirmələr aparılmış və fazalardan axan cərəyanların amplitud qiymətlərinin bir-birinə bərabər olduğu nəzərə alınmışdır:



Şəkil1. ÜEVQ-nin prinsipial elektrik sxemi

$$\begin{cases} \dot{I}_A \left(r + j \dot{X} \right) + j \dot{X}_m \dot{I}_B + j \dot{X}_m \dot{I}_C = \dot{U}_A, \\ \dot{I}_A j \dot{X}_m + \dot{I}_B \left(r + j \dot{X} \right) + \dot{I}_C j \dot{X}_m = \dot{U}_B, \\ \dot{I}_A j \dot{X}_m + \dot{I}_B j \dot{X}_m + \dot{I}_C \left(r + j \dot{X} \right) = \dot{U}_C \end{cases} \quad (5)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, qurğunun faza dolaqlarının sarğılar sayı bir-birinə bərabər götürülür. Bundan başqa, fazalara ardıcıl qoşulmuş kondensatorların tutumları da qiymətcə bərabərdir. Belə şəraitlərə müxtəlif faza cərəyanları üçün

alınmış ifadələrin təhlili aşağıdakı analitik nəticələrə gəlməyə imkan verir:

- tədqiq olunan kəmiyyətlərin qərarlaşmış rejimdə zamana görə dəyişməsi qeyri-sinusoidal xarakter daşıyır ki, bu da maqnit sisteminin xeyli dərəcədə qeyri-xəttiliyi ilə əlaqədardır;

- keçid prosesinin əvvəlində cərəyanın nominal qiyməti bir tərtib artıq olur ki, bu da elektrotexniki poladının maqnitlənmə doyması ilə izah olunur;

- rəqslərin qeyri-sinusoidalılığı hava məsafəsinin minimum qiymətinə böyük təsir göstərir.

Buna görə də minimum hava məsafəsinin seçilməsini asanlaşdırmaq və onun qiymətini məqbul hədudlarda saxlamaq üçün rəqslərin xəttliliyini təmin etmək lazımdır. Hava məsafəsinin minimum qiymətini təmin etməklə minimal enerji itkilərində daha böyük elektromaqnit dartı qüvvəsi əldə etməyə imkan verir ki, bu da elektromaqnitin nüvəsinin, lövbərinin və dolaqlarının parametrlərinin düzgün seçilməsi ilə yerinə yetirilir.

İki taktlı ÜEMVQ-nin maqnit sisteminin polad vərəqlərdən ibarət nüvəsində yaranan dövrü cərəyan itkilərini nəzərə almaqla hər bir fazaya uyğun tam müqavimətin kompleks forması üçün analitik ifadələr alınmış və sistemin fazalarında rezonans halı üçün onun keyfiyyətlik əmsalından asılı xarakteristikaları müəyyən edilmişdir.

iki taktlı ÜEMVQ-lər üzrə aparılmış nəzəri-praktik tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, əgər iki taktlı üçfazlı sistemdə elektriki parametrlər (U_A, U_B, U_C və I_a, I_b, I_c) öz aralarında, biri biri ilə 120° simmetriklik təşkil edirsə, o zaman iki taktdan biri üzərində aparılmış nəzəri-praktik əməliyyatları hər iki takta aid etmək olar. Eyni zamanda hər üç fazalarda eyni sarğılar sayına malik olan dolaq istifadə olunduğu üçün faza dolaqlarının induktivlikləri də eyni olacaqdır. Lakin, taktlar arasındakı qarşılıqlı ehtimal olunan dövrü cərəyanlar itkiləri ilə əlaqədar olaraq yaranan maqnit itkiləri elektromaqnit sahə nəzəriyyəsi tətbiq edilməklə təyin edilir ki, bu da cərəyanın qiymətilə düz mütənəsiblik təşkil edir. Hər iki takt üzrə elektromaqnit itkilər maqnit selinin qapandığı yolda olan hava məsafəsinin uzunluğundan asılı olaraq dəyişdiyi üçün yaradılmış iki taktlı üçfazlı vibrotəsirləndirici qurğuda maqnit selinin qapandığı yolda hava məsafəsi cüzi də olsa fərqlənə bilər.

Müxtəlif faza cərəyanları üçün alınmış ifadələrin təhlili göstərir ki:

- tədqiq olunan kəmiyyətlərin qərarlaşmış rejimdə zamana görə dəyişməsi qeyri-sinusoidal xarakter daşıyır ki, bu da maqnit sisteminin xeyli dərəcədə qeyri-xəttiliyi ilə əlaqədardır;
- keçid prosesinin əvvəlində cərəyan nominal qiyməti bir tərtib artıq olur ki, bu da elektromaqnitlərin poladının doyması ilə izah olunur;
- rəqslərin qeyri-sinusoidalılığı hava məsafəsinin minimum qiymətinə böyük təsir göstərir.

Buna görə də minimum hava məsafəsinin seçilməsini asanlaşdırmaq və onun qiymətini məqbul hədudlarda saxlamaq üçün rəqslərin xəttliliyini təmin etmək lazımdır. Hava məsafəsinin minimum qiymətini təmin etməklə minimal enerji itkilərində daha böyük elektromaqnit dartı qüvvəsi əldə etməyə imkan verir ki, bu da elektromaqnitin nüvəsinin, lövbərinin və dolaqlarının parametrlərinin düzgün seçilməsi ilə yerinə yetirilir. Eyni zamanda, dövrü cərəyan itkisinin təsiri isə nəticədə öz qüvvəsində qalır.

