

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİN ÖLÇMƏ ÜSULU VƏ VASİTƏLƏRİ

İxtisas: 3337.01 - İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri

Elm sahəsi: Texnika elmləri

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru
elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

D İ S S E R T A S İ Y A

İddiaçı: _____ Çingiz Paşa oğlu Əliyev

Elmi rəhbər: _____ t.e.d., professor Tofiq Məhəmməd oğlu Mansurov

B A K İ - 2 0 2 3

M Ü N D Ə R İ C A T

GİRİŞ	4
I FƏSİL. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN TEXNİKİ VASİTƏLƏRİN TƏSNİFATI VƏ ANALİZİ	13
1.1. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin xüsusiyyətləri və inkişaf mərhələlərinin analizi	13
1.2. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin təsnifatı	15
1.3. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin təsnifatı və ölçmə xarakteristikaları.....	20
1.4. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik akselerometrlərin xarakteristikalarının analizi.....	22
1.5. Tədqiqatın məqsəd funksiyasının formalaşdırılması	27
1.6. Məsələnin qoyuluşu	30
II FƏSİL. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN TEXNİKİ VASİTƏLƏRİN İŞLƏNMƏSİ	33
2.1. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə sisteminin işlənməsi	33
2.2. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən vibrasiyalı pyezoelektrik akselerometrin işlənməsi	37
2.3. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini avtomatik rejimdə ölçən üç koordinatlı akselerometrin işlənməsi	49
2.4. İnformasiya-ölçmə kompleksinin modullararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi	58
III FƏSİL. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN AKSELEROMETRLƏRİN	

İŞÇİ ORQANININ PARAMETRLƏRİNİN ANALİTİK HESABAT METODU VƏ RİYAZİ MODELİNİN İŞLƏNMƏSİ.....	72
3.1. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan optik kommutatorunun parametrlərinin tədqiqi	72
3.2. Hərəkətdə olan obyektlərində dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan çoxkanallı optik kommutatorunun parametrlərinin tədqiqi.....	78
3.3. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin qurğulararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun riyazi modelinin işlənməsi	85
3.4. Üçkoordinatlı akselerometrin piezoelementinin mexaniki rəqslərinin amplitudalarının analitik hesabat metodu	87
IV FƏSİL. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTlərİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN AKSELEROMETRLƏRİN VƏ PREZİSİON MÖVQELƏŞDİRİCİ QURĞUSUNUN İŞÇİ ORQANININ EKSPERİMENTAL TƏDQIQI	108
4.1. Ölçmə nəticələrinin birmodlu veriliş üsulunda optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi.....	108
4.2. Ölçmə nəticələrinin çoxmodlu veriliş üsulunda optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun riyazi modelinin işlənməsi.....	109
4.3. İnformasiya-ölçmə kompleksinin modullararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqi	114
4.4. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqi..	117
4.5. Eksperimental tədqiqatın nəticələri	119
Nəticə	127
İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı	128
İxtisarlara və şərti işarələrin siyahısı	140

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hərəkətdə olan obyektlərin müxtəlifliyinin və sayının durmadan artması informasiya-ölçmə sistemlərinin (İÖS) işlənməsinin zəruri olduğunu ön plana çəkir. İÖS-ləri hərəkətdə olan müxtəlif növ obyektlərin dinamik parametrlərinin, yəni baxılan halda xətti təcil və sürətlərinin ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın qəbul edilməsini, çevrilməsini, emalını, yadda saxlanılmasını, ötürülməsini, operator tərəfindən qəbul edilməsini və (və ya) idarəetmə sisteminə daxil edilməsini təmin edən rəqəmli və ya optik rabitə kanalları ilə bir-birinə bağlı olan əsas və köməkçi qovşaqlardan ibarətdir. Ona görə də, İÖS mürəkkəb ölçmə kompleksi olmaqla, onun tərkibinə daxil olan qovşaqların işləmə proseslərinin idarə edilməsi məqsədi ilə müasir kompyuter texnologiyalarından geniş istifadə olunur [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 72, p.23-27].

Hərəkətdə olan obyektlərdə yaranan rəqsi proseslərin tədqiq edilməsinin aktuallığı texniki və texnoloji ölçmə qurğularının işlənməsi, sınaqdan keçirilməsi və istismarı ilə bağlı olub, bu tədqiqatların aparılması zamanı əsasən vibrometriyadan geniş istifadə olunur. Vibrometriya dedikdə hərəkətdə olan obyektlərin qovşaq və mexanizmlərindən ötürülən rəqsi proseslərin səviyyəsinin ölçülməsi prosesi başa düşülür [25, s.56-71; 26, s.137-149; 28, s.255-278]. Bununla yanaşı, yüksək texniki-iqtisadi səmərə əldə etməyə, baş verə biləcək nadir hadisələrin qarşısını almağa imkan verən, son dövrdə mürəkkəb texniki sistemlərin və texnoloji proseslərin avtomatik idarə edilməsini, vibronəzarət, monitoring və diaqnostika proseslərini yerinə yetirən İÖS-lərindən də geniş istifadə olunur. Bu cür sistemlərin əsas qovşağı vibrasiya (titrəmə) və zərbədən yaranan rəqslərin parametrlərinin vericiləridir ki, bunlar da bilavasitə ölçmə obyektində yerləşdirilməklə yaranan mexaniki rəqsləri elektrik siqnallarına çevirir və qeydedici qurğuya ötürür. Bütün növ vericilər arasında ən çox istifadə olunanları piezoelektrik vibrasiya (titrəmə) ölçən çeviricilər və ya akselerometrlərdir ki, bunlar da generator tipli vericilərə aid

olmaqla, vibrasiya və ya zərbənin sürətlərini bilavasitə onlara mütənasib elektrik siqnallarına çevirirlər [25, s.56-71; 26, s.137-149; 28, s.255-278].

Akselerometr elastik asqıya bərkidilmiş həssas kütləni təmsil edir və həssas kütlənin ilkin vəziyyətindən yerdəyişməsi təcilin olduğu halda onun qiyməti haqqında informasiya daşıyır. Akselerometrlər bir tərəfindən sərbəst qurğudur və onun tərkibinə hərəkəti gövdənin hərəkətindən geri qalan, ətalət kütləsi adlanan xüsusi bir element, elastik dəstək (yay) sistemi və dempferləyici (alm. Dämpfer «səsboğucu, amortizator» - qurğularda, sistemlərdə və ya konstruksiyalarda onların istismarı zamanı yaranan vibrasiyaları söndürmək və ya qarşısını almaq üçün qurğu) söndürmə qurğusu daxildir. Hərəkətdə olan obyektlərin təcil vericisinin strukturundan asılı olmayaraq, onun əsas məqsədi bu qurğunun gövdəsinə nisbətən həmin kütlənin yerdəyişməsini detektə etmək və onunla mütənasib elektrik siqnalına çevirməkdir. Buna görə də, akselerometrlərin başqa bir tərkib hissəsi vibrasiya nəticəsində yaranan rəqsi proseslərin çox kiçik amplitudlarını ölçməyə imkan verən yerdəyişmə detektorudur. Akselerometrin mexaniki rəqslərin təcillərinin qiymətlərinə uyğun çıxış siqnalı vibrasiya zamanı sürətinə və ya yerdəyişməsinə mütənasib olan elektrik siqnalına çevrilir [5, s.11; 14, s.154-163; 20, s.34-37; 21, s.33-35; 22, s.7-9].

Bununla əlaqədar hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın qəbul edilməsini, çevrilməsini, emalını, yadda saxlanılmasını, ötürülməsini, operator tərəfindən qəbul edilməsini və (və ya) idarəetmə sisteminə daxil edilməsini təmin edən İÖS-nin, avtomatik rejimdə akselerometrin həssaslığının, ölçmə dəqiqliyinin və doğruluğunun artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən, hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən akselerometrlərin və onların parametrlərinin analitik hesabat metodunun və işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi nəzəri və praktik aktuallığa malikdir.

Mövzunun işlənmə dərəcəsi. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsinə bir sıra elmi işlər və normativ-texniki sənədlər həsr olunmuş bir sıra elmi

işləri qeyd etmək lazımdır, lakin bunlar əsasən həmin obyektlərin sürətlərinin ölçülməsinə həsr olunmuşdur.

Hal-hazırda hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan İÖS-in, akselerometrlərin işlənməsi və tədqiqi ilə bağlı məsələlərə, yerli və xaricdə kifayət qədər çox elmi əsərlər həsr olunmuşdur. Burada Q.Çilikin, A.Paniçin, Q.Rannevin, N.Rubiçevin, Y.İorişin, A.Dmitriyevin, A.Yurinin, Q.Zlodeyevin, Y.Koptevin, V.Klyuyevin, Y.İorişin, S.Bazikin, V.Klyuyevin, N.Novukovun, V.Yançıçin, M.Narayanın, U.Lindemannın, A Hockin, M Stuberin, W.Keckin, C.Beckerin. S.Lakshminaryanın, V.Şarapovun, T.Mansurovun və başqalarının işlərini qeyd etmək lazımdır [5, s. 11; 25, s.56-71; 26, s.137-149; 28, s.255-278; 63, s. 235-270]. Bu işlərin əksəriyyətində həssaslıq vektorlarının istiqamətləri ölçülən ətalət qüvvələrinin istiqaməti ilə müxtəlif tərəflərə istiqamətləndiyi üçün kiçik həddə dəyişən xətti ətalətlərin və yalnız təcilin ölçülməsini həyata keçirir, lakin sürətin ölçülməsini isə təmin etmir.

