

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

DİFERENSİAL PYEZOELEKTRİK ÇEVİRİCİLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏDQIQI

İxtisas: 3337.01. – İnformasiya - ölçmə və idarəetmə sistemləri

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: İradə Namaz qızı Dəvrişova

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsinə
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyasının

AVTOREFERATI

Bakı - 2021

İş Azərbaycan Texniki Universitetinin “Elektromexanika və elektrik avadanlığı” və “Radiotexnika və telekommunikasiya” kafedralarında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər Texniki elmlər doktoru , professor
Teyqubad Bayram oğlu Qurbanov

Rəsmi opponentlər: 1. Texniki elmlər doktoru , professor
Rəhim Məmmədov Qurban oğlu
2. Texniki elmlər doktoru, professor
Azər Qəhrəman oğlu Məmmədov
3. Texniki elmlər namizədi, dosent
Sevda Rafiq qızı İbrahimova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdindəki ED 2. 41 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Texniki elmlər doktoru , professor
B. Qasimov **Vaqif Əlicavad oğlu Qasimov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texniki elmlər namizədi, dosent
Vahid Qara oğlu Fərhadov **Vahid Qara oğlu Fərhadov**

Elmi seminarın sədri: Texniki elmlər doktoru, professor
Namiq Tahir oğlu Abdullayev **Namiq Tahir oğlu Abdullayev**



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir dövrdə informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri perspektiv informasiya sistemləri və texnologiyaları bazasında yeni aspektdə yüksək dəqiqlikli və olduqca stabil xarakteristikalara malik çevirici qurğuların və ölçmə vasitələrin yaradılmasını tələb edir. İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemlərinin müasir inkişaf səviyyəsini xarakterizə edən amillərdən biri də obyektlərin mexaniki hərəkət parametrlərinin ölçülməsi üçün pyezohəssas elementlər bazasında sadə konstruktiv tərtibata malik, diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin işlənməsi və tətbiqi ilə bağlıdır.

Mexaniki hərəkət parametrlərinin pyezoelektrik çeviricilərinin ən üstün cəhətləri yüksək həssaslığa, geniş işçi tezlik diapazonuna, çox kiçik maya dəyərində, nisbətən çox sadə və möhkəm konstruksiyaya malik olmaları, onlar vasitəsi ilə cəld dəyişən parametrlərin kifayət qədər dəqiqliklə ölçülməsinin mümkünlüyü və bu kimi başqa göstəriciləridir. Məhz, bu xüsusiyyətləri sayəsində diferensial pyezoelektrik çeviriciləri yerüstü və hava nəqliyyatı vasitələrində, o cümlədən, müxtəlif təyinatlı texniki və texnoloji avadanlıqlarda çox geniş spektrdə tətbiq edilirlər.

Diferensial pyezoelektrik çeviricilərin işlənməsi zamanı qarşıya qoyulan yüksək dəqiqlik və keyfiyyət tələblərinin ödənilməsi məqsədi ilə yeni və müasir növlərinin yaradılması istiqamətində məqsədəuyğun konstruktiv-layihə, elmi-tədqiqat işlərini yerinə yetirmək zərurəti yaranır. Bu zaman əsas elmi-tədqiqat işləri çeviricilərin tələb olunan möhkəmliyini, cəldliyini təmin edən eyni zamanda nisbətən sadə və aşağı maya dəyərində malik konstruktiv həllərin axtarışı, əsas metroloji xarakteristikaları kimi bilinən xətti və yüksək dəqiqliklə, sərt statik və stabil dinamik həssaslıqla, tezlik diapazonunda geniş ölçmə diapazonu ilə təmin olunmaları istiqamətində aparılmalıdır. Bu baxımdan, dissertasiya işinin mövzusu nəzəri və praktiki cəhətdən çox aktualdır və müasirdir.

MDB və digər başqa xarici ölkələrin çoxlu sayda alimləri diferensial pyezoelektrik çeviricilərin effektivliyinin yüksəldilməsi problemi və texniki həll metodologiyalarının yaradılması istiqamətində elmi-tədqiqat işləri aparmışlar. Bunlar arasında aşağıdakıları qeyd etmək olar: Y.B. Qədimov, R.Q. Cakupov, T.B.Qurbanov, F.Tapperta, Q. Aqravala, B.Alekseyevavə, Q.A. Xausa və. s. Bu işlərdə obyektin hərəkət parametrlərini müəyyən edən pyezoelektrik çeviricilərin kifayət qədər yeni konstruktiv həll variantları təklif edilmiş, statik və dinamik xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması istiqamətində məqsədyönlü sintez üsulları işlənib hazırlanmışdır. Lakin, rezonans tipli diferensial pyezoelektrik çeviricilərin statik xarakteristikalarının keyfiyyət əmsalından aslı olaraq, dəyişməsi, ötürmə funksiyasının əmsallarının pyezoelementin həndəsi-fiziki parametrlərindən aslı olaraq, normallaşdırılması, diferensial qoşulmanın körpü sxemi nəzərə alınmaqla, xətalərinin nəzəri tədqiqi məsələləri demək olar ki, diqqətdən kənar qalmışdır. Pyezoelektrik çeviricilərinin tətbiqinə və istismarına qoyulan müasir tələblər onu deməyə əsas verir ki, yuxarıda sadalanan tədqiqat ehtiyacları məsələlər günümüzdə də müasirdir, aktualdır.

Tədqiqat obyektini və predmetini. Tədqiqat obyektini pyezoelektrik həssas elementləri diferensial sxemlə qoşulmuş, mexaniki hərəkətin parametrlərinin pyezoelektrik çeviriciləridir. Tədqiqatın predmeti isə - diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin yeni, daha qabaqcıl konstruktiv həll variantlarının tapılmasını, dəqiqlik və keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsini təmin edən metodlar və üsullardır

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın əsas məqsədi obyektlərin hərəkət parametrlərinin yüksək dəqiqliklə ölçülməsini təmin edən daha qabaqcıl və mükəmməl konstruksiyalı diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin işlənməsi və onların metroloji xarakteristikalarının tədqiqidir.

Baxılan məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı **əsas məsələlər** qarşıya qoyulmuş və həll edilmişdir:

- diferensial pyezoelektrik çeviricilərin elektromexaniki parametrlərinin analizi obyektlərin hərəkətini ölçmə-nəzarət

sistemlərində onların effektivliyinin yüksəldilməsi zərurətinin əsaslandırılması;

- həssas elementlərin diferensial qoşulması prinsipindən istifadə etməklə, yeni konstruktiv həll variantlarına malik olan pyezoelektrik çeviricilərinin işlənməsi;
- diferensial pyezoelektrik çeviricilərin əsas metroloji göstəricilərini müəyyən edən statik və dinamik xarakteristikalarının tədqiqi, o cümlədən, statik xarakteristikasının riyazi modeli və keyfiyyət əmsalının təsirinin tədqiqi, ötürmə funksiyasının çıxarılışı və dinamik həssaslığın sabilliyinin təmin olunması;
- çeviricinin çıxış siqnalının trigger prinsipli rəqəmli emalı alqoritminin işlənməsi;
- diferensial pyezoelektrik çeviricilərin xətalarının riyazi modelinin qurulması və minimallaşdırılması.