Beləliklə, alınmış sonuncu ifadələr dövrənin girişinə verilən gərginliyi xüsusi induktivlikdən və tezliyin dəyişməsindən asılılığını təyin etməyə imkan verir. Elektrotexnikanın nəzəri əsasları kursundan məlumdur ki, rezonans zamanı induktiv müqavimət tutum müqaviməti ilə kompensasiya edildiyi üçün dövrə yalnız aktiv (R) müqavimətdən ibarət olur. Vibrasiya qurğularında alınmış bu tezlik mexaniki sistemin məxsusi tezliyinə yaxın olub, qidalandırıcı gərginliyin tezliyindən təqribən üç dəfə kiçik olur. Digər tərəfdən, $\omega > \omega_0$ olduqda β tezlik dəyişməsi müsbət, $\omega < \omega_0$ olduqda isə β mənfi olur. $\omega = 0$ olduqda $\beta = -1$ rezonans tezliyində isə $\beta = 0$ olur.

Üçfazlı sistemin bir fazasının impedansının keyfiyyətlik əmsalından asılılıq əyrisinin təhlili göstərir ki, ÜEMVQ-nin nüvəsini kiçik maqnit nüfuzluğuna malik olan xüsusi polad vərəqlərdən hazırlanıqda onun fazalarının keyfiyyətlik əmsalı azalır və nəticədə tezlik xarakteristikalarında tezliyə görə buraxma zonası genişlənir. Q_a keyfiyyətlik əmsalı yuxarı olduqca xarakteristikanın

dikliyi nisbətən çox alınır. Bunun hesabına üçfazlı vibrotəsirləndiricinin normal işləməsi bütün tezlik diapazonunda təmin olunur. Lakin $Q_a = 10, 100$ və daha yuxarı qiymətlərində nəzərdə tutulan normal iş rejimi pozulur.

Sənayedə istifadə olunan vibrasiya qurğuları çox geniş güc diapazonununa, olduqca müxtəlif konstruksiya və məqsədə, müxtəlif təsirlənmə üsul və vasitələrinə malikdirlər və bu da onların bir çox sənaye sahələrində tətbiq olunması ilə əlaqədardır. Nəqliyyat, istiqamətləndirmə, qarışdırma, yerləşdirmə, sürətləndirmə və s. kimi texnoloji prosesləri təmin edən vasitələr və qurğular içərisində güc elementi kimi tətbiq olunan vibrasiya qurğuları mühüm yer tutur. Bu qurğular, yuxarıda da qeyd olunduğu kimi, güc elementi kimi tətbiq edirlər və onların dartı qüvvəsini, dartı qüvvəsinin mürəkkəblərini təyin etmək vacib məsələdir.

Sinusoidanın tam periodu üçün dartı qüvvəsinin amplitudasının maksimum qiyməti

$$F = F_m \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (6)$$

kimi təyin edilmişdir. Burada m -qüvvəyə keçid miqyası; F_m - siqnalın maksimum amplitudu; T -sinusoidal siqnalın tam periodu; t - zamanın cari qiymətidir.

Yekun F dartı qüvvəsinin modulu:

$$F_m = \sqrt{F_0^2 + F_{1m}^2 + F_{2m}^2 + F_{3m}^2 + F_{4m}^2 + F_{5m}^2 + F_{6m}^2 + F_{7m}^2} \quad (7)$$

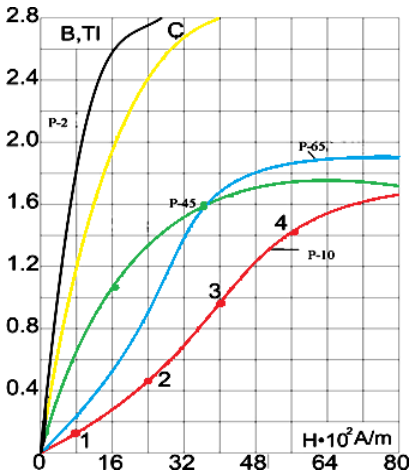
kimi ifadə olunur.

İşlənmiş riyazi modellər üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit vibrotəsirləndirici-sinin göstəricilərinin yaxşılaşdırılması məqsədilə geniş əhatəli və dərinlən tədqiq edilməsinə imkan verir. Eyni zamanda qüvvənin alınmış ifadəsi ÜEMVQ-nin bütün parametrlərini özündə əks etdirir və onun çıxış xarakteristikalarını təyin etməyə imkan verir.

İkinci fəslin nəticələri [1-3, 6, 10, 17] işlərində öz əksini tapmışdır.

Üçüncü fəsildə üçfazlı iki taktlı elektromaqnit vibrasiya qurğusunun elektrotexniki polad nüvəsinin mövcud materiallardan seçilməsi maqnit sahə gərginliyinin geniş intervalında dəyişməsinə

görə aparılır (şəkil 2). Tədqiqatlar göstərmişdir ki, polad-2, və çuğun-C-də maqnit sahə gərginliyinin $H=11A/m$ və $H=16 A/m$



Şəkil 2. Müxtəlif poladların maqnitlənmə əyriləri

oluna bilər. Polad-10, polad-45 və polad-65 materiallarının müqayisəli təhlili nəticəsində elektrotexniki polad-10 materialı seçilmiş və bu zaman qeyd edilmişdir ki, iki taktlı ÜEMVQ üçün elə bir rejim seçilməlidir ki, əlavə dinamik təsirlər yaranmasın.

İndi isə polad-10 materialını nəzərdən keçirək. Bu materialın maqnitlənmə əyrisinin həm başlanğıc, həm də $H=48 A/m$ qiymətindən sonra qeyri-xəttiliyi yaranır. Alınmış hər iki qeyri-xəttilik nəticəsində nüvədə yaranan maqnit seli də qeyri-sinusoidal olur və bu da vibrasiya qurğusunun işləməsinin etibarlığını aşağı salır. Bu materialda qeyri-xəttilikdən yaranan harmonikaların tezliyini və amplitudasını təyin etmək üçün şəkildə verilmiş əyrinin ifadəsini binom şəklində təsvir etmək lazım gəlir. Qəbul edək ki, polad-10 əyrisinin zəif sahəsinə uyğun hissəsi