Tədqiqat obyektı və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyektı real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlər, **tədqiqatın predmeti isə** həmin obyektlərin dinamik parametrlərini ölçmə üsulları və qurğularının riyazi modelləridir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin yüksək dəqiqliklə dinamik parametrlərinin ölçülməsini təmin edən xətti təcil və sürətlərinin ölçmə metodunun və vasitələrinin, yəni akselerometrlərin, onların işçi orqanlarının parametrlərinin analitik hesabat metodunun və riyazi modelinin işlənməsidir.

Dissertasiya işində qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı əsas məsələlər formalaşdırılmış və həll edilmişdir ki, bu formalaşdırılan bu məsələləri iki qrupa bölmək olar:

1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı

istifadə olunan İÖS-nin funksional modelinin və akselerometrlərin işlənməsi:

1.1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin işlənməsi ilə əlaqədar meyarların seçilməsi və məqsəd funksiyasının formalaşdırılması;

1.2. Real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan İÖS-nin struktur sxeminin işlənməsi;

1.3. Real zaman miqyasında avtomatik rejimdə akselerometrin həssaslığının artırılması və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrlərin işlənməsi;

2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən vasitələrin işçi orqanının parametr və xarakteristikalarının analitik hesabat metodu və riyazi modelinin işlənməsi:

2.1. Ötürülən optik şüa siqnallarının enerji effektivliyinin artırılmasına və itkisinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqeləşdirici qurğunun işlənməsi;

2.2. Real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin parametrlərini təyin edən akselerometrlərin və işçi orqanlarının riyazi model və parametrlərinin analitik hesabat metodunun işlənməsi;

2.3. Real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin işçi orqanının eksperimental tədqiqi.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlərin həlli zamanı tədqiqat metodu kimi ölçmə nəzəriyyəsi, informasiyanın emalı, riyazi modelləşdirmə, xətlər nəzəriyyəsi və eksperimental tədqiqat üsullarından istifadə olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- mövcud akselerometrlərdən akselerometrin işçi orqanı kimi istifadə olunan pyezoelektrik bimorf elementin həssaslıq oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət

qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi ilə fərqlənən, akselerometrin həssaslığının artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomaik rejimdə xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlər;

- mövcud mövqeləşdirici qurğulardan fərqli olaraq işçi orqan kimi pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə olunması və optik şüanın mövqeləşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına enerji effektivliyinin artırılmasına və itkisinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqeləşdirici qurğu;

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamiki parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin parametrlərinin analitik hesabat üsulu;

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamiki parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin parametrlərinin riyazi modeli;

- real zaman miqyasında avtomaik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamiki parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin işçi orqanlarının eksperimental tədqiqinin nəticələri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomaik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin işlənməsi ilə əlaqədar meyarlar seçilmiş və məqsəd funksiyası formalaşdırılmışdır.

2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə sisteminin yeni struktur sxemi işlənmişdir;

3. Akselerometrlərin işçi orqanları kimi pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə olunmasının təklif olunması və akselerometrlərin həssaslıq oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi hesabına akselerometrlərin həssaslığının artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomaik rejimdə xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlər

işlənmişdir;

4. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini təyin edən akselerometrələr və onların işçi orqanlarının parametrlərinin analitik hesabat metodları və riyazi modelləri işlənmişdir;

5. Optik şüanın mövqeləşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına imkan verən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğu işlənmişdir;

6. Hərəkətdə olan obyektlərin parametrlərini ölçən akselerometrlərin işçi orqanının eksperimental tədqiqi aparılmış və alınan nəticələrin analizi verilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

Dissertasiya işində alınmış analitik asılılıqlar, riyazi modellər və hesabat metodları hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı ölçmə dəqiqliyini, doğruluğunu və İÖS-lərinin funksional imkanlarını artırmağa imkan verir ki, bu da tədqiqatın nəzəri əhəmiyyətini müəyyənləşdirir.

Dissertasiya işində aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələri tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti kimi hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı yeni akselerometrlərin və İÖS-lərin işlənməsi zamanı əsas kimi qəbul edilə bilər.

Dissertasiya işinin nəzəri və praktiki nəticələrindən tədqiqat, istehsal və istismar müəssisələri tərəfindən mövcud İÖS-lərinin təkmilləşdirilməsi, yeni İÖS-nin işlənməsi və tətbiq edilməsi zamanı istifadə edilə bilər.

Aprobasiya və tətbiqi.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları və nəticələri məruzə və müzakirə olunub:

- Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda Respublika ETK-da (Bakı, 2016) – 1 ədəd;

- Moskva Rabitə və İnformatika Texniki Universitetinin 95 illiyinə həsr olunmuş “Müasir cəmiyyətin texnologiyaları” mövzusunda X Beynəlxalq sahə ETK-da (Moskva,

2016) – 1 ədəd;

- “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” adlı Beynəlxalq ETK-da (Bakı, 2016) – 1 ədəd;

- “Müasir rabitə sistemləri” mövzusunda XX, XXI və XXII Beynəlxalq ETK-da (Минск, 2015, 2016 -2 tezis, 2017) – 4 ədəd;

- IEEE Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfransı «Infokommunikasiyanın Problemləri. Elm və Texnologiya" (PIC S&T) (Xarkov, 2018, 2021, 2022) – 3 ədəd;

- “Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar” mövzusunda Beynəlxalq ETK-da (Bakı, 2019) – 1 ədəd;

- “Müasir İnformasiya, Ölçmə və İdarəetmə Sistemləri: Problemlər və Perspektivlər (MIÖİS’2019)” mövzusunda I və II Beynəlxalq EPK-da (Bakı, 2019, 2020) – 2 ədəd.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Müdafiə Sənayesi Nazirliyinin Milli Aerokosmik Agentliyində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.

Dissertasiya işi giriş, dörd bölmədən, nəticə, istifadə olunan ədəbiyyatın siyahısından, ixtisarlardan və şərti işarələrin siyahısından ibarətdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda işarə ilə həcmi aşağıdakı kimidir:

Dissertasiyanın girişi 20971 işarədən, I bölməsinin həcmi 35522 işarədən, II bölməsi 61825 işarədən, III bölməsi 32954 işarədən, IV bölməsi 22410 işarədən, nəticə 1952 işarədən, dissertasiyanın ümumi həcmi isə 197893 işarədən ibarətdir.

Dissertasiya işinin **nəticələrinin əsaslandırılması** qəbul edilmiş elmi müddəalardan və aprobeasiya olunmuş tədqiqat metodlarından istifadə etməklə dissertasiya işində alınmış nəticələrinin riyazi aparatının düzgün tərtibi, tətbiqi və nəticələrin məlum nəzəri nəticələrlə uyğunluğu ilə təsdiqlənir. Nəticələrin doğruluğu riyazi modeləşdirmənin və aparılmış eksperimental tədqiqatların köməyi ilə əldə edilmiş nəzəri nəticələrlə elmi və praktiki nəticələr arasında tam uyğunluğun olması ilə

təsdiqlənir.

Şəxsi töhvə. Dissertasiya işində və dərc olunmuş materiallardakı nəzəri və praktik nəticələr müstəqil və elmi rəhbərin rəhbərliyi altında müəllif tərəfindən alınmışdır.

Dərclər. Dissertasiya işində alınmış nəticələr üzrə 29 iş dərc olunmuşdur ki, onlardan da 10 məqalə, onlardan 2 ədədi Thomson Reuters və 3 ədədi isə Skopus beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə (bazalarına) daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə, 15 Beynəlxalq və Respublika ETK materialları, 1 ədəd Avrasiya, 2 ədəd Azərbaycan Respublikasının patenti alınmış və 1 ədəd ali məktəblər üçün “Elektrik ölçmələri və vasitələri” adlı dərslik çap edilmişdir.

Dissertasiya işinin strukuru və qısa məzmunu

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış və işlənmə dərəcəsi analiz edilmiş, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri formalaşdırılmış, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, işin nəticələrinin aprobeşiyası və tətbiqi, dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı, dissertasiyanın struktur bölmələrinin qısa xarakteristikaları verilmişdir.

Birinci bölmədə informasiya-ölçmə sistemlərinin inkişaf mərhələlərinin analizi, informasiya-ölçmə sistemlərinin təsnifatı, akselerometrlərin təsnifatı və hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə xarakteristikaları verilmiş, tədqiqatın məqsəd funksiyasının və məsələnin qoyuluşu formalaşdırılmışdır.

İkinci bölmədə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə kompleksinin, dinamik parametrləri ölçən vibrasiyalı pyezoelektrik akselerometrin və üçkoordinatlı akselerometrin və informasiya-ölçmə kompleksinin modullararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi məsələləri həll olunmuşdur.

Üçüncü bölmədə Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan optik kommutatorunun parametrlərinin

tədqiqi Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan çoxkanallı optik kommutatorunun parametrlərinin tədqiqi İnformasiya-ölçmə sistemlərinin qurğulararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi

Dördüncü bölmədə ölçmə nəticələrinin informasiya-ölçmə kompleksinə bir- və çoxmodlu veriliş üsulunda optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi və informasiya-ölçmə kompleksinin modullararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqi məsələləri həll olunmuşdur.

Dissertasiya işinin sonunda tədqiqatın nəticələri verilmişdir.

I Fəsil. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN TEXNİKİ VASİTƏLƏRİN TƏSNİFATI VƏ ANALİZİ

1.1. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin xüsusiyyətləri və inkişaf mərhələlərinin analizi

İnformasiya-ölçmə texnologiyaları informasiya texnologiyalarının bir növü olub, yalnız özlərinə məxsus xüsusi ölçmə proseslərini həyata keçirməsi ilə fərqlənir, belə ki [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 24, s. 157-189; 72, p.23-27]:

- ilkin ölçmə çeviricilərinin ölçmə obyektinə bilavastə qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində ilkin ölçmə haqqında informasiyanın alınması;
- ölçmə nəticələrinin verilmiş dəqiqliklə və zamanətli çevrilməsi;
- ölçmə nəticələrinin qəbul edilmiş ölçü vahidlərinin ölçüləri ilə müqayisəsi, ölçülən fiziki kəmiyyətlərin qiymətlərinin qeyri-müəyyənlik dərəcəsinin qiymətləndirilməsi və qeyd edilməsi.