Tədqiqat metodları. Qarşıya qoyulan məsələlərin həll edilməsi üçün elektrotexnikanın nəzəri əsasları, elektrik ölçmələri, informasiya texnikasının əsasları, riyazi və kompüter modelləşdirilməsi, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsinin əsaslarından istifadə olunmuşdur. Ədədi hesablamalar, kompüter modelləri və onların simulyasiyası MATLAB proqram mühitində yerinə yetirilmişdir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar. Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar aşağıdakılardır

- diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin obyektlərin hərəkətinin ölçmə-nəzarət sistemlərində tətbiqi effektivliyinin elmi əsaslandırılması;
- hərəkətli obyektlərin parametrlərinin təyin edilməsi məqsədi ilə çeviricinin həssaslığını artran xüsusi konstruksiyalı diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin yaradılması;
- diferensial pyezoelektrik çeviricisinin statik xarakteristikasının riyazi ifadəsi və keyfiyyət əmsalının təsirinin nəzəri tədqiqi
- diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin xətalarının riyazi modeli və minimizasiyası;
- diferensial pyezoelektrik çeviricilərinin dinamik xüsusiyyətlərinin tədqiqi;

●obyektin hərəkətinin parametrlərini müəyyən etmək üçün diferensial sxemli, pyezoelektrik çeviricisinin trigger prinsipli rəqəm emalı alqoritminin işlənməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işində alınan əsas elmi yeniliklər aşağıdakılardır:

1.Yeni pyezoelektrik çeviricilərin konstruktiv layihələndirilməsinin yeni metodikası [1-8, 14];

2.Hərəkətli obyektlərin ölçmə - nəzarət sistemləri üçün yaradılmış rezonans tipli ardıcıl birləşmiş diferensial pyezoelektrik çeviricilərin statik riyazi modeli [9, 12, 13, 17];

3.Rezonans xarakterli ardıcıl birləşmiş diferensial körpü sxemli pyezoelektrik çeviricilərin operator əvəzetmə sxemi əsasında yaradılmış dinamik modeli [11];

4. Diferensial pyezoelektrik çeviricisinin dinamik həssaslığının pyezohəssas elementlərin həndəsi-fiziki parametrlərindən asılıqlarını müəyyən edən riyazi ifadələr [10, 15, 16].

Nəticələrin dürüstlük dərəcəsi. Dissertasiya işi kifayət qədər yüksək elmi səviyyədə, müasir təbiiqi proqram paketlərində modeləşdirmə ilə yerinə yetirilmişdir. Kompüter modelləri əsasında aparılmış simulyasiyaların nəticələri isə tədqiqatların səhihliyini təsdiq edir.

Tədqiqatlar aparılması zamanı elektrotexniki sistemlər, elektrik ölçmələri, informasiya texnikasının əsasları, riyazi modellərin kompüter simulyasiyası, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsinin metodlarından istifadə olunmuşdur. Ədədi hesablamalar, kompüter modelləri və onların simulyasiyası MATLAB proqram mühitində yerinə yetirilmişdir.

Nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Obyektin hərəkətinin (xətti , yaxud dönmə) bütün parametrləri haqqında ilkin informasiya ilə təmin edə bilən analoq-rəqəm tipli diferensial pyezoelektrik çeviricisinin yaradılmasının konstruktiv məsələlərinin həllindən, yeni çeviricilərin statik və dinamik xüsusiyyətlərinin tədqiqindən alınan əsas elmi nəticələr, o cümlədən, xətti xətlərin minimizasiyası və keçid proseslərinin texniki optimuma görə normallaşdırması

məqsədi ilə işlənmiş riyazi aparatlar, onların kompüter modelləri bu tipdən olan digər çeviricilərin tədqiqi üçün də istifadə edilə bilər.

Konstruktiv məsələlərin həlli zamanı yaradılmış pyezoelektrik çeviricilərinin yeniliyi SSRİ-nin patent və müəlliflik şəhadətnamələri ilə təsdiq edilmişdir. Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində alınan nəticələr AzTU –da tədris prosesi və elmi tədqiqat proseslərində tətbiq olunmuşdur.

Müəllifin şəxsi töhvəsi Dissertasiyada bütün elmi məsələlərin nəticələri və tövsiyələri şəxsən dissertant tərəfindən işlənilib hazırlanmış, əsas elmi nəticələrin tətbiqi müəllifin iştirakı ilə olmuşdur.

İşin aprobeasiyası və əsas elmi nəticələrinin nəşri: Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 17 iş, o cümlədən, AzTU-nun professor-müəllim heyətinin 2004/2011-cu illərdə keçirilmiş elmi konfranslarında 6 elmi məruzə ilə çıxış edilmiş, iki müəlliflik şəhadətnaməsi alınmış, 9 elmi məqalə isə çap edilmişdir.

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin strukturu və həcmi: Dissertasiya işi tərkibcə girişdən, 4 əsas fəsildən, nəticədən və ədəbiyyat siyahısından, həcmcə (ədəbiyyat siyahısı istina olmaqla) 28 sxem və cədvəl daxil olmaqla 161 səhifədən (220058 işarədən), o cümlədən Giriş 5 səhifədən (8640 işarədən), I fəsil 34 səhifədən (48132 işarədən), II fəsil 36 səhifədən (43 379 işarədən), III fəsil 45 səhifədən (67089 işarədən), IV fəsil 41 səhifədən (52818 işarədən) ibarətdir.

Avtoreferatın həcmi tam məzmunu nəzərə alınmaqla, 28013 işarədən ibarətdir.

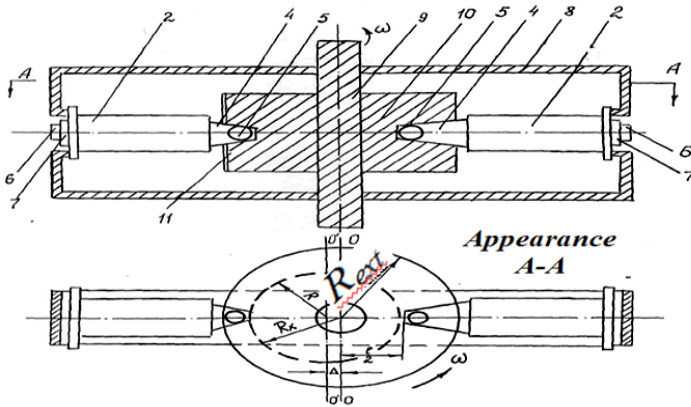
DİSSERTASIYA İŞİNİN QISA MƏZMUNU

Girişdə aparılan tədqiqatların aktuallığı göstərilmiş, tədqiq olunacaq məsələlər, tədqiqat obyektı və predmeti, müəllif tərəfindən müdafiyyə çıxarılacaq əsas müddəlar müəyyənləşdirilmiş, onların

elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti qeyd edilmiş, publikasiyalar, abrobasiya və dissertasiya işinin strukturu haqqında məlumat verilmişdir.