$$B = a_1 H_1 + a_2 H_A^2 + a_3 H^3 + a_4 H^4 \quad (8)$$

binomu kimi təsvir edilir. Burada a_1, a_2, a_3, a_4 sabit əmsallardır. Bu əmsalların tapılması məqsədilə polad-10 üçün təcrübi yolla alınmış, şəkildə göstərilən əyridən istifadə olunur. Şəkil 2-də göstəriləyi kimi, həmin əyri dörd nöqtəyə görə approksimasiya olunur. Hər bir

nöqtə üçün tənlik yazsaq, aşağıdakı tənliklər sistemi alınar:

$$\begin{cases} B_1 = a_1 H_1 + a_2 H_1^2 + a_3 H_1^3 + a_4 H_1^4, \\ B_2 = a_1 H_2 + a_2 H_2^2 + a_3 H_2^3 + a_4 H_2^4, \\ B_3 = a_1 H_3 + a_2 H_3^2 + a_3 H_3^3 + a_4 H_3^4, \\ B_4 = a_1 H_4 + a_2 H_4^2 + a_3 H_4^3 + a_4 H_4^4 \end{cases} \quad (9)$$

Bu tənliklər sisteminin həllindən a_1, a_2, a_3, a_4 əmsalları təyin edilir. $H_1=800A/m$, $H_2=2400A/m$, $H_3=4000A/m$, $H_4=5600A/m$, $B_1=0,1Tl$, $B_2=0,5Tl$, $B_3=1,05Tl$, $B_4=1,4Tl$. B və H -ın qiymətlərini (8) və (9) ifadələrində nəzərə alıb hesablama aparsaq, əmsallar üçün aşağıdakı qiymətlər alınar:

$$a_1 = 8,411415 \cdot 10^{-5}; a_2 = 4,785244 \cdot 10^{-8}; a_3 = 5,289282 \cdot 10^{-12}; a_4 = -1,525835 \cdot 10^{-15}$$

Bu qiymətləri isə (9) ifadəsində nəzərə alıb, $H = H_m \sin \omega t$ olduğunu qəbul etsək, $B = f(H)$ asılılığı aşağıdakı triqonometrik formada alınar:

$$B = a_1 H_m \sin \omega t + a_2 H_m^2 \sin^2 \omega t + a_3 H_m^3 \sin^3 \omega t + a_4 H_m^4 \sin^4 \omega t \quad (10)$$

Burada triqonometrik funksiyalar üzərində çevirmələr aparmaqla aşağıdakı ifadə alınar:

$$\begin{aligned} B = & \frac{1}{2} H_m^2 \left(a_2 + \frac{3}{4} a_4 H_m^2 \right) + H_m \left(a_1 + \frac{3}{4} a_3 H_m^3 \right) \sin \omega t - \\ & - \frac{1}{2} H_m^2 (a_2 + a_4 H_m^2) \cos 2\omega t - \frac{a_3 H_m^3}{4} \sin 3\omega t + \frac{1}{8} a_4 H_m^4 \cos 4\omega t \end{aligned} \quad (11)$$

(11) ifadəsindən görünür ki, vibrasiya qurğusunun nüvəsi polad-10-dan hazırlandıqda, maqnit sahə gərginliyi sinusoidal qanunla dəyişdikdə, onun maqnitlənmə əyrisinin qeyri-xəttiliyi səbəbindən maqnit induksiyası qeyri-sinusoidal şəkildə dəyişir və bu qeyri-sinusoidallığın tərkibi sabit təşkiledicidən, birinci, ikinci, üçüncü və dördüncü harmonikalardan ibarət alınır. Vibrasiya qurğusunda maqnit induksiyasının sabit təşkiledicisinin olması nüvənin maqnitlənmə xarakteristikasını B oxu istiqamətində özünə paralel sürüşdürür və bu da onun iş rejimini dəyişdirmiş olur. Qurğu alçaq tezliyə kökləndiyi üçün o, yüksək tezlikli harmonikalari tez söndürür. Lakin sabit təşkiledici aşağı tezliyə yaxın olduğu üçün onun təsiri qalır. Alçaq tezlikli vibrasiya qurğusunun təsirlənmə dolağına ardıcıl tutum qoşulduğundan həmin sabit təşkiledicinin vibrasiya

qurğusunun iş rejiminə təsiri aradan qaldırılır. Beləliklə, yaradılacaq iki taktlı ÜEMVQ nüvəsinin materialını elektrotexniki polad-10-dan hazırlanmasını qəbul etmək məqsədəuyğun hesab olunmuşdur. Bundan sonra ÜEMVQ-nin dartı qüvvəsinin təyini məsələsinə keçmək olar.

ÜEMVQ-nin elektromaqnit dartı qüvvəsini və dartı qüvvəsinin təşkilədicilərini təyin etmək üçün üç fazanın birlikdə dartı qüvvəsinin orta qiyməti üçün

$$F_{or} = \frac{9}{4} \cdot \frac{U_m^2}{r^2} \frac{1}{1+Q^2\beta^2} \cdot \frac{dL_A}{d\delta} = F_0 \frac{1}{1+Q^2\beta^2}. \quad (12)$$

ifadəsi alınmışdır. Burada analitik tədqiqatların həddinin nisbətən sadələşdirilməsi üçün ÜEMVQ-nin elektromaqnit dartı qüvvəsinə aid olan induktivliyin hava aralığı məsafəsindən asılılığı aşağıdakı kimi təsvir olunur.

$$L_A = \frac{K_{hA}}{1+K_1\delta} \quad (13)$$

Burada $K_1 = \frac{3\mu}{3h+2d}$, $K_{hA} = \frac{W^2\mu\mu_0a_1b_1}{3h+2d}$; a_1, b_1, h və d - nüvənin həndəsi ölçüləridir.

(11) və (12) ifadələrinə uyğun qurulmuş $L_A = f(\delta)$ əyrilərini işçi zonada daha sadə polinomla approksimasiya edirik:

$$L_A = m_0 + m_1\delta + m_3\delta^2 + m_6\delta^3 \quad (14)$$

Burada m_0, m_1, m_3, m_6 - approksimasiya əmsallarıdır.