Müasir informasiya-ölçmə texnologiyaları süni intellektin aparat və proqram vasitələrindən istifadəsi sayəsində əlavə xüsusiyyətlərə malikdir və informasiya texnologiyalarının inkişafında ən vacib məsələlərdən biri də kompleks xarici amillərin (yüksək temperatur, yüksək təzyiq, ionlaşdırıcı şüalanma və s.) təsiri altında ölçülən fiziki kəmiyyətlərin siyahısını genişləndirmək və ölçülmələrini təmin etməkdir. Belə problemlərin həlli istifadə olunan ölçmə vasitələrinin quruluşunun mürəkkəbləşməsi ilə əlaqədar olub, onların işləməsi üçün zəruri olan qarşılıqlı əlaqəli ölçmə və texniki vasitələrin komplekslərinin yaradılması ilə bağlıdır. Hərəkətdə olan müasir tədqiqat obyektləri yüksək sürətlə dəyişən çox saylı parametrlərlə xarakterizə olunur. Ölçmə obyektinin parametrləri haqqında məlumat əldə etmək üçün kompleks ölçmələr aparmaq tələb olunur və ölçülən fiziki kəmiyyətin qiyməti isə onunla ölçülən kəmiyyətlər

arasındakı məlum funksional asılılıqlar əsasında hesabat yolu ilə təyin olunur. Bu məsələlər geniş tətbiq olunan informasiya-ölçmə sistemlərindən (İÖS) istifadə etməklə uğurla həll olunur [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 72, p.23-27; 47, s.156-170; 50, s.67-76].

İÖS-lərinin əsas xüsusiyyətləri aşağıdakı aşağıdakılardır:

- real zaman miqyasında işləməsi;
- ölçmə prosesinə subyektiv amilin təsirinin azaldılması;
- aparılan ölçmələrin etibarlılığı və doğruluğuna qoyulan tələblərin ödənilməsi;
- istismar və ölçmə prosesində istifadə olunan texniki vasitələrin xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması;
- sistemin işlənməsi və layihələndirilməsinə qoyulan xüsusi tələblərin ödənilməsi.

Mövcud mənbələrin analizi göstərir ki [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 72, p.23-27; 47, s.156-170; 50, s.67-76], İÖS-lərinin inkişaf prosesi aşağıdakı inkişaf mərhələlərinə bölünür:

Birinci mərhələdə İÖS-ləri avtomatlaşdırılmış analoq sistemləri kimi fəaliyyət göstərmiş, funksional çeviricilərin və sadə hesablama qurğularının (elektromexaniki və elektron) köməyi ilə informasiyanın ilkin emalı prosesi yerinə yetirilirdi, operator pultundan informasiyanın dövrü və ünvan yığımı istifadə edilirdi. İnformasiyanın ötürülməsi üçün əsasən sabit cərəyanda modulyasiya tətbiq olunurdu. Birinci mərhələyə aid İÖS-ləri elektromexaniki və elektron lampalar üzərində qurulmaqla yanaşı aşağı cəldişləmə qabiliyyətinə, kiçik dəqiqliyə və etibarlılığa malik idilər.

İkinci mərhələdə rəqəm texnikasının intensiv inkişafı rəqəmli ölçmə sistemlərinin yaranmasına səbəb olaraq, daha böyük cəldişləməyə və dəqiqliyə malik idilər. Bu cür sistemlərdə çoxpilləli kommutatorların tətbiq olunması qovşaqlararası rabitə kanallarının sayının artırılmasına imkan verdi. Bu mərhələdə İÖS-lərində informasiyanın emalı ixtisaslaşdırılmış rəqəmli hesablama maşınlarının köməyi ilə yerinə yetirilirdi. Müxtəlif ölçmə obyektlərindən daxil olan informasiyanın yığımı prosesinin proqramla idarə edilməsi EHM-larının, dövrü və ünvan sorğusu isə operator

pultunda yerləşdirilmiş avtonom elektron bloklarının köməyi ilə həyata keçirilirdi.

Üçüncü mərhələdə, yəni 70-ci illərin ortalarında İÖS-lərinin inkişafı müəyyən təşəkkül tapdı və mikroelektronikanın inkişafı, otra və böyük integrasiya dərəcəli mikrosxemlərin, mikroprosessorların, mini- və mikro-EHM-lərin yaranması ilə əlaqədar oldu. İÖS-lərin tərkibində universal və idarəedici mini- və mikro-EHM-lərin tətbiqi onların funksional imkanlarının, emal olunan informasiya həcmnin və emal sürətinin artırılmasına və informasiya-hesablama komplekslərinin yaranmasına imkan verdi.

Dördüncü mərhələdə İÖS-lərində çoxfunksiyalı eyni və müxtəlif növ fiziki kəmiyyətlərin ilkin çeviricilərinin istifadə olunması ilə xarakterikdir. Burada informasiyanın qəbulu, çevrilməsi və ilkin emalı aşağı iyerarxiya səviyyəsində yerinə yetirilirdi. Çoxprosessorlu sistemlərdən istifadə olunması bir tərəfdən emal və idarəetmə funksiyalarını ayırmağa, digər tərəfdən isə bu proseslərin paralelləşdirilməsi İÖS-nin cəldişləməsini (sürətini) kifayət qədər artırmağa imkan verdi.

Beləliklə, İÖS-lərinin inkişaf mərhələlərinin analizi göstərir ki, İÖS-lərində çoxprosessorlu sistemlərdən istifadə olunması bir tərəfdən emal və idarəetmə funksiyalarını ayırmağa, bu proseslərin paralelləşdirilməsi onun cəldişləməsini kifayət qədər artırmağa, digər tərəfdən İÖS-lərinin inkişafı onların real zaman miqyasında böyük həcmli və yüksək etibarlıqlı ölçmələrin aparılmasına, ölçmə prosesində insan amilinin təsirinin azaldılmasına, istifadə olunan texniki ölçmə vasitələrin xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmasına və sistemərin işlənməsi və layihələndirilməsinə qoyulan xüsusi tələblərin ödənilməsinə imkan verdi.

1.2. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin təsnifatı

Ölçmə sistemi - ölçmə obyektinin xüsusiyyətlərini xarakterizə edən, ölçmə prosesini həyata keçirən, zamana görə dəyişən və fəzada paylanmış fiziki kəmiyyətlərin ölçmə nəticələrinin avtomatik (avtomatlaşdırılmış) qəbulunu təmin edən, müəyyən

şəkilə birləşdirilmiş və ölçmə kanallarını təşkil edən ölçmə və digər texniki vasitələrin, yəni ölçmə sisteminin komponentlərinin məcmuidir.

İÖS-ləri tətbiq sahəsinə, komplektləşdirmə üsuluna, quruluşuna, giriş siqnallarının növlərinə, yerinə yetirilən ölçmələrin növlərinə, iş rejiminə və komponentlərin funksional xüsusiyyətlərinə görə qruplara bölünürlər [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 72, p.23-27; 47, s.156-170; 50, s.67-76].

İÖS-ləri tətbiq sahəsinə görə:

- elmi tədqiqat proseslərində istifadə üçün;
- mürəkkəb sistemlərin sınağı və nəzarəti üçün;
- texnoloji proseslərin idarə edilməsi üçün.

İÖS-ləri komplektləşdirmə üsuluna görə:

- aqreqativ - aqreqativ İÖS, informasiya-hesablama kompleksinin universal nüvəsini birləşdirir ki, bunun da əsasında müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin vericilərindən istifadə edərək müxtəlif təyinatlı İÖS-lərin qurulması mümkündür.

- konkret sistemlər üçün hazırlanmış komponentlərdən ibarət qeyri-aqreqativ İÖS.

Struktur xüsusiyyətlərinə görə:

- çıxış siqnalları vahid funksional çevirici vasitəsi ilə çevirilən və bir hesablama qurğusunda emal olunan və eyni zamanda işləyən kanallar çoxluğunu özündə birləşdirən paralel-ardıcıl strukturlu sistemlər;

- çıxış siqnalları vahid funksional çevirici vasitəsi ilə çevirilən və bir hesablama qurğusunda emal olunan eyni zamanda işləyən kanallar çoxluğunu özündə birləşdirən paralel strukturlu sistemlər.

İÖS-lərinin giriş siqnalları fasiləsiz və ya diskret, determinik və ya təsadüfi ola bilər. Giriş siqnallarının dəyişmə sürəti ilə sistemin ətalət xüsusiyyətləri arasındakı nisbətdən asılı olaraq İÖS-lər iki əsas iş rejimində, yəni statik və dinamik iş rejimində fəaliyyət göstərir. Dinamik rejimdə sistemin ətalət xüsusiyyətləri ölçmə nəticəsinə ciddi təsir göstərir.

İÖS-lərin komponenti onun tərkibinə daxil olan, ölçmə prosesi və ölçmə

nəticələrinin digər məlumat növlərinə çevrilməsini nəzərdə tutan funksiyalardan birini yerinə yetirən texniki qurğulardır. Yerinə yetirdiyi funksiyalara uyğun olaraq, komponentlər ölçmə, əlaqələndirmə, hesablama və informasiya komponentlərinə bölünürlər.