Birinci fəsildə obyektlərin xətti və bucaq yerdəyişməsi haqqında faydalı informasiya ilə təmin edən, bu informasiyanın tələb olunan dəqiqliyini və stabilliyini əldə etməyə imkan verən diferensial pyeoelektrik çeviricilərin (DPEÇ) layihələndirilməsi məsələlərinin nəzəri əsaslandırılmasınının nəticələri şərh edilmişdir. Belə ki, bu çeviricilərin qüvvəötürmə qovşaqlarınınin tərtibat forması əsaslandırılmış, çeviricilərin qeyri – elektrik giriş və elektrik çıxış parametrləri arasındakı funksional asılılıqlar müəyyən edilmişdir.

DPEÇ-in tipik nümunələrindən biri olan sferik formalı pyeoelektrik elementin struktur sxemi verilmiş və aşağıdakılardan ibarətdir (şək.1): sferik formalı pyeoelektrik həssas elementdən (1),



Şək. 1. DPEÇ-in tipik nümunələrindən biri olan sferik formalı pyeoelektrik elementin struktur sxemi

silindrik yaydan (3) və ştoklardan (4), onlar arasındakı yönəldici dayaqlardan (2), konusvari sonluqlarına birləşdirilmiş kürələrdən (5), oymaqların oturacağına birləşdirilmiş dəyişən profili tutqaqlardan (6), fiksasiya qaykalarından (7), ştokları özündə asma prinsipi ilə saxlayan çiyindən (8), vericinin konstruktiv oxundan (9), səthində

eksentristin formasının (11) açıldığı vericinin ön gövdəsindən (10), vericinin oxunun onun ön gövdəsinə sıxılmağını təmin edən silindrik yaydan (12) və vericinin qapağından (13) ibarətdir.

Mexaniki parametrin ölçülməsi verici oxu vasitəsi ilə hərəkətli obyektə birləşdirilir. Bu ox vasitəsi ilə dönmə hərəkəti çiyini vasitəsilə oymaqlar verilir və oymaqlar daxilində yerləşdirilmiş pyezoelektrik həssas elementi (PHE), ştok və ucundakı kürəciyi ilə gövdəyə nəzərən eksentristetinin daxili profili boyunca dairəvi hərəkət edir. Bu zaman çiyinlərdəki pyezohəssas elementlərdən biri sıxılmaya, digəri isə boşalmaya işləyərək, çıxışların uyğun olaraq, müxtəlif qütblü elektrik gərginliyi siqnallarını yaradır.

DPEÇ-də yerdəyişmələrin siqnala çevrilmə ardıcılığı aşağıdakı kimi xarakterizə olunur:

$$X_n \rightarrow X_p \rightarrow \varphi_p \rightarrow F_{np} \rightarrow X_s \rightarrow \varphi_s \rightarrow U_c, \quad (1)$$

Eyni zamanda I fəsildə obyektlərin xətti və bucaq yerdəyişməsini ölçmək üçün pyezoelektrik çeviricilərin statik parametrlərinin seçilməsinə baxılmış və DPEÇ layihələndirilərkən stasionar və qeyri –stasionar idarəetmə obyektlərinin yerdəyişmə parametrlərinin ölçülməsi üçün əsas meyarlar müəyyən edilmişdir.

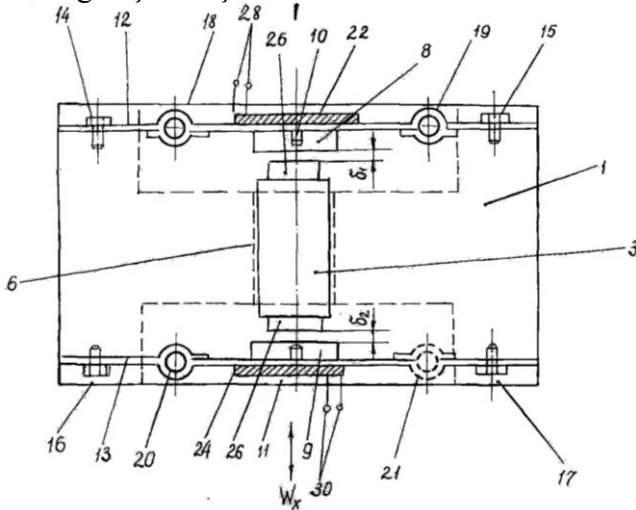
II fəsildə DPEÇ-in yeni variantlarının, o cümlədən analoq çıxışlı yeni, vibrasiyalı, həssas elementləri diferensial sxemlə qoşulmuş akselerometrə konstruktiv xüsusiyyətləri təhlil edilmiş, həssaslığının yüksəldilməsinin konstruktiv əsasları müəyyən edilmişdir [1-8, 14].

Yeniliyi və üstünlükləri müəlliflik şəhadətnaməsi ilə təsdiq olunmuş konstruktiv variantlardan birində ətalətli cisimlərin I və II düz səthli metal yaylarla bərkidilmə nöqtələri bir–birinə əks istiqamətli yerləşdirilmişlər [3].

Nisbi xətti təcil yarandıqda, bu ətalətli cisimlərdən biri həyəcanlandırıcıdan uzaqlaşaraq başlanğıc hava aralığını artırır, digər cisim isə həyəcanlandırıcıya yaxınlaşır və hava aralığını kiçildir. Bu metallik yay və pyezoelementlərin əyilməsini əmələ gətirir, onların elektrodlarında yaranan və nisbi təcilə mütənəsb olan analoq siqnalı da dəyişməyə məcbur edir. Bu hal ətalətli cisim və pyezoelektrik

elementlər arasındakı mexaniki əlaqə hesabına düz səthli metal qat vasitəsilə mexaniki rəqslərin amplitudunu və onunla birbaşa əlaqəli olan həssaslığı artırmağa imkan verir (şək.2).

Yeni tipli PEÇ variantları sabit gərginlik formalı analoq çıxışa malik olub mikroyerdəyişmələrdə təcili $\pm(10^{-5} g \div 15g)$ aralığında və nisbətən böyük qiymətli diapazonda $\pm(0,01g \div 300g)$ ölçə bilər. Layihələndirilmiş yeni DPEÇ variantlarından olan akselometrlerin, məlum analoqları ilə müqayisədə, həssaslıqları nisbətən yüksək, ölçmə diapazonu geniş olmuşdur.