δ -nın zamandan asılı dəyişməsi sabit mürəkkəbə və iki harmonikanın cəmi şəklindədir, yəni:

$$\delta = \delta_0 + \delta_{1m} \sin \Omega t + \delta_{2m} \sin 2\Omega t \quad (15)$$

Burada Ω - mexaniki rəqslərin tezliyidir. Bunlar nəzərə alınmaqla, təcrübədən alınan nəticələrə görə qurğunun mexaniki dartı qüvvəsi üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır:

$$F = F_m \sin \frac{k\omega}{n+1}. \quad (16)$$

Burada F_m - ekvivalent dartı qüvvəsinin amplitudası; $k=2,6,10$ - qüvvə üçün alınmış ifadədə təmiz elektrik tezlikli harmonikaların şəbəkə tezliyindən neçə dəfə böyük olduğunu göstərən əmsal, $n=1 \div 5$ - elektromaqnitin dartı qüvvəsinin tezliyi mexaniki tezliyə bərabər

deformasiya olunur və bu deformasiya eyni istiqamətdə qalır.

M18 kütləli yükədən 11, 13 yaylarının aldığı deformasiya iş prosesində həmişə eyni istiqamətdə qalır və dartı qüvvəsinin istiqamətinə uyğun gəlir. M16 və M17 işçi orqanların təsirindən 12 və 14 yayları əlavə deformasiyaya məruz qalır və bu yaylar lövbərin elektromaqnit tərəfindən dartılması zamanı həmin deformasiyadan müəyyən qədər azad olur.

M18 kütləsi və lövbərin ağırlıq qüvvəsi 21 trosunun köməyi ilə M16 və M17 yüklərinin müəyyən hissəsi ilə tarazlaşır və bununla da 11, 13 yaylarının sıxılma dərəcəsi azalır və iş prosesində həmişə sabit qalır. Lövbərin cari vəziyyətində M16 və M17 yüklərinin 12 və 14 yaylarında təsirindən sıxılma, M18 yükündən və lövbərin ağırlıq qüvvəsindən dartılma prosesi baş verir. Bu proses qurğu işləyərkən dəyişməz qalır.

Lövbər yay sistemi təsirindən yuxarı itələnərkən yuxarı yaylar əlavə deformasiya alır və aşağı yaylar qaykalar vasitəsilə onlarda yaranmış deformasiyadan azad olur. Bununla yuxarı və aşağı yaylar bir period ərzində bir dəfə əlavə deformasiya olunur. Bu proses sonrakı mərhələlərdə təkrarlanır.

Lövbər yuxarı itələnərkən yuxarı yaylar əlavə deformasiya alır və aşağı yaylar qaykalar vasitəsilə onlarda yaranmış deformasiyadan azad olur. Bununla yuxarı və aşağı yaylar bir period ərzində bir dəfə əlavə deformasiya olunur. Bu proses sonrakı mərhələlərdə təkrarlanır. Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə almaqla, ÜEMVQ-nin əvəzetmə sxemi şəkil 3.3.2-də göstərilən kimi təsvir etmək olar.

Şəkildə mexaniki yaylar və yüklər y və x koordinat oxlarına nəzərən simmetrikdir və

$$M_1 = \frac{M_{16} + M_{17} - M_{18} - M_e}{2} \quad \text{və}$$
$$M_2 = \frac{M_{18} + M_e - M_{16} - M_{17}}{2}$$

kimi təsvir edilə bilər.

Qollardan axan cərəyanların amplitud qiymətləri və faza sürüşmə bucaqları uyğun olaraq:

$$I_{mL1} = \sqrt{(I_{2a} - I_{3a})^2 + (I_{2p} - I_{5p})^2}; \quad \varphi_{L1} = \arctg \frac{I_{2p} - I_{5p}}{I_{2a} - I_{5a}} \quad (18)$$

$$I_{mL2} = \sqrt{(I_{3a} - I_{1a})^2 + (I_{3p} - I_{1p})^2}; \quad \varphi_{L2} = \arctg \frac{I_{3p} - I_{1p}}{I_{3a} - I_{1a}} \quad (19)$$

$$I_{mL\ell} = \sqrt{(I_{1a} - I_{5a})^2 + (I_{1p} + I_{5p})^2}; \quad \varphi_{L\ell} = \arctg \frac{I_{1p} + I_{5p}}{I_{1a} + I_{5a}} \quad (20)$$

$$I_{mR1} = \sqrt{(I_{2a} + I_{4a})^2 + (I_{2p} + I_{4p})^2}; \quad \varphi_{R1} = \arctg \frac{I_{2p} + I_{4p}}{I_{2a} + I_{4a}} \quad (21)$$

$$I_{mR2} = \sqrt{(I_{3a} - I_{4a})^2 + (I_{3p} - I_{4p})^2}; \quad \varphi_{R2} = \arctg \frac{I_{3p} - I_{4p}}{I_{3a} + I_{4a}} \quad (22)$$

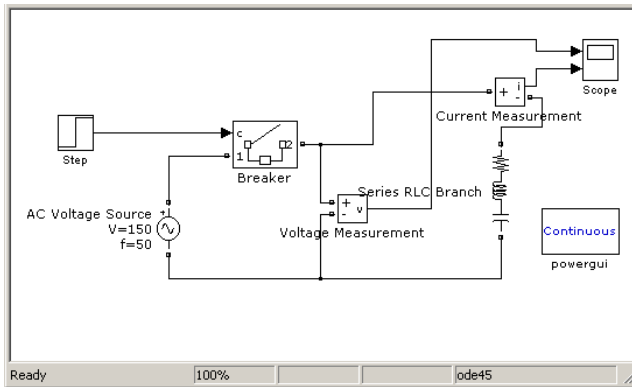
kimi yazılır.