İÖS-in ölçmə komponenti ölçü cihazı, ölçmə çeviricisi, ölçü və ya ölçmə kommutatoru kimi ölçmə vasitələridir. Ölçmə komponentləri funksional çevirmələrin xarakterinə görə analog-rəqəm və rəqəm-analog komponentlərinə bölünür. Analog ölçmə komponentləri xətti və ya qeyri-xətti, analog-rəqəmli komponentlər olmaqla isə qeyri-xətti xarakter daşıyırlar.

İÖS-in əlaqələndirmə komponenti ölçülən fiziki kəmiyyət haqqında informasiya daşıyan, siqnalların mümkün minimum təhriflə İÖS-in bir komponentindən digərinə ötürülməsini təmin edən kanal və ya ətraf mühitin bir hissəsidir.

İÖS-in hesablama komponenti rəqəm və ya müvafiq kodla ifadə olunan ölçmə nəticələrini hesablama yolu ilə əldə etmək üçün müşahidələrin nəticələrinin emal funksiyasını yerinə yetirən proqram təminatlı rəqəmli hesablama qurğusu və ya onun bir hissəsidir.

İÖS-in hesablama komponentləri aşağıdakı növlərə bölünür [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 72, p.23-27; 47, s.156-170; 50, s.67-76]:

- analog hesablama komponenti - çıxış signalı iki və ya daha çox siqnalların funksiyası olan analog qurğular;
- rəqəmli hesablama komponenti - çıxış signalı iki və ya daha çox siqnalların funksiyası olan rəqəmli qurğular;
- informasiya komponenti - məlumatın qəbulunu, saxlanılmasını, çevirilməsini və ötürülməsini təmin texniki qurğular.

Ölçmə qurğularının informasiya nəzəriyyəsi baxımından analizi göstərir ki, istənilən ölçü vasitələri tərəfindən həyata keçirilən ölçmə prosesi (zəruri olan insan-operator əlaqələri də daxil olmaqla) başlanğıcdan ölçmə nəticələrinin alınmasına qədər ölçülən fiziki kəmiyyət haqqında məlumatın ardıcıl çevrilmələrindən ibarətdir. Ölçmə

vasitələri ölçmə məlumatlarının qəbulu və ötürülməsi üçün bir rabitə kanalı kimi baxılır. Beləliklə, ölçmə vasitələri və ölçmə komponenti İÖS-in informasiya komponentinə aiddir.

Təyinatından asılı olaraq ölçmə sistemləri informasiya-ölçmə, nəzarət-ölçmə, ölçmə-idarəetmə sistemlərinə bölünür. Ölçmə məsələsinin dəyişməsindən asılı olaraq yenidən qurulan ölçmə sistemi çevik ölçü sistemi adlanır. Təyinatına görə İÖS-lər isə aşağıdakı qruplara ayrılır [12, s.373-377; 13, s.157-165; 15, s.121-145, 72, p.23-27; 47, s.156-170; 50, s.67-76]:

- bilavasitə ölçmə sistemləri (BÖS);
- avtomatik nəzarət sistemləri (ANS);
- texniki diaqnostika sistemləri (TDS);
- təsvirləri tanıma sistemləri (TTS).

Bilavasitə ölçmə sistemləri bilavasitə, vasitəli, birgə və cəm ölçmələrin aparılması, müxtəlif ölçmə obyektlərini və ölçmə proseslərinin tədqiq edilməsi zamanı istifadə edilir və onlar nisbətən yüksək metroloji xarakteristikalara malik olur. Tədqiq edilən obyektlər haqqında informasiya həcmnin az olması zamanı ölçmə sistemlərinin strukturu və imkanları geniş olmalıdır. Bəzi bilavasitə ölçmə sistemləri ölçmə nəticələrinin mürəkkəb riyazi əməl qabiliyyətinə də malik olurlar və bu halda ölçmələrin nəticəsi müvafiq məntiqi nəticələr və ya ümumiləşdirilmiş rəqəmli şəkildə təqdim olunur.

Avtomatik nəzarət sistemlərində əvvəlcə nəzarət olunan obyektin vəziyyəti müəyyənləşdirilir, yəni həmin obyektə xarakterizə edən parametrlərin həqiqi qiymətləri normal və ya buraxıla bilən qiymətləri ilə müqayisə olunur. Bu cür sistemlər mərkəzləşdirilmiş nəzarət sistemləri də adlandırılır. Burada obyektin xarakteri əvvəlcədən məlum olur, onun mümkün olan halları isə normal və qeyri-normal (yol verilməyən) hallara bölünür. Bu halda sistemin verdiyi informasiya keyfiyyət xarakteri daşıyır və obyektin verilən rejimdə olduğunu və ya ondan fərqli olmasını göstərir. Ona görə də, avtomatik nəzarət sistemləri bilavasitə ölçmə sistemlərinə nisbətən az universal olur.

Texniki diaqnostika sistemlərində ölçmə nəticələri əsasında obyektin və yaranan nasazlıqlarının xarakteri və bu nasazlıqların aradan qaldırılması və s. haqqında ümumiləşdirilmiş qərarlar verilir. Bu qrup sistemlərin tərkibinə inkişaf etmiş hesablama və məntiq qurğuları daxil olur. Təsvirləri tanıma sistemləri ölçmə nəticələrinin emal yolu ilə sistemin çıxışında təsvirləri təsnif etmə nəticələrinin alınmasına imkan verir .

Ölçülən fiziki kəmiyyətlərin ölçmə nəticələrinin həcmi nisbətən az olduqda, ölçmə dəqiqliyinə tələbat böyük olmadıqda və verilənlərin ötürülmə məsafələri kiçik olduqda yalnız vericilərdən və analoq hissədən ibarət analoq bilavasitə ölçmə sistemləri tətbiq edilir. Ölçmə nəticələrinin uyğun emalından sonra və bir sıra əlavə verilənlər də olduqda avtomatik nəzarət, diaqnostika və təsvirləri tanıma nəticələri alınır.

Tədqiq edilən obyektə qədər olan məsafədən asılı olaraq İÖS - yaxın və uzaq məsafədə təsir edən bilavasitə ölçmə sistemlərinə və ya teleölçmə sistemlərinə (TÖS) bölünür. TÖS-lərinin əsas fərqləndirici əlaməti onlarda əlavə olaraq rabitə kanallarının olması və onların xarakteristikalarının nəzərə alınması tələbatının olmasıdır.

Tədqiq olunan obyektə qarşılıqlı əlaqəsinə görə İÖS-ləri passiv və aktiv İÖS-lərinə bölünür. Passiv İÖS-ləri yalnız ölçmə obyektindən ölçmə nəticələri haqqında informasiyanı qəbul edir. Aktiv İÖS-ləri isə obyektə xarici təsiretmə qurğuları vasitəsilə təsir etməklə onun vəziyyətinin avtomatik olaraq daha dəqiq öyrənilməsinə imkan verir. Bu cür strukturlardan elmi-tədqiqat işlərinin avtomatlaşdırılması prosesində istifadə olunur.

Beləliklə, informasiya-ölçmə sistemlərinin inkişaf mərhələlərinin analizi göstərir ki, hərəkətdə olan müasir tədqiqat obyektləri yüksək sürətlə dəyişən çox saylı parametrlərlə xarakterizə olunması süni intellekt əsasında müasir informasiya-ölçmə texnologiyalarından istifadə olunması aparat və proqram təminatının ölçülən fiziki kəmiyyətlərin siyahısını genişləndirməyə və həmin fiziki kəmiyyətlərin ölçmə proseslərini təmin etməyə imkan verir.

1.3. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin təsnifatı və ölçmə xarakteristikaları

Akselerometrlər hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcilini ölçmək və obyektin hərəkət trayektoriyasının parametrlərinin buraxıla bilən həddən kənara çıxmasını müəyyənləşdirmək üçün ölçülən təcillərin siqnallara çevrilməsi və ya bu trayektoriyanın avtomatik idarə edilməsi məqsədi ilə istifadə olunur. Akselerometrlər əsasən xətti və bucaq təcillərini ölçmək üçün tətbiq olunur və buna uyğun olaraq da xətti akselerometrlər və ya bucaq akselerometrləri adlanır [10, s.49,50; 11, s.268-270; 30, s.37-46; 32, s.159; 40, s.38-41]:

Hazırlanma texnologiyasına görə akselerometrlər aşağıdakı iki qrupa bölünür:

- açıq struktur sxem üzrə qurulmuş yaylı akselerometrlər;
- qapalı struktur sxem üzrə qurulmuş kompensasiyalı akselerometrlər.

Kompensasiyalı akselerometrlər öz növbəsində mövqeli əks əlaqəli (elektrik yaylı akselerometrlər), sürətli əks əlaqəli (inteqrallayıcı akselerometrlər) və təcil üzrə əks əlaqəli (ikiqat inteqrallayıcı akselerometrlər) akselerometrlərə bölünür. Akselerometrlər fasiləsiz və ya diskret çıxış siqnalı ilə ölçməni həyata keçirir.

Akselerometrlər uçuş aparatlarında geniş istifadə olunur. Zamanın istənilən anında fəzada uçuş aparatının həm xətti, həm də bucaq təcilini uçuş aparatı və onun əsas oxları (simmetriya oxları) ilə əlaqəli koordinat sistemində üç təşkilediciyə bölmək olar. Uçuş aparatlarının xətti və bucaq təcilləri haqqında tam məlumat almaq üçün ölçmə oxları onların əsas oxları boyunca yönəldilmiş altı ədəd akselerometrədən (üçü xətti və üçü bucaq) istifadə etmək lazım gəlir ki, bunlardan da hər biri xətti və ya bucaq təcilinin uyğun komponentini ölçməyə imkan verir.