Şək. 2. Vibrasiyalı DPEÇ-in prinsiplial konstruktiv sxemi. 1-gövddə; 2,3-çeviricinin hissələri; 4,5-deşiklər; 6-mərkəsi deşik; 7- həyəcanlandırıcı; δ hava aralığı; 8, 9- identik ətalətli cisimlər; 14, 15, 16, 17-birləşdirmə deşikləri; 12 13- yastı metal yaylar; 18, 19, 20, 21- silindrik formalı metal yaylar; 22, 23, 24, 25- pyezoelektrik elementlər; 26-içlik; 27, 28, 29, 30, 31 -elektriki çıxışları;

Bunlara, periodik qidalanma gərginliyinin təsiri altında rəqş edən ətalətli kütlənin kinetik enerjisindən istifadə olunmaqla nail olunmuşdur. Həmçinin, ardıcıl qoşulma diferensial sxem hesabına additiv xətalari da ardıcıl aradan qaldırılmışdır.

DPEÇ-in çıxış siqnalının rəqəmli emalı alqoritmləri

hazırlanmış və yığıcının işləmə alqoritmi aşağıdakı fərqlər tənliyi ilə müəyyən edilmişdir:

$$N_{\Omega}[n+1] = N_{\Omega}[n] + N_S[n] \quad (2)$$

burada, $N_{\Omega}[n]$ - registrin takt siqnalının $[n+1]$ -ci impulsunun daxil olma anı qarşısındakı çıxış kodu.

DPEÇ-in çıxış siqnalının rəqəmli emal alqoritmləri (REA) tərtib olunmasında əsas məqsədi: 1) yalnız bir çeviricidən istifadə etməklə hərəkət edən obyektin vəziyyətini, sürət və təcilini müəyyən etmək mümkün olsun; 2) rəqəmli emal alqoritmləri elə tərtib olunmalıdır ki, əlavə metodiki xəta yaranmasın.

İşlənmiş rəqəmli emal alqoritmlərinə görə, hərəkətli obyektin dönmə bucağının, bucaq sürətinin və bucaq təcilinin rəqəmli kodları uyğun olaraq :

$$N_{\theta} = f_0 \frac{\theta}{\omega_R} \quad ; \quad N_{\Omega} = K_N \frac{\Omega}{\omega_R} \quad ; \quad N_{\varepsilon} \approx \frac{2\pi}{\omega_R} \varepsilon \quad (3)$$

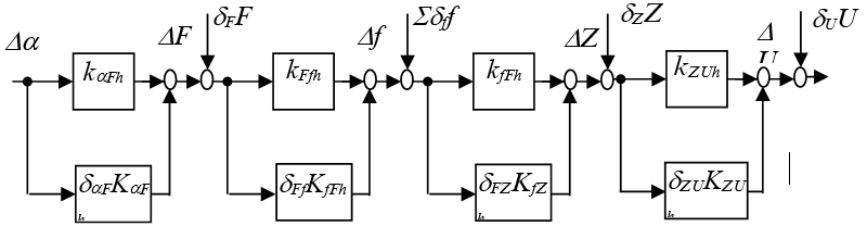
ifadələrinə uyğun formalaşmalıdır.

Burada ω_R – trigger prinsipli REA-nın takt tezliyi, yaxud sinxronizasiya tezliyidir : DPEÇ-in rezonans tezliyindən asılı olaraq müəyyən edilir - $\omega_R = 2KN\pi f_0$; K - hesabi mütənəsiblik əmsalı, N -kodlaşdırma əmsalı; f_0 –DPEÇ-in rezonans tezliyi; θ , Ω , ε –uyğun olaraq, hərəkətli obyektin dönmə bucağı, bucaq sürəti və təcildir.

Üçüncü fəsilə rezonans tipli DPEÇ-in çıxış siqnalının xəttliliyini təmin etmək üçün həssas elementləri ardıcıl qoşulmuş diferensial körpü sxeminin zəruriliyi əsaslandırılmışdır. Yaradılmış DPEÇ-in giriş-çıxış parametrlərinin arasındakı funksional asılılığı müəyyən edən analitik ifadə əldə edilərək, statik xarakteristikalar (SX) qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, o, keyfiyyət əmsalının sabit qalması şərti ilə rezonans tezliyi ətrafında xəttlidir, həssas elementlər qoşulmuş ardıcıl diferensial körpü sxemi əsasında DPEÇ-in statik xətlərinin analitik ifadəsi müəyyən edilmiş, qəbul edilmiş şərtlər daxilində statik xətanın azaldılması yolları göstərilmişdir.

DPEÇ-in başlanğıc vəziyyətinin şərtinə görə diferensial qoşulmuş hər iki PHE eyni qüvvə ilə sıxılmış və dönmə bucağının çıxış gərginliyinə çevrilməsi ardıcılığı şəkl.3-də olan sxem üzrə baş

verir. Burada: α -PEÇ-in ölçdüyü dönmə bucağı; ΔF -PHE-nin sıxma qüvvəsinin dəyişməsi; Δf - PHE-nin rezonans tezliyindən sürüşməsi; $\Delta Z(j\omega)$ -PHE-nin reaktiv xarakterli olan müqavimət dəyişməsi; $U_{\text{Ç}}$ - körpü sxeminin çıxış gərginliyi, $K_{\alpha\Delta F}$ - «dönmə bucağı- qüvvə dəyişməsi» çevrilməsinin, $K_{\Delta Ff}$ -«qüvvə dəyişməsi-tezlik sürüşməsi» çevrilməsinin, $K_{f\Delta Z}$ -«tezlik sürüşməsi-müqavimət dəyişməsi» çevrilməsinin və $K_{\Delta ZU}$ -«müqavimət dəyişməsi gərginlik dəyişməsi çevrilməsinin çevrilmə əmsallarıdır.



Şək.3 DPEÇ-in ölçmə xətlərinin formalaşdırılmasının struktur sxemi

Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, yalnız keyfiyyət əmsalanın sabit qalması şərti ilə diferensial PEÇ-in SX-sı xəttidir, əks halda qeyri-xətti olub, rezonans xarakterlidir

Ardıcıl diferensial körpü sxemilə qoşulmuş PEÇ-in statik xətlərinin analitik ifadəsi müəyyən edilmiş, qəbul edilmiş şərtlər daxilində statik xətanın minimizasiyası həll edilmişdir. Statik xətlər yalnız alət və qərarlaşmış xətlərin təyin edilməsi istiqamətində tədqiq edilmişdir. Xətlərin təyini edilməsi aşağıdakı şərtlər daxilində aparılmışdır:

1. Xətlər xətti qanunla dəyişir:

$$A_d = A_h (1 + \delta_n) \quad (4)$$

δ_A - A parametrinin nisbi xəta əmsalıdır.