İki taktlı ÜEMVQ-nin elektromexaniki analogiyalar metodunu bu tənliklərinə tətbiq edərək, elastiki qüvvələrin və yüklərin ağırlıq qüvvələrini aşağıdakı kimi ifadə alırıq:

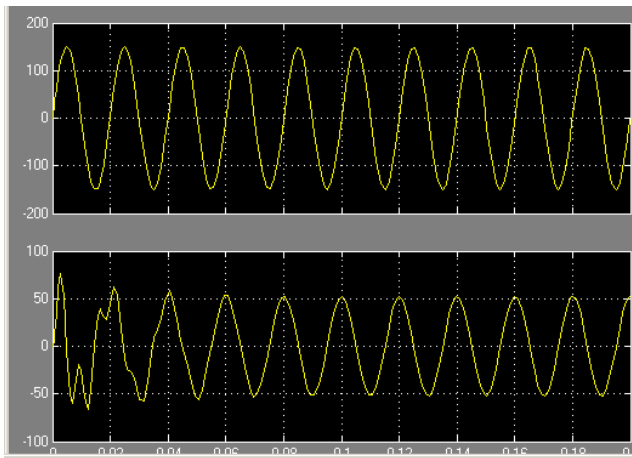
$$\begin{aligned} F_1 &= F_{1m} \sin(\omega_v t + \varphi_{f1}) = \sqrt{F_{1a}^2 + F_{1p}^2} \sin(\omega_v t + \varphi_{f1}); \\ F_2 &= F_{2m} \sin(\omega_v t + \varphi_{f2}) = \sqrt{F_{2a}^2 + F_{2p}^2} \sin(\omega_v t + \varphi_{f2}); \\ \varphi_{f1} &= \arctg \frac{F_{1p}}{F_{1a}}; \quad \varphi_{f2} = \arctg \frac{F_{2p}}{F_{2a}}; \\ F_3 &= F_{3m} \sin(\omega_v t + \varphi_{f3}) = \sqrt{F_{3a}^2 + F_{3p}^2} \sin(\omega_v t + \varphi_{f3}); \\ \varphi_{f3} &= \arctg \frac{F_{3p}}{F_{3a}}; \end{aligned} \quad (23)$$

Beləliklə, iki taktlı ÜEMVQ-nin yay elastik sisteminin uzunluğu iş prosesində zamandan asılı olaraq iki qüvvənin cəminə uyğun dəyişir. Bu qüvvələrin dəyişən hissəsi ω_v bucaq tezliyi ilə zamandan asılı harmonik qanuna tabe olur. Üçfazlı iki taktlı elektromaqnit vibrasiya qurğusunun elektrik dövrəsinin simulyasiya modellərinin qurulması həmin qurğuda gedən prosesləri daha müfəssəl tədqiq etməyə imkan verir. Bu məqsədlə işdə Matlab proqramında Simulink paketinin SimPowerSystems bölməsindən istifadə edilmiş, əvvəlcə elektrik dövrəsi birfazlı, daha sonra isə üçfazlı elektromaqnit üçün simulyasiya olunmuşdur.

Şəkil 4 və şəkil 5-də simulyasiya modellərindən birinin sxemi və çıxışda signalın dəyişmə əyrisi verilmişdir. Simulyasiya modellərindən istifadə etməklə vibrasiya qurğusunun ekvivalent əvəz elektrik sxeminə uyğun dövrəni asanlıqla qurub, oradakı prosesləri dəyişənlərin müxtəlif qiymətlərində simulyasiya vasitəsilə, nəzəri tədqiqatları kompüter eksperimentlərinin nəticələri ilə müqayisə etməyə, simulyasiya prosesində alınmış xeyli sayda nəticənin emalı əsasında bu və ya digər dəyişənin qurğusunun işinə təsirini tədqiq etməyə imkan verir.

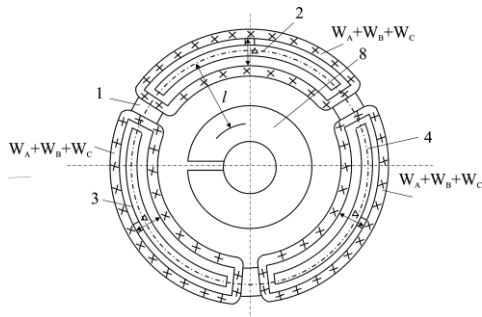


Şəkil 4. Bifazlı dövrənin təkmilləşdirilmiş simulyasiya modeli



Şəkil 5. Gərginlik və cərəyanın forması

Üçüncü fəslin nəticələri [8, 9, 11-13] işlərində öz əksini tapmışdır.



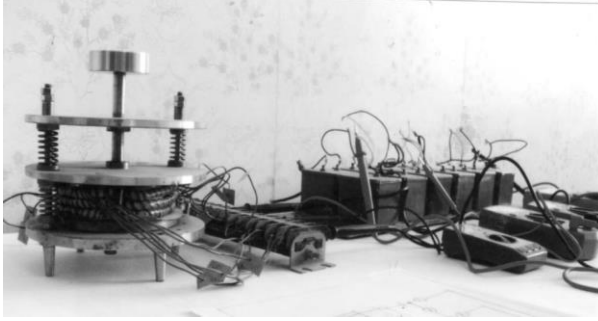
Şəkil 6. Maqnit sistemində faza dolaqlarının yerləşdirilməsi

Dördüncü fəsildə ÜEMVQ-nin eksperimental tədqiqi və istehsalata tətbiqi haqqında məlumatlar, nüvəsi xüsusi seçilmiş elektrotexniki polad vərəqlərdən hazırlanmış ÜEMVQ-nin üzərində qoyulan təcrübə və sınaqların, idarə olunması, nəzəri dövrlər modeli və eləcə istilik hesabatı nəticələri təqdim edilmişdir.

Nəzəri tədqiqatların yoxlanılması məqsədilə eksperimental tədqiqatların proqramı işlənmiş, müxtəlif rejimlərdə vibrotəsirləndirici qurğunun rəqslərinin tezliyi və amplitudunun, dartı qüvvəsinin və sərf edilən gücün ölçülməsi vasitəsilə həyata keçirilmişdir.