Uçuş trayektoriyasının avtomatik idarəetmə sistemlərində bəzi hallarda uçuş haqqında məlumatlardan tam deyil, onun bir hissəsindən istifadə olunur, məsələn, uçuş aparatının eninə oxları boyunca xətti təcillərin komponentlərini ölçən iki ədəd xətti

akselerometrlərdən istifadə olunur.

Ətalətli naviqasiya sistemlərində akselerometrlərdən istifadə edilməsi zamanı ölçmə oxları üfüqi müstəvi üzərində yerləşmiş iki qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətdə yönəldilmiş və istiqamətlərdən biri coğrafi meridianın müstəvisi ilə birləşdirilmiş iki xətti akselerometrdən istifadə olunur. Seçilmiş koordinat sistemindən asılı olaraq akselerometrlərin ölçmə oxlarının yönləndirməsinə digər üsulları da mümkündür.

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan akselerometrlərin aşağıdakı texnologiyalarından istifadə olunur [17, s. 156-214; 18, s.355-389; 29, s. 56-84]:

1. Piezoelektrik akselerometrlər - test və ölçmələr aparılan zaman ən çox istifadə olunan ölçü cihazıdır ki, bunlar da çox geniş tezlik diapazonuna (bir neçə Hs-dən 30 kHs-ə qədər), müxtəlif həssaslığa, çəkiyə, ölçülərə və formaya malik olur. Onlar doldurulma çıxışı və ya gərginlik üzrə çıxışa malik olur ki, bu da titrəmələri (rəqsləri) və zərbələri ölçmək üçün tətbiq olunurlar.

2. Piezoresistiv akselerometrlər bir qayda olaraq çox aşağı həssaslığa malikdirlər, buna görə də onlar zərbə nəticəsində yaranan təcili və müəyyən hallarda titrəmələri (rəqsləri) ölçmək üçün istifadə olunur. Bu növ akselerometrlərdən maneə ilə qarşılaşdıqda maneə zərbəsinə qarşı dayanıqlığın yoxlama testlərində də geniş istifadə olunur. Onlar geniş tezlik zolağında (bir neçə yüz Hs-dən 130 kHs-dən çox) işləyirlər, bu halda onların amplitud-tezlik xarakteristikası 0 Hs-dən başlanır və ya dəyişməz qalır, bu da davam etmə müddəti böyük olan siqnalları ölçməyə imkan verir.

3. Tutuma malik akselerometrlər yeni texnologiyalı qurğulara aiddir. Piezoresistiv akselerometrlərdə olduğu kimi bunların da amplitud-tezlik xarakteristikası 0 Hs-dən başlayır. Bu cür akselerometrlər yüksək həssaslığa, dar buraxma zolağına (15...3000 Hs) və yüksək temperatur sabilliyinə malik olub, 180° S-yə qədər işləmə temperaturunda həssaslıq xətası 1,5%-i keçmir, aşağı tezlikli titrəmələri (rəqsləri), hərəkəti və qərarlaşmış təcili ölçmək üçün istifadə olunur.

4. Xoll effektiv akselerometr. Xoll effektiv akselerometr akselerometrin ətrafında

maqnit sahəsindəki dəyişikliklər nəticəsində yaranan gərginliyin dəyişməsinə ölçür.

5. Maqnitorezistiv akselerometr. Bu tip akselerometr maqnit sahəsində müqavimətin dəyişməsinə qeyd edərək işləyir. Quruluşu və yerinə yetirdiyi funksiya Xoll effektiv akselerometə bənzəyir, lakin maqnitorezistiv accelerometer ondan fərqli olaraq gərginliyi ölçmək əvəzinə müqaviməti ölçür.

6. İstilik ötürmə akselerometri. Bu tip akselerometr hərəkət təcilindən asılı olaraq istilik ötürmə prosesində daxili dəyişiklikləri ölçür. Termorezistorlar dörd tərəfdən asılan istilik mənbələrindən bərabər məsafədə yerləşir. Təcil olmadıqda, istilik gradienti simmetrik olacaqdır. İstənilən istiqamətdə təcil istilik ötürülməsi səbəbindən istilik gradientinin asimmetrik olmasına səbəb olur.

7. MEMS texnologiyasına əsaslanan akselerometrlər. MEMS (Mikro Elektromexaniki Sistemlər) texnologiyası ölçüləri mikrometr (metrin milyondan biri) miqyasında olan kiçik obyektlərin yaradılması zamanı istifadə olunan bir sıra alət və metodologiyaya əsaslanır. Hal-hazırda bu texnologiya MEMS akselerometrlərinin istehsalı üçün istifadə olunur

Beləliklə, akselerometrlərin baxılan texnologiyaları içərisində pyezoelektrik akselerometrlər yüksək dəqiqliyə malik olduqları üçün hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərinin ölçülməsi zamanı bu cür akselerometrlərin istifadə olunması məqsədəuyğun hesab olunur.

1.4. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik akselerometrlərin xarakteristikalarının analizi

Pyezoelektrik akselerometrlərin tərkibinə elektromexaniki çeviricidən başqa elektron qurğular, məsələn, razılaşdırıcı gücləndirici, signalın ilkin emal qurğusu və s.-də daxil ola bilər [30, s.37-46; 32, s.159; 40, s.38-41; 56, s. 234-378; 57, s.134-167; 59, s.303-357; 92, s.1-20; 93, s.55-59].

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik akselerometrlərin işini xarakterizə edən əsasən texniki, yəni metroloji və istismar xarakteristikalarıdır. Pyezoelektrik akselerometrlər ölçülə bilən təcillə çıxış signalı arasında miqyas əmsalı, ölçü cihazının ölçə biləcəyi təcilin minimum dəyişməsi arasında həssaslıq səddi (həllətmə qabiliyyəti), təcilin sıfır qiymətində cihazın göstərişi arasında, təsadüfi dəyişmə ilə sıfırdan dəyişməsinin ortakvadratik meyletməsi arasında sıfırın sürüşməsi, təcilin qeyri-xətti dəyişməsi zamanı çıxış signalı arasında mütənasüblük əmsalı ilə xarakterizə olunur. Pyezoelektrik akselerometrlərin texniki xarakteristikaları onların iş qabiliyyətini, dəqiqliyini və müəyyən ölçmə məqsədlərindən asılı olaraq onların tətbiq olunmasını qiymətləndirməyə imkan verir. Bu xarakteristikalar istifadə olunan pyezoelektrik materialın və elektromexaniki çeviricilərin konstruktiv xüsusiyyətlərindən və bütövlükdə vericilərdən asılı olan metroloji və istismar xarakteristikalarına bölünür.

Akselerometrlərin ən vacib metroloji xarakteristikalarına yüklənmə və gərginliyə görə çevirmə əmsalları, ölçülən təcilin minimal qiyməti, ölçmənin tezlik xətasının verilmiş qiymətində işçi tezlik diapazonunun yuxarı sərhədini təyin edərkən baş verən rezonans tezliyi, işçi tezlik diapazonunda ATX-nin qeyri-xəttiliyi, təcilin ölçmə xətasına təsir edən nisbi çevirmə əmsalı, təcilin işçi diapazonunda AX-nin qeyri-xəttiliyi və işçi temperatur diapazonu daxildir [27, 8s.; 11, s.268-270; 30, s.37-46; 32, s.159; 40, s.38-41; 46, s.4-9; 48, s.20-26].

Verilmiş ölçmə şərtlərindən və məsələlərindən asılı olaraq xarici təsirlərin təsir əmsalının qiymətləri də əhəmiyyətli rol oynayır. Akselerometrin iş fəaliyyətinin ən vacib göstəricisi metroloji xarakteristikalarının zamana və xarici amillərin təsirinə qarşı stabilliyidir.

Pyezoelektrik akselerometrlərin əsas istismar xarakteristikalarının tərkibinə çəki və qabarit ölçüləri, akselerometrin hərəkətdə olan obyektə bərkidilmə üsulları və ətraf mühitin təsirlərindən və maneə mənbələrindən qorunma daxildir. Bəzən akselerometrin elektrik tutumu, uzununa istiqamətdə sərbəst (bərkidilməmiş) və eninə istiqamətdə

bərkidilmiş akselerometrin rezonans tezlikləri və bir sıra başqa parametrlər daxildir.

Bununla yanaşı hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin işini xarakterizə edən əsas içəri xarakteristikaları aşağıdakılardır [11, s.268-270; 30, s.37-46; 32, s.159; 40, s.38-41; 71, s.378-392]:

- detektə olunan siqnalın amplitudasının pik qiymətlərinin $\alpha_{\min}$ və $\alpha_{\max}$ dəyişməsinə bərabər olan (tam miqyaslı) təcilin maksimum detektə olunan diapazonu;
- amplitudun dinamik diapazonu - maksimum ölçü diapazonunun maneəyə nisbəti (SNR - signal to noise ratio - siqnal və maneə nisbəti);
- həssaslıq (miqyas faktoru) - təcilin bir vahid dəyişməsi zamanı çıxış siqnalının, məsələn, analoq gərginliyin dəyişməsi:

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta \alpha}, mV / g, \quad (1.4.1)$$

- gərginliyin ortakvadratik qiyməti - çıxış siqnalının məhdudlaşdırıcı səviyyələrinin orta qiyməti (analoji olaraq ortakvadratik işçi dövr təyin olunur);

- sıfırın sürüşməsi - təcilin sıfır qiymətinə (0g) uyğun çıxış siqnalının (U) gərginlik oxu boyunca dəyişməsi (akselerometrlər üçün U_{0q} ilə eynidir);

- dreyf həssaslığı - ölçülən dəyişənin, məsələn, otaq temperaturundan fərqli T – temperaturundan asılı olaraq, funksiyası olmayan həssaslıq dəyişiklikləri (ətraf mühitin temperaturunun dəyişməsi ilə elektron qurğuların elektrik parametrlərinin temperatur dreyf dəyişməsi):

$$\Delta S_{(\Delta T)} = \frac{S_{(T)} - S_{(25^0)}}{S_{(25^0)}} \cdot 100\%, \quad (1.4.2)$$

və ya zamana görə - başqa faktorların təsiri nəticəsində.