2. Nisbi xəta sonsuz kiçik parametr kimi qəbul edilmişdir:

$$\prod_{i=1}^n \delta_i = 0; \quad n \geq 2 \quad (5)$$

Dönmə bucağı ölçülərkən çıxış gərginliyinin çevrilməsinin

struktur sxemində göstərilən alət xətaları :

$$y = k \cdot \gamma = K_h(1 + \delta_k) \cdot x \quad (6)$$

ifadəsinə, qərarlaşmış xətlər isə giriş siqnalının çevrilməsindən asılı olmayaraq təyin edilir:

$$y = y_d + \delta_y y_d = y_d(1 + \delta_y) \quad (7)$$

(4)-(7) ifadələrində $K_{\alpha Fh}, K_{Ffh}, K_{fzh}$ və K_{uzh} - uyğun çevrilmənin hesabi qiymətləri; $\delta_{\alpha Fh}, \delta_{Ffh}, \delta_{fzh}, \delta_{zuh}$ - uyğun çevrilmə xətası ; $\delta_f; \delta_z; \delta_F$ və δ_U - müvafiq çıxış siqnalının ətraf mühitin təsirindən yaranan nisbi xətasıdır. Struktur sxem əsasında aparılmış riyazi əməliyyatlardan çeviricinin çıxış siqnalının ifadəsi müəyyən edilmişdir:

$$\Delta U = \Delta U_n(\alpha) \left[1 + (\delta_{\alpha F} + \delta_{Ff} + \delta_{fz} + \delta_{ZU}) + (\delta_f + \delta_z + \delta_F + \delta_U) \right] \quad (8)$$

Burada:

$$\Delta U_n(\alpha) = K_{\alpha Fh} \cdot K_{Ffh} \cdot K_{fzn} \cdot K_{ZUh} \cdot \Delta \alpha \quad (9)$$

çıkış gərginliyinin hesabi qiymətidir.

Xətanın buraxıla bilən minimumu üçün aşağıdakı kriteriya müəyyən edilmişdir : çevirici qoşulmuş körpü müvazinətdə olarsa, onun həssas elementinin müqavimətinin körpünün mənsub olduğu dəqiqlik sinfinə uyğun meyletməsi, zamanı çıxış gərginliyi qiymətcə bu meyletmədən böyük olan $\delta_U \Delta U$ siqnalını müəyyən etmək məqsədlə çeviricinin körpü sxeminin parametrlərinin minimizasiyası aparılmışdır. Xətlərin minimizasiyası aparılarkən aşağıdakı şərtlər qəbul olunmuşdur. qida mənbəyinin daxili müqavimətinin sonsuz kiçik : $R_d=0$; yük müqavimətinin, sonsuz böyük: $Z_{yuk} \rightarrow \infty$; müqavimətlərin körpünün birinci çiyinə nəzərən nisbi qiymətləri tam ədədlərdir: $m = Z_2 / Z_{10}$; $n = Z_3 / Z_{10}$; müqavimətlərdən keçən cərəyanların maksimal qiymətləri səpələnmə gücü qiymətlərindən çox deyil: $I^2 Z_i \leq P_{sp}$. Müəyyən edilmişdir ki, qəbul edilmiş bu şərtlər daxilində həssaslığın maksimal qiyməti qidalanma

gərginliyinin dördüdə birinə bərabər olmalıdır.

DPEÇ-in statik xarakteristikası (SX) üçün alınmış ifadə aşağıdakı kimidir:

$$U = 0.25U_0 \left[1 - \sqrt{\frac{1 + Q_\alpha^2 (1 - Q_\alpha \Delta\alpha)^2 (Q_\alpha \Delta\alpha)^2}{\left(1 + \frac{ES}{ES - Q_\alpha \Delta\alpha}\right)^2}} \right], \quad (10)$$

$$Q_\alpha = \frac{\nu k_y r}{ES \sin\varphi}.$$

Burada U_0 - pyezohəssas elementlərin qoşulduğu körpü sxeminin qidalanma gərginliyi; Q_0 - pyezohəssas elementin yaxşılıq əmsalı; E - pyezohəssas element üçün Yunq modulu; S - pyezohəssas elementin aktiv sahəsi ($S = ab$, a , b - uyğun olaraq, uzunluq və en ölçmələri); φ - vericinin konstruksiyasında tətbiq edilən eksentritetin maillik bucağı; ν - Puasson əmsalı; k_y - konstruksiya ilə müəyyən edilən dönmə bucağı- xətti yerdəyişmə ötürməsinin ötürmə ədədi; r - konstruksiya ilə müəyyən edilən və prezohəssas elementin oxu ilə vericinin əsas oxu arasındakı məsafə; $\Delta\alpha$ - ölçülən dönmə bucağıdır.

Konstruktiv və dönmə bucağının özünün xəталarının vericinin SX-a təsirini tədqiq etmək məqsədi ilə, PHE-nin ölçüləri olan a və b , onun oxu ilə vericinin simmetriya (əsas) oxu arasındakı məsafəni bildiren r və ölçülən $\Delta\alpha$ dönmə bucağını xətalarla ifadələri: $r = r_0 + \Delta r$; $a = a_0 + \Delta a$; $b = b_0 + \Delta b$; $\Delta\alpha = \Delta\alpha_0 + \Delta\alpha$; kimi yazılmış və çıxış gərginliyi üçün :

$$\Delta U = f(a_0, b_0, r_0, \Delta\alpha_0, \Delta a, \Delta b, \Delta r, \Delta\alpha) \quad (11)$$

funksional aslılığının riyazi ifadəsi alınmışdır [17]:

$$\Delta u = 1 - \sqrt{\frac{1 + Q_0^2 (C_0)^2 (1 + \delta_r + \delta_\alpha)^2 \left(2 - D_0 \frac{1 + \delta_r + \delta_\alpha}{1 + \delta_a + \delta_b}\right)^2}{1 + Q_0^2 (C_0)^2 (2 - D_0)^2}}. \quad (12)$$

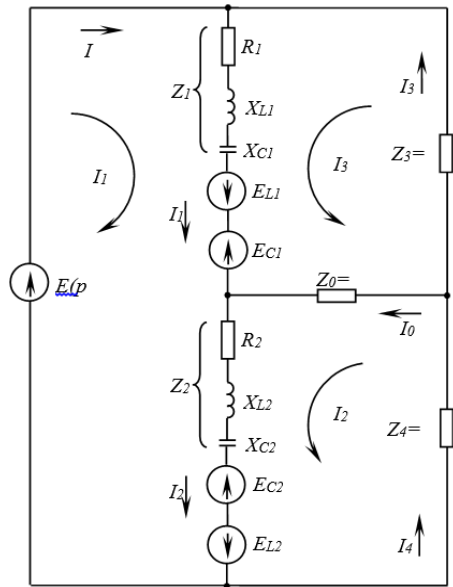
(11), (12.) ifadələrində: $a_0, b_0, r_0, \Delta\alpha_0$ -uyğun olaraq, eyniadlı parametrlərin hesabi qiymətləri; $\Delta a, \Delta b, \Delta r, \Delta\alpha$ uyğun olaraq həmin parametrlərin məlum olan xətaları ($\Delta a = a_0\delta_a$; $\Delta b = b_0\delta_b$; $\Delta r = r_0\delta_r$; $\Delta\alpha = \Delta\alpha\delta_\alpha$); ΔU - vericinin çıxış gərginliyinin xətası və:

$$C_0 = \frac{vk_y r_0}{\sin\varphi} r_0 \Delta\alpha_0, D_0 = \frac{vk_y}{E \sin\varphi} r_0 \Delta\alpha_0.$$

MATLAB Simulink proqram paketində (12) ifadəsi modelləşdirilmiş və nümunəvi hesabat məqsədi ilə aşağıdakı verilənlərdən istifadə edilmişdir : $U_0=12V$; $Q_0=12$; $E=767$; $a=0.02 m$; $b=0.015 m$; $\varphi=8^\circ$; $\nu=0.34$; $k_y=0.45$; $r=0.12 m$; $\Delta\alpha=(0-360)$; $\delta_a=0.002$; $\delta_b=0.003$; $\delta_r=0.025$; $\delta_\alpha=0.032$.