Sınaq üçün üçfazlı avtotransformator, ölçü cihazları və laboratoriya maketindən istifadə edilmişdir. İki taktlı ÜEMVQ-nin elektromaqnit sisteminin fazalarında rezonansa uyğun induktivliyin hava məsafəsindən və gərginlikdən asılılıqları $\delta=(0,25-5)$ mm intervalına təcrübə yolla çıxarılmış, fazalara ardıcıl qoşulmuş kondensatorların buraxıla bilən gərginlikləri təyin edilmişdir. Göstərilmişdir ki, qurğunun səmərəliliyi onun hasil etdiyi alçaq mexaniki tezlikli rəqslərin tezliyi və amplitudunun tələb olunan hədudlarda olması, istilik itkilərinin azaldılması, ölçüləri və həcmnin optimal olması, iş rejiminin asan tənzimlənməsi və geniş gərginlik diapazonunda işləyə bilməsilə müəyyən olunur.

Nüvəsi xüsusi seçilmiş elektrotexniki polad vərəqlərdən hazırlandığına görə maqnit sistemi şəkil 6-da göstəriləndiyi kimi alınır. Üçfazlı qurğunun ekvivalent əvəz sxeminə əsasən qurğunun dartı qüvvəsini onun maqnit müqavimətindən asılı olaraq təyin etməyə imkan verən aşağıdakı ifadə alınmışdır:



Şəkil 7. Eksperimental vibrasiya qurğusunun fotosəkli.

$$F = 6W^2 I_m \frac{R_{11}^1}{R_{11}^2} \left[\left(\frac{dI_m}{dx} - \frac{I_m}{R_{11}} \cdot \frac{dR_{11}}{dx} + \frac{I_m}{2R_{11}^1} \frac{dR_{11}^1}{dx} \right) \right] \quad (24)$$

Tərtib olunmuş riyazi model əsasında alınmış nəticələrin yoxlanılması üçün vibrasiya iki taktlı ÜEMVQ qurğusunun eksperimental modeli (şəkil 7) hazırlanmış və müxtəlif gərginliklərdə eksperimentlər aparılmışdır.

EVQ-nin parametrlərinin nəzəri və təcrübi yolla alınmış qiymətləri göstərir ki, təklif edilən qurğu bütün yuxarıda qeyd edilən tələbləri ödəyir və onun səmərəliliyi elektromexaniki komplekslərdə tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş vibrasiyalı elektromaqnit intiqal qurğularının səmərəlilik göstəricilərinə uyğundur. Təklif olunan xırdalayıcı qurğunun vibrotəsirləndirici hissəsi kifayət qədər sadə olub, hazır məhsulun xırdalanması keyfiyyətinə olan tələbləri tam ödəyir.

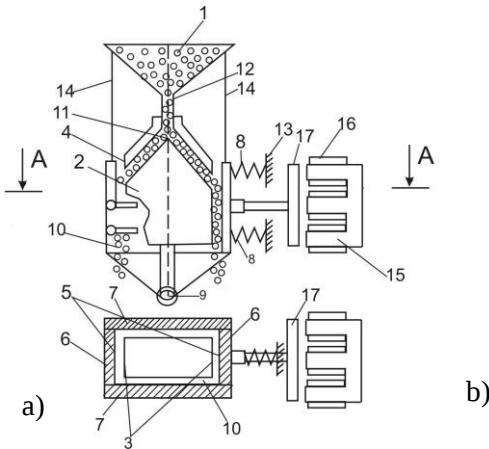
Yuxarıda qeyd olunan mühakimələr əsasında hazırlanmış taxıl və dənəvər materiallar xırdalayıcısı ÜEMVQ-nin funksional sxemi (a) və foto görünüşü şəkil 8-da verilmişdir.

Xırdalayıcı 1-yük bunkerindən, 3 - iki işçi üzdən, 2 - çəkicdən, 4 - gövdədən içərisində yerləşən və 9 -oxuna birləşən rəqqasdan ibarətdir. 4 - gövdə ilə hərəkət edən və tərpənməz üzlərindən, 5, 6

üzlərindən və 7 - yan divardan ibarətdir. 2 - çəkicin qırıcı üzü və 4 - gövdəsinin iki xırdalayıcı 10 - kamerasını əmələ gətirir. 2 - çəkicinin yuxarı orta hissəsində onu 11 xırdalayıcı kamera ilə birləşdirən budaqlandırıcı kanal - 11 açılmışdır. 12 kanalın yuxarı kəsiyi dalğavari 12 şlanqı ilə 12 - yük bunkerinə birləşdirilir.

Xırdalayıcı qurğu 2 - yük bunkerindən iki işçi 3 - üzlərindən, 2 - çəkicdən, 4-gövdədən işərisində yerləşən və 9 - oxuna birləşən rəqqasdan ibarətdir. 4 - gövdəsi ilə birlikdə hərəkət edən və 5, 6 üzlərindən və yan divardan ibarət olub 2 - çəkici ilə yuxarı üzü və 4 - gövdəsi ilə birlikdə xırdalayıcı 10 kamerasını əmələ gətirir.

Gövdənin tərpənməz üzü elektromaqnit tipi üçfazlı vibrotəsirləndiriciyə və eyni tərəfdən iki ədəd 8 - elastiki yaylara birləşdirilir. 4-gövdəsi 1-yük bunkerindən 14 - trosları ilə dörd tərəfdən asılır. 15 - vibrotəsirləndiricisi yük bunkerilə bağlanır.