- dreyf sürüşməsi - tam diapazon daxilində nəzəri qiymətdən ortakvadratik gərginliyin U_{0q} , məsələn, 25^0S temperaturla müqayisədə T – temperaturunun təsiri səbəbindən dəyişməsi:

$$\Delta U_{0q(\Delta T)} = U_{0q(T)} - U_{0q(25^0\text{S})}, \quad (1.4.3)$$

- qeyri-xəttiliyi - tam şkalanın faizlərlə ifadə olunan çıxışdan asılı olaraq təcilin qrafikinin ideal düz xəttindən çıxışın maksimal kənarlaşması:

$$L_+ = \frac{U_{\max} - U_{0q}}{2 \cdot (0,75 \cdot U_{\max} - U_{0q})} \cdot 100\%, \quad (1.4.4)$$

$$L_- = \frac{U_{\min} - U_{0q}}{2 \cdot (0,75 \cdot U_{\min} - U_{0q})} \cdot 100\%; \quad (1.4.5)$$

- işçi tezlik diapazonu f ;
- rezonans tezliyi f_0 və ya ω ;
- həlletmə qabiliyyəti - akselerometrin ölçə biləcəyi ən kiçik g səviyyəsi (ilk növbədə maneə və tezlik zolağının işçi eni ilə müəyyən edilir);
- maneələr (ölçmə maneəsi vericilər tərəfindən yaradılan fon maneəsi və maneə;
- ölçmə oxlarının sayı;
- eninə ox üzrə həssaslıq - akselerometrin çıxışında eninə ox üzrə (və ya 90° bucaq altında) təcilin faizlə ifadəsi (ideal akselerometrin eninə ox üzrə həssaslığı sıfıra bərabərdir);
- kütlə (detektə sistemi ilə müqayisədə kiçik);
- işçi temperatur diapazonu T ;
- akustik maneəyə qarşı həssaslıq;

- sönmə əmsalı.

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik akselerometrin seçilməsi aşağıdakı parametrləri nəzərə almaqla həyata keçirilir [11, s.268-270; 30, s.37-46; 32, s.159; 40, s.38-41; 71, s.378-392]:

1. Dinamik diapazon - akselerometrin çıxış signalının itkisiz və təhrifsiz ölçə biləcəyi maksimum amplitudadır. Dinamik diapazon ümumiyyətlə g miqdarında göstərilir.

2. Həssaslıq - giriş signalının dəyişməsinə nisbətən çıxış signalının ölçü vahidlərində ifadə olunan verici və ya sistemin miqyas əmsalıdır. Həssaslıq akselerometrin hərəkəti təyin etmək qabiliyyətini müəyyənləşdirir. Akselerometr həssaslığı ümumiyyətlə g miqdarında millivoltmetrlərdə göstərilir (mV/g).

3. Tezlik dəyişməsi - verici hərəkəti aşkarladığı və həqiqi çıxış signalı verdiyi tezlik diapazonudur. Ölçmə diapazonu H_s -lə ölçüldüyü üçün tezlik dəyişməsi də həmin vahidlə göstərilir.

4. Həssas ox. Akselerometr oxa proyeksiyada giriş həyəcanlanmalarını aşkar etmək üçün layihələndirilir. Bir oxlu akselerometr bir müstəvi üzrə giriş həyəcanlanmalarını aşkar edə bilər. Üç oxlu akselerometr istənilən müstəvidə giriş həyəcanlanmalarını aşkar edə bilər və əksər məsələlərin həllində istifadə olunur.

5. Ölçü və kütlə. Akselerometrin ölçü və kütləsi ölçmə aparılan obyektin xarakteristikalarını dəyişə bilər. Akselerometrin kütləsi ölçmə aparılan obyektin kütləsindən çox-çox kiçik olmalıdır.

Akselerometrlərin ekstremal istismar şəraitində onların çevirmə əmsallarının və digər xarakteristikalarının aradan qaldırılan və qaldırılmayan dəyişməsi mümkündür ki, bu da təbii olaraq tətbiq olunma şərtini məhdudlaşdırır və piezoelektrik akselerometrlərin ən ciddi çatışmazlıqlarından biridir.

Akselerometrlər vasitəsi ilə aşağıdakı parametrlərin ölçülməsi həyata keçirilir.

Hər şeydən əvvəl, əsas ölçmə növlərini nəzərdən keçirək və daha sonra bunlar üzərində daha ətraflı dayanaq. Ölçmələr aşağıdakı kateqoriyalara bölünür [1, s.157-175;

10, s.49,50; 16, s.86-97; 20, s.34-37; 29, s.65-83]:

1. Titrəmə (hərəkət zamanı yaranan rəqslər) - obyekt tarazlıq vəziyyətinə görə rəqsi hərəkət edir və bu zaman rəqsi proseslər yaranır. Titrəmə prosesi nəqliyyat vasitələrində, uçuş aparatlarında və aviasiya sənayesində və sənaye istehsalı zamanı yaranır və bunun ölçülməsi zəruriyyəti meydana çıxır.

2. Zərbədən yaranan təcil. Ölçmə obyektini qəfil mexaniki təsirə məruz qalarkən, zərbə impulsu partlayış, çəkilə vasitəsi ilə zərbə endirilərkən və ya diər obyektlə toqquşkən yarana bilər.

3. Hərəkət. Saniyənin bir neçə hissəsindən bir neçə dəqiqəyə qədər müddət ərzində yerdəyişmənin asta dəyişməsi, məsələn, robotun qolunun hərəkəti və ya bir avtomobilin qaldırılması kimi asta hərəkətin ölçülməsi.

4. Seysmik titrəmələr. Bədənin vəziyyətinin kiçik dəyişməsi ilə nəticələnən aşağı tezlikli titrəmələrin ölçülməsi. Bu cür ölçmələri aparmaq üçün ixtisaslaşdırılmış az səs-küylü, yüksək həlletmə qabiliyyətinə malik akselerometrlər lazımdır. Seysmik tədqiqatlar üçün istifadə olunan akselerometrlər körpülərin, döşəmələrin hərəkətini və seysmik titrəmələrin ölçür.

Beləliklə, pyezoelektrik akselerometrlərin xarakteristikalarının analizi onların iş qabiliyyətini, dəqiqliyini və müəyyən ölçmə məqsədləri üçün tətbiq olunmasını qiymətləndirməyə xidmət edir. Bu xarakteristikalar istifadə olunan pyezoelektrik materialın və elektromexaniki çeviricilərin konstruktiv xüsusiyyətlərindən və bütövlükdə vericilərdən asılı olan metroloji və istismar xarakteristikalarından asılıdır.

1.5. Tədqiqatın məqsəd funksiyasının formalaşdırılması

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçmək üçün istifadə olunan akselerometrlərin işinin səmərəliliyi əsasən ölçmələrin dəqiqliyi, doğruluğu, tezisləməsi, həssaslığı və dinamik diapazonu ilə müəyyən edilir. Bu zaman əsas məqsəd

pyezoelektrik akselerometrlərin işini xarakterizə edən meyarların seçilməsi və həmin meyarlar əsasında hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçməyə imkan verən akselerometrlərinin işinin səmərəliliyini qiymətləndirməkdir. Akselerometrlərin işinin dəqiqliyi vericilərin həssaslığından və dinamik diapazonundan, həssaslıq isə akselerometrin çıxışında alınan signalın amplitudasından asılıdır və bu parametr akselerometrin seçilməsi zamanı əsas parametr hesab olunur. Ölçmə aparılan zaman alınan nəticələrin dəqiqliyi seçilmiş akselerometrin növündən asılıdır. Akselerometr tərəfindən qeyd olunan rəqslərin dinamik diapazonu çox dar tezlik zolağında yaranan rəqslərin enerjisi ilə təyin olunur. Ona görə də, həmin rəqslərin ölçmə prosesi hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcillərinin və eləcə də, sürətlərinin çox kiçik və ya çox böyük qiymətlərində həyata keçirildiyini nəzərə almaq lazımdır.

Akselerometrlərin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi aşağıdakı əsas məsələlərin həllindən, yəni akselerometrlərin səmərəliliyini xarakterizə edən meyarların seçilməsindən və həmin seçilmiş meyarların müəyyənləşdirilmiş optimal qiymətləri əsasında məqsəd funksiyasının formalaşdırılmasından və hərəkətdə olan ölçmə obyektinin düzbucaqlı koordinat sisteminin iki və ya üç oxu üzrə hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin sürətlə dəyişməsi zamanı akselerometrin optimal iş rejiminin təmin edilməsindən ibarətdir [10, s. 192-196; 11, s.268-270; 30, s.37-46; 32, s.159; 40, s.38-41; 71, s.378-392].

Sistem optimallaşdırması $f(x)$ məqsəd funksiyasının ekstremum qiymət aldığı bir sıra meyarların müəyyənləşdirilməsindən ibarətdir. Bu halda sistemin əhəmiyyətli bir keyfiyyət vəziyyəti - verilmiş (və ya seçilmiş) meyara uyğun olaraq onun iş fəaliyyətinin nəticəsinin ekstremallığı təmin olunur.

Bu halda optimallaşdırma məsələsi $\langle f(x), X, Y \rangle$ meyarlar çoxluğu ilə müəyyən olunur. $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektorunun komponentlərinin qiymətlərini dəyişməklə məqsəd funksiyasının ekstremumlarını təyin etmək lazımdır. $X - f(x)$ məqsəd funksiyasının təyin olunma sahəsi, $Y - x$ vektoruna qoyulan məhdudiyyətlər sahəsidir. $D = X \cap Y$

sahəsi buraxıla bilən sahə adlanır və X –vektoru isə optimallaşdırma məsələsinin buraxıla bilən kriteriyasıdır.