Simulyasiyanın nəticəsi olaraq, müəyyən edilmişdir ki, $0-360^\circ$ ölçmə diapazonunda, statik xəta diapazonun kənarlarında $0.5-0.6\%$, orta hissəsində isə $0.08-0.1\%$ təşkil edir.

IV fəsildə pyozehəssas elementər ardıcıl qoşulmuş rezonans tipli diferensial körpü sxemli PEÇ-in dinamik xüsusiyyətlərini tədqiq etmək məqsədi ilə elektrik sxemində operator hesabı üsulu tətbiq edilərək, körpünün əvəzetmə sxemi qurulmuşdur (şək.4). Kontur cərəyanları üsulundan istifadə edilərək yük cərəyanının təsviri tapılmış, alınma



Şək.4. DPEÇ-in operator əvəzetmə sxemi

ifadələr əsasında kompüter tədqiqatı aparılaraq körpü sisteminin keçid prosesləri tədqiq edilmişdir.

Aralıq riyazi çevirmələrdən sonra yük cərəyanının təsviri :

$$I_0(p) = \frac{\Delta_2 - \Delta_3}{\Delta} = E_{11} \frac{a_1 s^3 + b_1 s^2 + c_1 s}{as^4 + bs^3 + cs^2 + ds + e} + E_{22} \frac{a_2 s^3 + b_2 s^2 + c_2 s}{as^4 + bs^3 + cs^2 + ds + e} - E_{33} \frac{a_3 s^3 + b_3 s^2 + c_3 s}{as^4 + bs^3 + cs^2 + ds + e} \quad (9)$$

Burada, sonuncu ifadəyə daxil olan əmsallar aşağıdakı kimi hesablanır.

$$\begin{cases} a_1 = 2R_0(L_1 C_1 C_2 - L_2 C_1 C_2) + R_4 L_1 C_1 C_2 - R_3 L_2 C_1 C_2 \\ b_1 = 2R_0(R_1 C_1 C_2 - R_2 C_1 C_2) + R_4 R_1 C_1 C_2 - R_3 R_2 C_1 C_2 \\ c_1 = 2R_0(C_2 - C_1) + R_4 C_2 - R_3 C_1 \end{cases} ;$$

$$\begin{cases} a = (4R_0 + R_3 + R_4) L_1 L_2 C_1 C_2 \\ b = (4R_0 + R_3 + R_4) (L_1 C_1 C_2 R_2 + L_2 C_1 C_2 R_1) + \\ + [(R_3 + R_4) R_0 + R_3 R_4] (L_1 C_1 C_2 + L_2 C_1 C_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_3 = (2R_0 + R_4) (L_1 C_1 C_2 + L_2 C_1 C_2) \\ b_3 = (2R_0 + R_4) (R_1 C_1 C_2 + R_2 C_1 C_2) \\ c_3 = (2R_0 + R_4) (C_2 + C_1) \end{cases} ;$$

$$\begin{cases} c = 4(R_0 + R_3 + R_4) (L_1 C_1 + L_2 C_2 + C_1 C_2 R_1 R_2) + \\ + [(R_3 + R_4) R_0 + R_3 R_4] (R_1 C_1 C_2 + R_2 C_1 C_2) \\ d = 4(R_0 + R_3 + R_4) (R_1 C_1 + R_2 C_2) + \\ + [(R_3 + R_4) R_0 + R_3 R_4] (C_1 + C_2) \\ e = 4(R_0 + R_3 + R_4) \end{cases} \quad (13)$$

$$E_p = E_0 \omega / (s^2 + \omega^2); E_{L1} = LI_1(0_-); E_{L2} = LI_2(0_-);$$

$$E_{C1} = UC_1(0_-)/s; E_{C2} = UC_2(0)/s$$

Konkret halda sistemin ədədi hesabı nəzəri nəticələrdən istifadə olunaraq, aşağıdakı verilənlər əsasında aparılmışdır:

$$\begin{aligned}
 R_0 &= 5 \cdot 10^6 \text{ Om}; R_1 = 7 \cdot 10^6 \text{ Om}; R_2 = 5 \cdot 10^6 \text{ Om}; \\
 R_3 &= 11 \cdot 10^6 \text{ Om}; R_4 = 8 \cdot 10^6 \text{ Om}; C_1 = 16 \cdot 10^{-9} \text{ F}; \\
 C_2 &= 46 \cdot 10^{-9} \text{ F}; L_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Hn}; L_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Hn}; \\
 E_0 &= 15 \text{ V}, LI_1(0_-) = 8 \text{ V}; LI_2(0_-) = 10 \text{ V}; U_{C1}(0) = 3 \text{ V}; \\
 U_{C2}(0_-) &= 5 \text{ V}; f = 2 \cdot 10^5 \text{ Hz};
 \end{aligned}$$

(14)

(14) ifadəsinin əmsalları üçün aşağıdakı qiymətlər qəbul edilmişdir:

$$\begin{cases}
 a = 4.4 \cdot 10^{-24}; b = 3.8 \cdot 10^{-13}; c = 41 \cdot 10^{-4}; d = 6.6 \cdot 10^{-5} \\
 a_1 = 8.8 \cdot 10^{-12}; b_1 = 2.2 \cdot 10^{-3}; c_1 = 4.9 \cdot 10^{-4}; a_2 = 7.7 \cdot 10^{-13}; \\
 b_2 = 1.8 \cdot 10^{-5}; c_2 = 1.3; a_3 = 6.6 \cdot 10^{-13}; b_3 = 1.5 \cdot 10^{-5}; c_3 = 1.1
 \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 E_{11} = E_0 \omega / (p^2 + \omega^2) + 18 - 8/p \\
 E_{22} = 5/p - 10 \\
 E_{33} = 8 - 3/p
 \end{cases}$$

(15)

Körpü sxeminin yük cərəyanının təsvirinin ifadəsi, aşağıdakı kimi yazılır:

$$\begin{aligned}
 I_0(s) &= \left[E_0 \omega / (s^2 + \omega^2) + 18 - 8/s \right] \times \\
 &\times \left[-\frac{1.009}{0.559s + 1} + \frac{0.96}{0.073s + 1} + \frac{0.049}{0.004s + 1} \right] + \\
 &+ (5/s - 10) \left[-\frac{216.3}{0.559s + 1} + \frac{212.8}{0.073s + 1} + \frac{3.53}{0.004s + 1} \right] + \\
 &+ (8 - 3/s) \left[-\frac{1.99}{0.559s + 1} - \frac{2.56}{0.073s + 1} + \frac{4.56}{0.004s + 1} \right]
 \end{aligned}$$

(16)

Aparılmış ədədi hesablamalar nəticəsində yük cərəyanının orijinalının ifadəsi tapılaraq keçid prosesləri qurulmuşdur və

müəyyən edilmişdir ki, DPEÇ-in çıxış cərəyanı periodik qanunla dəyişir və dinamiki həssaslığın maksimal qiymətə çatma müddətində təqribən xəttidir (24,2A/san), qərarlaşma müddəti 1,9-2,2 m.san.-dir.