Şəkil 8. Xırdalayıcı qurğunun funksional (a) və foto (b) sxemi

Xırdalayıcıda texnoloji proses aşağıdakı kimi yerinə yetirilir. İlk material 1 yüklənən bunkerə tökülür, həmin material öz axını ilə 12 şlanqının köməkliyi ilə 11-çəkicinin kanalına daxil olur və burada bərabər paylanaraq, iki 10 xırdalayıcıya daxil olur 13 elektromaqnit tipli vibrotəsirləndirici işləyərək, 4 gövdəsini düz xətti və horizontal müstəvi üzrə rəqs etdirir. 4 gövdəsi rəqsi hərəkət etdikdə, 2 - çəkic əks fazada rəqs edir və xırdalanan materiala növbə

ilə zərbələr endirərək dənəvər material xırdalanır. Hərəkət edən gövdəyə - 4, elektromaqnit tərəfdən bağlanmış yaylar-8, gövdənin çıxış vəziyyətinə qaytarmaqla yanaşı, yaranmış dinamik yükü aradan qaldırır və qurğunun səsinə (uğultusunu) kifayət qədər azaldır. 15 - elektromaqnit tipli vibrotəsirləndiricinin tətbiq olunması, xırdalayıcının yükünü gövdəyə simmetrik ötürməklə qurğunun stabil işləməsini təmin edir.

Tədqiq olunan ÜEMVQ “İneks LTD” MMC-nin un üyüdən dəyirməyə taxılı seçmək üçün istifadə olunan separator qurğusunda və hazır məhsulun rezervuardan boşaldılması üçün tətbiq olunmuşdur.

Dördüncü fəslin nəticələri [5, 7, 16] işlərində öz əksini tapmışdır.

İŞİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiya işi alçaq mexaniki tezlikli üçfazlı ikitəktli elektromaqnit vibrasiya qurğusunun nəzəri-təcrübi tədqiqi, idarə olunması, layihələndirilməsi, konstruktiv işlənməsi və tətbiq sahələri üzrə realizasiyası məsələlərinə həsr edilmişdir. Bu problemin həlli zamanı aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. Mövcud mənbələr üzrə aparılmış icmal əsasında elektromexaniki komplekslərdə geniş istifadə olunan üçfazlı alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit tipli vibrasiya qurğularının müasir vəziyyəti hər tərəfli təhlil edilmiş, onların əsas xüsusiyyətləri, elektromexaniki parametrlərinin hesablanması hazırkı vəziyyəti aşkar edilmiş, nəzəri tədqiqi, layihələndirilməsi və idarə olunması ilə bağlı mövcud problemlər müəyyənləşdirilmişdir.

2. ÜEMVQ-nin nüvəsinin ənənəvi elektrotexniki konstruksiya polad vərəqlərdən hazırlanması əsaslandırılmış və nüvənin P-10 poladdan hazırlanması məqsədəuyğun hesab olunmuş və buna uyğun olaraq EVQ-nin maqnit sisteminin nəzəri-analitik tədqiqatı aparılmış, hər bir faza üçün iki tərtibli dəyişən əmsallı tənliliklər alınmış, onların həll yolu verilmiş və hər bir faza cərəyanların ani qiymətlərinin spektri təyin edilmişdir.

3. Alçaq mexaniki tezlikli ÜEMVQ, onun elektrik dövrəsinin rezonans rejiminə uyğun gələn keyfiyyətlik əmsalına görə

elektromaqnit sisteminin tədqiqi aparılmış, maqnit dövrəsində mövcud itkiləri nəzərə almaqla fazaların tam elektriki müqaviməti özündə əks etdirən ifadələr təyin olunmuş və bu ifadələr əsasında faza cərəyanlarının cari qiymətlərinin onun rezonans cərəyanına olan nisbətinin xarakteristikası təyin edilmişdir. Alınmış xarakteristikalardan aşkar edilmişdir ki, sistemin rezonans əyrisinin dikliyi keyfiyyətlik əmsalının qiyməti kiçildikcə azalır. Keyfiyyətlik əmsalının qiyməti $Q_a=4; 10$ və 100 olduqda nəzərdə tutulan aşağı tezlik intervalında (20 Hs-dən aşağı) alınan xarakteristikalar ω/ω_0 xəttinə praktiki olaraq paralel alınır və bu da nüvənin hazırlanmasında P-10 markalı poladdan istifadə edilməsini məqsədəuyğun edir.

4. Elektromexaniki analogiyalar sistemindən istifadə edərək, alçaq mexaniki tezlikli üçfazlı EVQ-nin ekvivalent elektrik sxemi tərtib etməklə qurğunun işçi parametrlərinin və çıxış xarakteristikalarının köməyiylə riyazi model alınmışdır. Üçfazlı vibrotəsiləndiricidə gedən prosesləri düzgün və tam əhatəli əks etdirən nəzəri yolla alınmış xarakteristikalar və hesabat nəticələri təcrübi olaraq təsdiqini tapmışdır.

5. ÜEMQV-nin nominal dartı qüvvəsini təmin edən optimal parametrlərin seçilməsi üçün optimallaşdırma kriteriyası, aşkar və qeyri-aşkar şəkildə olan məhdudiyyətlər müəyyənləşdirilmiş, vibrasiya qurğusunun yükünün artırılması yolu ilə qurğunun dartı qüvvəsinin iş prosesində alçaq tezlik intervalında praktiki olaraq sabit qalması həm nəzəri, həm də təcrübi yolla təyin edilmişdir.

6. Aparılmış nəzəri tədqiqatların düzgünlüyü praktiki tədqiqatlar əsasında təcrübədə müqayisəli şəkildə yoxlanılmış, üçfazlı EVQ işlənilmiş və “İneks LTD” MMC-nin un üyüdən dəyirməndə taxılı seçmək üçün istifadə olunan separator qurğusunda və hazır məhsulun rezervuardan boşaldılması üçün tətbiq olunmuşdur.

7. Seçilmiş parametrlərə görə hazırlanmış üçfazlı vibrasiya qurğusu istehsalatda tətbiq olunmuş və kifayət qədər məqbul nəticələr əldə etməyə imkan vermişdir. Qeyd edək ki, təqdim olunmuş dissertasiya işində aparılan elmi-nəzəri tədqiqatların nəticələri, metodik tövsiyyələr gələcəkdə müxtəlif növ, daha müasir

tipli ÜEMVQ-nin yaradılmasında və oxşar qurğuların istismarı prosesində uğurla tətbiq oluna bilər.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS MÜDDƏALARI AŞAĞIDAKI İŞLƏRDƏ ÖZ ƏKSİNİ TAPMIŞDIR

1. Məmmədov F.İ., Hüseynov R.A., Yusifov R.Ə. Elektromaqnit vibrasiya qurğusunun nüvəsinin materialının seçilməsinə dair. // Sumqayıt, SDU, Elmi xəbərlər, 2008, №1, səh.86-88.