Əgər D –buraxıla bilən çoxluq R^n ekvlid fəzası ilə üst-üstə düşərsə, onda şərtsiz optimallaşdırma məsələsi, əgər D –buraxıla bilən çoxluq R^n ekvlid fəzasının bir hissəsini təşkil edərsə, onda şərti optimallaşdırma məsələsi həyata keçirilir.

Şərtsiz optimallaşdırma zamanı bir dəyişənli $f(x)$ məqsəd funksiyası tədqiq olunur. $f(x)$ məqsəd funksiyasının daxili maksimum və minimum qiymətlərinin mövcud olması aşağıdakı şərtlərlə müəyyən olunur:

- əgər məqsəd funksiyasının birinci tərtib $f'(a)$ törəməsi varsa, onda $f'(a)=0$ olan halda $f(x)$ məqsəd funksiyası a nöqtəsində daxili maksimuma və ya minimuma malik olur ki, bu da ekstremumun zəruri şərti adlanır;
- əgər məqsəd funksiyasının ikinci tərtib $f''(a)$ törəməsi varsa, onda $f(x)$ məqsəd funksiyası verilmiş hər hansı a nöqtəsində aşağıdakı qiymətləri alır:
- əgər $f'(a)=0$ və $f''(a)<0$ olarsa, onda maksimum;
- əgər $f'(a)=0$ и $f''(a)>0$ olarsa, onda minimum

qiymətini alır.

Bu şərtlər ekstremumun mövcudluğu üçün kifayətdir. Təcrübədə məhdud sayda məsələlər şərtsiz optimallaşdırma məsələlərinə gətirilə bilər. Əksər hallarda belə məsələlər riyazi proqramlaşdırma şəklində formaladılır:

$$f(x) \Rightarrow \text{extr}, \varphi_i(x) \leq 0, i = \overline{1, m}, \quad x \geq 0. \quad (1.5.1)$$

Əgər $f(x)$ məqsəd funksiyası və $\varphi_i(x)$ məhdudiyyət funksiyaları $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektorunun komponentlərinə nisbətən xəttlidirsə, onda bu məsələ xətti proqramlaşdırmaya aiddir.

Yuxarıda göstərilən prinsipləri əsas götürərək, akselerometrlərin optimal iş

rejimini qiymətləndirmək üçün məqsəd funksiyasını aşağıdakı asılılıqla ifadə etmək olar:

$$f(x) = \{\min[\delta_{ölç}, P_m], \max[\tau_{ti}, A_h, D_{ölç}]\}, \quad (1.5.2)$$

burada $\delta_{ölç}$ – ölçmə prosesində yaranan nisbi xətlər; P_m – koordinat sisteminin ölçmə aparılmayan koordinat oxu üzrə yaranan maneə səviyyəsi; τ_{ti} – akselerometrin tezişləməsi; A_h – akselerometrin həssaslığı; $D_{ölç}$ – akselerometrin qeyd edə biləcəyi və dar tezlik zolağında yerləşən rəqslərin yuxarı və aşağı səviyyələrini ilə təyin olunan dinamik diapazonudur.

Beləliklə, seçilmiş meyarlar əsasında formalaşdırılan məqsəd funksiyası, hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini avtomatik rejimdə ölçmək üçün istifadə olunan akselerometrlərin optimal iş rejimini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu dinamik parametrlər bir-biri ilə əlaqəlidir, yəni yerdəyişmənin birinci törəməsi sürətin, ikincisi törəməsi isə təcilin qiymətini verir. Digər tərəfdən xətti təcilin ölçülmüş qiymətinə görə əksinə sürət və yerdəyişmənin qiymətini də təyin etmək olar.

1.7. Məsələnin qoyuluşu

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin, yəni xətti təcil və sürətlərinin ölçməsi zamanı müəyyən üstünlüklərə malik pyezoelektrik akselerometrlər geniş istifadə olunur ki, bu üstünlüklərə də geniş işçi tezlik diapazonu, geniş dinamik diapazonda AX-nın xəttliliyi, xarici təsirlərə qarşı yüksək dayanıqlığı, qida mənbəyinin istifadəsini tələb etməyən aktiv çevrilmə, yüksək etibarlılığa və uzunömrlülüyə imkan verən hərəkət edən hissələrin az olması, kiçik ölçüdə realizə olunması imkanının olması və yüksək texnologiyalı istehsal aiddir.

Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqəli İÖS-nin, İÖS ilə hərəkətdə olan obyektlər arasında rabitənin təşkili üçün rabitə vasitələrinin və hərəkətdə olan obyektlərin dinamik

parametrlərini yüksək dəqiqliklə və real zaman miqyasında avtomatik rejimdə ölçmək üçün istifadə olunan vasitələrin işlənməsi nəzəri və təcrübi xarakterli aktual tədqiqat məsələsidir.

Aparılmış analizlər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, məlum akselerometrlərdə həssaslıq vektorları və ölçülən ətalət qüvvəsi əks istiqamətə yönəldiyinə görə onlar kiçik həddə dəyişən xətti təcilləri ölçməyə imkan, lakin hərəkətdə olan ölçmə obyektinin sürətinin ölçülməsinə imkan vermir. Digər tərəfdən, elektromaqnit sahələri yaradan elementlərin olması səbəbindən onların konstruksiyası müəyyən dərəcədə mürəkkəbləşir və elektromaqnit təsirlərini aradan qaldırmaq üçün əlavə tədbirlərin görülməsi tələb olunur [5, s.11; 6, s.44-45; 7, 13s.; 8, s.163,164;].

Bununla əlaqədar olaraq pyezoelementin qütbləşmə vektoru akselerometrin həssaslıq oxunun, yəni hərəkətdə olan ölçmə obyektinin xətti təcil vektorunun istiqamətində yönəlməsini təmin edən pyezoelektrik vibrasiyalı və 3-koordinatlı akselerometrlərin işlənilib hazırlanması zəruriyyəti meydana çıxır. Buna görə də, dissertasiyasının işinin məqsədi pyezoelementin həssaslıq oxunun istiqaməti ilə ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsinin təmin olunması pyezoelektrik akselerometrin həssaslığını artırmağa və funksional imkanlarını genişləndirməyə imkan verir.

Avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçmək üçün istifadə olunan akselerometrlərdə işçi orqan kimi pyezoelementin və bunun əsasında pyezoelektrik akselerometrlərin tətbiq olunması məqsədəuyğun hesab olunur. Pyezoelektrik akselerometrlərin istifadəsi digər məlum akselerometrlərdən müəyyən üstünlüklərə malik olması ilə əlaqədardır. Pyezoelektrik akselerometrlər geniş işçi tezlik diapazonuna, aktiv xarakterli çevirməyə, AX-nın xətti olmasına və xarici təsirlərə qarşı yüksək dayanıqlığa malikdir. Bu cür akselerometrlərdə hərəkət edən hissələrin az olması hesabına onların yüksək etibarlılığı və uzunömrlülüüyü təmin edilir, istehsalda yüksək istehsal texnologiyasına malik kiçik ölçülü bir konstruksiyada yerinə yetirilir.

Bununla əlaqədar olaraq, real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin

dinamik parametrlərinin ölçülməsinə, pyzoelementin qütbləşmə vektorunu akselerometrin həssaslıq oxu istiqamətinə, yəni hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil vektorunun istiqamətinə yönəltməyə imkan verən pyzoelektrik akselerometrlərin, onların fəaliyyətinin riyazi əsaslarının, parametrlərinin analitik hesabat üsulunun və işləmə prosesinin riyazi modelinin işlənilib hazırlanması vacib məsələlərdən biridir.

II Fəsil. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN TEXNİKİ VASİTƏLƏRİN İŞLƏNMƏSİ

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən texniki vasitələr kompleksi özündə İÖS, ölçmə vasitələri kimi isə akselerometrləri və optik şüanın İÖS-nin blokları arasında, operatora və (və ya) idarəetmə sisteminə ötürülməsi üçün rabitə kanallarının təşkili zamanı tətbiq olunan prezision mövqeləşdirici qurğunu birləşdirir. Bu fəsildə texniki vasitələrin hər biri ayrı-ayrılıqda nəzərdən keçirilir.

2.1. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə sisteminin işlənməsi

Hərəkətdə olan ölçmə obyektlərinin müxtəlifliyi və sayının durmadan artması İOK-nin işlənməsi prosesinin zəruri olduğunu bir daha sübut edir. Baxılan halda İÖS hərəkətdə olan müxtəlif növ obyektlərin dinamik parametrlərinin (xətti təcil və sürətlərinin) ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın qəbul edilməsini, onun çevrilməsini, emalını, yadda saxlanılmasını, ötürülməsini, operator tərəfindən qəbul edilməsini və (və ya) idarəetmə sisteminə daxil edilməsini təmin edən rəqəmli və ya optik rabitə kanalları ilə bir-birinə bağlı olan əsas və köməkçi qovşaqlardan ibarətdir. Ona görə də, İÖS mürəkkəb ölçmə kompleksi olmaqla, onun tərkibinə daxil olan qovşaqların işləmə proseslərinin idarə edilməsi məqsədi ilə müasir kompyuter texnologiyalarından geniş istifadə olunur [9, s.192-196; 12, s.373-377; 15, 57-86; 50, 104 s., 52, s.127-140; 72, s.23-27].