DPEÇ stabil dinamik həssaslığa malik, nisbətən genişləndirilmiş ölçmə diapazonunu ilə təmin edilmişdir. Bu məqsədlə “qidalanma gərginliyi-çixış gərginliyi” modeli üçün ötürmə funksiyasının ifadəsinin alınmış, xarakteristik tənlik normallaşdırılmış və aktiv ikitərtibli süzgəcin tətbiqi ilə ölçmə diapazonu rezonans tezliyi ətrafındakı qeyri-stabil zonadan ayrılmışdır [16].

PHE-nin əvəzetmə sxeminin parametrləri üçün riyazi ifadələr məlumdur:

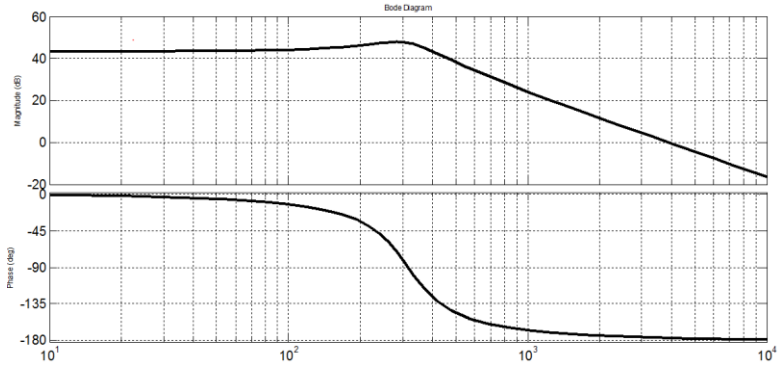
$$C = \frac{8\pi r^2}{(n\pi)^2} \frac{(d_{13})^2}{S_{33}^E} \frac{1}{h}; \quad R = \rho \frac{(n\pi)^2}{8\pi r^2} \frac{(S_{33}^E)^2}{(d_{13})^2} h_0; \quad C_k = (\varepsilon_{11})^5 \pi r^2 \frac{1}{h};$$

Burada : r , h - PHE-nin uyğun olaraq, qalınlığı və radiusu; ρ - saxlığı; n - mod sıra sayı; S_{33}^E - elastiki yumşaqılıq əmsalı; d_{13} - pyezomoduldur. Sorğu ədəbiyyatından seçilmiş: $\rho=2686 \text{ kg/m}^3$; $r=0.004 \text{ m}$; $p=1$; $S_{33}^E=12,77 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$; $d_{13}=2,31 \cdot 10^{-12} \text{ K/V}$ verilənləri əsasında h və r -ə görə tənlik kimi həll edilmiş və alınan həllər çoxluğundan müsbət işarəli həqiqi qiymətlər seçilmişdir: $r=0.00421 \text{ m}$; $h_1=0.002131 \text{ m}$; $h_2=0.002122 \text{ m}$.

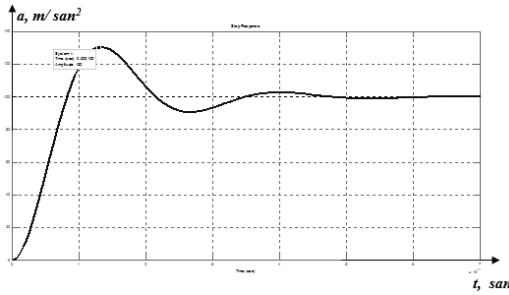
Beləliklə, fiziki xassələrinə görə seçilmiş pyezoelektrik materialdan hazırlanan həssas elementlər silindirik formada olmalı, radiusu təqribən $r=4.21 \text{ mm}$; *qalınlığı* $h=2.131 \text{ mm}$. Ölçmə prosesində sıxılmadan alınan deformasiya : $\Delta h=0.002131-0.002122=0.000009 \text{ m}$ (9 mkm) Bu zaman stabil dinamik həssaslıqlı ölçmə diapazonu : $f_{\text{öa}}=0-1600 \text{ Hz}$.. Süzgəcin ÖF:

$$W(s)_S = \frac{K}{s(2RC_1C_2s + (C_1 - C_2)) (2T^2s^2 + 2\varepsilon_{to}Ts + 1)} \quad (17)$$

Loqarifmik-amplitud-faz-tezlik xarakteristikası və keçid prosesinin qrafiki Şəkl.5 və 6-da göstərilmişdir.



Şək. 5 Xarakteristik tənliyi normallaşdırılmış və aktiv ikitərtibli süzgeclə təmin edilmiş DPEÇ-in loqarifmik-amplitud-faz-tezlik xarakteristikaları



Şək.6.DPEÇ-in keçid prosesinin (çıxış gərginliyinin qərarlaşması) qrafiki

Müyyən edilmişdir ki, əldə edilmiş riyazi ifadələr diferensial pyezoelektrik çeviricilərin həssas elementlərinin materialı seçimi, fiziki texniki xassələri, həndəsi ölçüləri əsasında, onların ötürmə funksiyalarının əmsallarının normallaşdırılmasını və tezlik oblastında stabil dinamik həssaslığa malik ölçmə diapazonununun tənzimlənməsini təmin edir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri

1. DPEÇ –in həssaslığının və dəqiqliyinin yüksəldilməsini təmin edən yeni konstruktiv həll variantları təklif edilmişdir. Yeni konstruksiyalı çeviricilər müəlliflik şəhadətnaməsi ilə təsdiq edilmişdir.
2. DPEÇ-in həssas elementlərinin körpü ölçmə sxemində yerləşdirilməsi məsələsi həll edilmişdir. Belə ki, çeviricinin çıxış signalının xəttliliyini təmin etmək üçün ardıcıl diferensial körpü sxeminin zəruriliyi əsaslandırılmışdır.
3. DPEÇ-in giriş -çıkış parametrlərinin arasındakı funksional asılılığı müəyyən edən analitik ifadələr əldə edilmiş, onun statik xarakteristikaları qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, xarakteristika yalnız pyezohəssas elementin keyfiyyət əmsalının sabit qalması şərtilə, rezonans tezliyi ətrafında xəttidir.
4. Həssas elementləri ardıcıl diferensial körpü sxemi ilə qoşulmuş DPEÇ-in statik xətlərinin analitik ifadəsi müəyyən edilmiş, qəbul edilmiş şərtlər daxilində statik xətanın minimizasiyası həll edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, həssaslığın maksimal qiyməti qidalanma gərginliyinin dördəbir misindən çox deyil.
5. DPEÇ ilə obyektin hərəkət parametrlərinin (dönmə bucağı, bucaq sürəti və təcili) təyin edilməsi məqsədi ilə çıxış signalının rəqəm emalı qovşaqlarının alqoritmləri tərtib edilmişdir. Alqoritmlər trigger prinsipi ilə tərtib edilidiyi üçün metodiki və emal xətlərinin yaranmasının qarşısı alınmışdır.
6. Həssas elementləri ardıcıl diferensial körpü sxemi ilə qoşulmuş, rezonans tipli DPEÇ-in başlağıc şərtlərin sıfırdan fərqli halında dinamik xüsusiyyətlərini tədqiq etmək məqsədi ilə elektrik dövrələrinin operator hesabı üsulu tətbiq edilərək, əvəzetmə sxemi qurulmuş, alınmış ifadələr əsasında kompüter tədqiqatı aparılaraq keçid prosesləri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, DPEÇ-in çıxış cərəyanının qərarlaşma müddəti 1,9-2,2 *m.san.* -dir.
7. DPEÇ-in keçid prosesinin pyezoelementin fiziki parametrlərindən asılı olaraq, texniki optimuma sazlanmasını təmin edən riyazi ifadələr alınmışdır

8. Müəyyən edilmişdir ki, DPEÇ-in tezlik oblastında stabil dinamik həssaslığa malik ölçmə diapazonunu həssas elementlərin fiziki-texniki və həndəsi parametrləri vasitəsi ilə tənzimləmək mümkündür.

Dissertasiya işi üzrə çap edilmiş elmi əsərlərin siyahısı

1. Гурбанов Т.Б., Ибрагимов Ф.О., Давришова И.Н. Схема измерения дифференциального преобразователя статических и медленноменяющихся усилий в частоту электрических с непрерывной выдачей информации в цифровом виде . Респ. Научн. Конф. «Первичные преобразователи неэлектрических величин в цифровые коды .» Баку, 1990 . – с.39-42
2. Гурбанов Т.Б., Имрани С.Г. Давришова И.Н. Алиев А.С. Электрическая схема измерения для дифференциальных преобразователей неэлектрических величин с аналоговым электрическим выходом. ГАСНТИ 9. 29. 17., Баку, 1990. – с.3-6.
3. Гурбанов Т.Б., Мамедов Т. М., Давришова И. Н., Ибрагимов Ф.О. Линейный акселерометр. Авт свид. №1788614. Москва, 1992. – 4с.
4. Гурбанов Т.Б., Мамедов Т. М., Давришова И. Н., Ибрагимов Ф.О. Линейный акселерометр. Авт свид. №1812504. Москва, 1992 . - 3 с.
5. Давришова И. Н. Измерение угла поворота с использованием биморфных пьезоэлектрических элементов. АзТУ, Баку, 1992. – с.26-30.
6. Dəvrişova İ.N. Optik tipli lazer vibratorunun tədqiqi. «AzTU-nun aspirant və gənc tədqiqatçıların elmi-texniki konfransının məruzə materalları» . I hissə Bakı: 2004. – с. 155-158.
7. Dəvrişova İ.N. Xəritə-planşet şəklində informasiya daşıyıcısının hərəkət etdirmə qurğusu. Azərbaycan Təhsil Cəmiyyəti. «Elmi-Texniki İnformasiya Bülleteni». №4- 6. Bakı, 2004. – с.101-104.
8. Dəvrişova İ.N. Obyektin zahiri təcilini ölçən pyezelektrik rəqsedic i akselerometr. Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri. XIII cild, №4, Bakı, 2004. s.75-77.
9. Dəvrişova İ.N. Rəqəmli pyezelektrik vericisinin statik modeli. AzTU-nun elmi əsərləri. №2. Bakı. AzTU, 2005. – с.50-53
10. Dəvrişova İ.N., Nemətov V.A., Məmmədov Ə.T. Pyezelektrik vericilərin funksional tərkibinin əsas parametrlərinin texniki optimuma

sazlanması. Professor-müəllim heyətinin və aspirantların Azərbaycan Texniki Universitetinin 55 illiyinə həsr olunmuş elmi konfransın materialları. Bakı, 2005. – c. 72-74.

11. Qurbanov T.B., Dəmirova V.N., Dəvrişova İ.N., Həzərhanov Ə.T., Kərimli T.İ. Diferensial pyezoelektrik çeviriciləri. Az. EA-nın xəbərləri. fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya. cild XXVI, №5. Bakı: «ELM», 2006. – c.181-185.
12. Гурбанов Т.Б., Давришова И.Н. О непрерывном преобразовании угла поворота диска с дифференциальным датчиком новой конструкции //Техника и технология, № 6, Москва, 2009. – с.16-20.
13. Qurbanov T.B., Dəvrişova İ.N., Kərimli T.İ. Pyezoelementlərin keyfiyyət əmsalının və elektrik birləşmə sxeminin diferensial çeviricilərin statik xarakteristikalarına təsirinin tədqiqi //MAA, Bakı. 2009.– c.82-85.
14. Dəvrişova İ.N., Neymətov V.A., Y.B. Musayev Şaquli koordinat sistemli ikikoordinatlı Pyezoelektrik intiqalın elektromexaniki xüsusiyyətləri. AzTU-nun professor müəllim heyətinin və aspirantların 54-cü ET və TM konfransı. 2-ci hissə. Bakı.2009. – c.130-132.
15. Dəvrişova İ.N., V.A. Nemətov, S. Nəcəfova Elektrik dövrlərinin optimal iş rejimlərinin kompüter modellərinin təhlili. AzTU-nun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş təhsildə və elmdə İnformasiya Texnologiyaları Respublika elmi-praktiki konfransının materialları. Bakı. 2010. – c.256-257.
16. Dəvrişova İ.N., V.A. Nemətov. Pyezoelektrik dönmə bucağı vericisinin dinamik xarakteristikalarının normalaşdırılması. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri. İnformasiya və idarəetmə problemləri. ISSN 2306-2177. Cild XXXVI №6, Bakı, 2016. s.97-103.
17. İ.N. Dəvrişova, V.A. Nemətov. Pyezoelektrik dönmə bucağı vericisinin xətalərinin tədqiqi. AzTU-nun elmi əsərləri. №1. Bakı: AzTU 2016. səh.

Dissertasiyanın müdafiəsi $\frac{26}{(gün)} \quad \frac{11}{(ay)} \quad \frac{2021}{(il)}$ il tarixində saat 14⁰⁰ _____Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED2.41 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 $\frac{26}{(gün)} \quad \frac{10}{(ay)} \quad \frac{2021}{(il)}$ zərurii ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 22.10.2021

Kağız formatı: A5

Həcm: 24

Tiraj: 100 nüsxə