2. Məmmədov F.İ., Hüseynov R.A., Yusifov R.Ə. Alçaq mexaniki tezlikli üçfazlı vibrasiya qurğusunun dartı qüvvəsinin təyini // Energetikanın problemləri, 2008, №4. səh.83-87.

3. Мамедов Ф.И., Гусейнов Р.А., Юсифов Р.А. Исследование электромагнитной системы трехфазного вибрационного устройства низкой механической частоты // Научно-Научно-Техническому Прогрессу в поливно-Энергетическому комплексу. Киев. Новини «Энергетики», 2008, №11. стр.28-32.

4. Rəsulov F.R., Əhmədova Ə.Ş., Yusifov R.Ə. Neft tullantılarının ikitəktli vibrotəsirləndirici ilə təkrar emala hazırlanması // Bynəlxalq kimya ilinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı, Sumqayıt, 29-30 iyun 2011, s.197-199.

5. Məmmədov F.İ., Rəsulov H.R., Yusifov R.Ə. Üçfazlı vibrotəsirləndiricilərdə zərərli səs-küyün azaldılması məsələlərinə dair // Energetikanın müasir problemləri Respublika Elmi konfransı. Sumqayıt, 14-15 dekabr 2011-ci il, səh.109.

6. Məmmədov F.İ., Hüseynov R.A., Dadaşova R.B., Yusifov R.Ə. Maqnit qeyri-simmetrikliyi olan üçfazlı elektromaqnit qurğularda yük rejiminin analitik tədqiqi // Energetikanın problemləri, Bakı, 2011, № 1, səh.163-167.

7. Юсифов Р.А. Аналитическое определение электромагнитных параметров трехфазных вибрационных устройств с низкой механической частотой // Научно-Научно-Техническому Прогрессу в поливно-Энергетическому комплексу. Киев, Новини «Энергетики», 2011, № 1, стр. 40-43.

8. Məmmədov F.İ., Əsədova K.F., Yusifov R.Ə., Məmmədova Ş.T. Mikroelektronikalı və yarımkəçiricili qurğuların sintezi //

Energetikanın müasir problemləri. Respublika elmi konfransının materialları, Sumqayıt, 14-15 dekabr, 2011, s.104-105.

9. Мамедов Ф.И., Гусейнов Р.А., Юсифов Р.А., Юсифов А.А. К вопросу получения математической модели вибрационного устройства с низкочастотным механическим колебанием // Sumqayıt, SDU, Elmi xəbərlər, № 4, 2012, Cild 12, Təbiət və texnika elmləri bölməsi, səh.83-87.

10. Мамедов Ф.И., Дадашева Р.Б., Гусейнов Р.А., Юсифов Р.А. Применение наноматериалов в устройствах вибровозбудителей низких механических колебаний // Издательство «Машиностроение», Ежемесячный межотраслевой научно-технический журнал “Автоматизация и современные технологии”. Москва, 2013, №5, стр.3-6.

11. Мамедов Ф.И., Гусейнов Р.А., Юсифов Р.А., Мамедова Ш.Т. К вопросу определения характеристик низкочастотных вибровозбудительных электромагнитных устройств с магнитопроводом из сплошной конструкционной стали // Известия высших учебных заведений «Электромеханика», Новочеркасск, 2013, №3, с.91-92.

12. Yusifov R.Ə. Elektromaqnit vibrasiya qurğusunun simulyasiya modellərinin işlənməsinə dair. Sumqayıt dövlət universiteti, Elmi xəbərlər, Cild 19, 2019, №2, səh.93-98.

13. Юсифов Р.А. Математическая модель для экспериментального исследования вибрационного устройства с низкочастотным механическим колебанием. Труды международной конференции: САПР и моделирование в современной электронике. Брянск, 2019, с.136-139, DOI: 10.30987/conferencearticle_5e0282115c9ed3.43388650.

14. Попова О.И., Абдуллаев Г.С., Оруджева Г.Э., Сулейманова Н.М., Юсифов Р.А., Попова М.И., Демидов А.В. Этапы разработки анимационного обеспечения робототехнического модуля // Вестник Воронежского ГТУ. Т.16. №4, 2020, с.132-136.

15. Yusifov R.Ə. Aşağı mexaniki tezlikli elektromaqnit vibrasiya qurğuları və onların istehsalatda rolu. “Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri”

Beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları, ADDA, 17-18 noyabr 2022, Bakı, Azərbaycan, s.118-123.

16. Yusifov R.A. Performance coefficient and determination of the output parameters of a three-phase two-stroke electromagnetic vibrometer // SOCAR Proceedings Special Issue No. 2 (2022) 015-027, pp. 5-8. <http://proceedings.socar.az>

17. Guliyev H.B., Huseynov R.A., Yusifov R.A. Three-phase two-stroke electromagnetic vibration device managing output parameters // Electroenergetics, Electrotechnics, Electromechanics + Control (EEEC), Scientific – industrial journal, Vol.13, No.1, 2023, pp.1-12.

Müəllifin şəxsi iştirakı

Fəlsəfə doktorluğu dissertasiyası üzrə elmi məqalələr siyahısında verilmiş [7, 12, 13, 15, 16] işləri şəxsən müəllifin özü tərəfindən yazılmışdır. Həmmüəlliflər ilə yazılmış [1-6, 8-11, 14, 17] işlərində elmi problemin qoyuluşu, onun həll üsulu və yolları müəllifə aiddir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 11 oktyabr 2024-cü il tarixində saat 14:00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək
Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 14 avqust 2024 il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 23.07.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 49551

Tiraj: 100