Hərəkətdə olan müxtəlif növ obyektlərlə əlaqə saxlamaqla istifadə olunan İÖS-ləri 4 əsas qovşaqdan, yəni hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini bilavasitə ölçmə vasitələrindən, İÖS-dən, interfeysdən və həmin obyektlərlə İÖS arasında veriliş-qəbul kanallarını təşkil edən rabitə vasitələrindən ibarətdir.

1. Hərəkətdə olan obyektlərdə yerləşdirilmiş dinamik parametrlərini ölçən ölçmə vasitələri aşağıdakı funksiyaları yerinə yetirir:

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin həmin obyektə yerləşdirilmiş ölçmə vasitələri, yəni akselerometrələr vasitəsi ilə ölçülməsi;
- ölçmə nəticələrinin Yer in süni peykləri və peyk antenləri vasitəsi ilə İÖS-lərinə ötürülməsi.

2. Hərəkətdə olan obyektlərlə stabil əlaqəsi olan İÖS-ləri isə aşağıdakı funksiyaları yerinə yetirir:

- hərəkətdə olan ölçmə aparılan obyektlərlə stabil rabitənin təşkil edilməsi;
- ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın İÖS-ləri tərəfindən qəbul edilməsi, emal olunması, yadda saxlanması, ötürülməsi, operator tərəfindən qəbul edilməsi və (və ya) idarəetmə sisteminə daxil edilməsi;
- vahid avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminin olması;
- ölçülən müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin çoxkanallı rabitə kanalları vasitələri ilə ötürülməsi.

3. İnterfeys müxtəlif qurğular və alqoritmləri birləşdirən və bu qurğular arasında informasiyanın veriliş qaydasını təyin edən sxemlər toplusudur. İnterfeys dövrləri üç qrupa bölünür [12, s.373-377; 13, s.153-169; 15, 167 s.]:

- məlumat interfeysləri;
- ünvan interfeysləri;
- idarəedici interfeyslər.

İnterfeyslər proqram və fiziki interfeyslərə bölünürlər, onların vasitəsi ilə informasiya müəyyən kod və ya sözlər şəklində ötürülür. Verilənlər baytlarını, əmrləri və ünvanları bir-birindən ayırmaq üçün fərqləndirici kod elementlərindən istifadə olunur. Veriliş prosesini başlamaq, qurğuların işini sinxronlaşdırmaq və veriliş prosesini dayandırmaq üçün idarəedici siqnallardan istifadə olunur. İnterfeysin əsas xarakteristikası veriliş alqoritmindən və rabitə dövrlərinin texniki xarakteristikalarından asılı olan informasiyanın veriliş sürətidir. Sistemlərin modul prinsipi əsasında qurulması

məqsədi ilə müxtəlif qurğuların informasiya, elektrik və konstruktiv uzlaşmasını təmin edən standart interfeyslər işlənib hazırlanmış və geniş tətbiq olunur. Hal-hazırda qədər interfeyslərin müxtəlif strukturları zəncirvari, radial, magistral, radial-magistral topologiyalı bir- və ikipilləli interfeyslər şəklində yerinə yetirilir ki, bunlardan da hər biri mərkəzləşdirilmiş və ya qeyri-mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə oluna bilər.

İnterfeyslər vasitəsi ilə informasiya mübadiləsi sinxron və asinxron üsullarla həyata keçirilir. Sinyalların sinxron üsulla veriliş və qəbul prosesi əvvəlcədən qeyd olunmuş vaxtlarda yerinə yetirilir. Asinxron üsulla informasiya mübadiləsinin sürəti təsdiq signalı ilə müəyyən edilir. Bu üsul informasiya mübadiləsi zamanı müxtəlif sürətli funksional bloklardan istifadə olunduqda effektivdir. Cihazların vahid bir kompleks şəklində əlaqəsini təmin etmək üçün İÖS-lərində istifadə olunan mikroprosessor və mikro-EHM nəzarətçi, hesablama, test, xidməti və informasiyanın paylanmış şəkildə işlənməsi funksiyalarını yerinə yetirmək üçün istifadə olunur [9, s.192-196; 12, s.373-377; 15, 57-86; 50, 104 s., 52, s.127-140; 72, s.23-27].

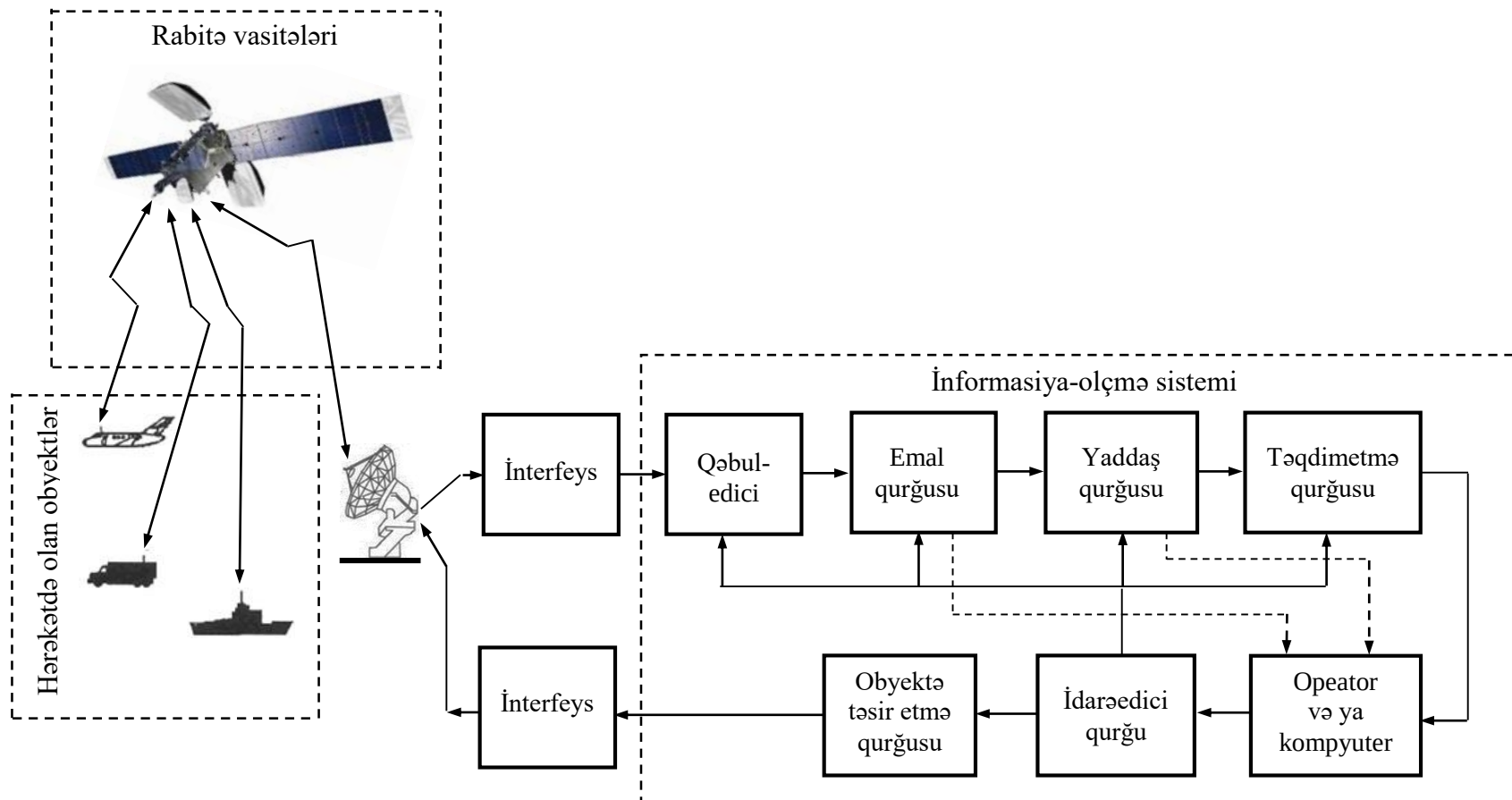
4. Hərəkətdə olan obyektlərlə İÖS-ləri arasında istifadə olunan rabitə vasitələri isə aşağıdakı funksiyaları yerinə yetirir [12, s.373-377; 13, s.153-169; 15, 167 s.]:

- hərəkətdə olan ölçmə obyektindən ölçülən dinamik parametrlər haqqında informasiyanı qəbul etmək;

- hərəkətdə olan ölçmə obyektindən ölçülən dinamik parametrlər haqqında informasiyanı İÖS-lərinə ötürmək;

- İÖS-nin təsiretmə qurğusundan idarəedici signalları qəbul etmək, hərəkətdə olan ölçmə obyektinə ötürmək və həmin idarəedici signallar əsasında obyektin dinamik parametrlərinin dəyişdirilməsi.

İÖS-lərinin əsas funksiyalarından biri də hərəkətdə olan obyektlərdən ölçülən dinamik parametrlər haqqında informasiyanın qəbul edilməsi, emal olunması, yadda saxlanması, informasiyanın operatora və ya kompyutera ötürülməsi, ölçmə aparılan obyektlərə idarəedici təsirlərin formalaşdırılması və s. əsasında işlənib hazırlanmış İÖS-nin struktur sxemi şəkil 2.1.1-də verilmişdir [72, s. 23-27].



Şəkil 2.1.1. İnformasiya-ölçmə sisteminin struktur sxemi

İşlənmiş İÖS-nin tərkibinə aşağıdakı qurğular daxildir [72, s. 23-27]:

- ölçmə qurğusu - buraya ilkin və ikinci ölçmə çeviriciləri, ölçü ilə müqayisə, kvantlama, kodlama əməliyyatlarını yerinə yetirən tərkibinə analoq-rəqəm çeviriciləri daxil olan ölçmə qurğuları, eləcə də kommutatorlar daxildir;

- ölçmə nəticələrini müəyyən alqoritm üzrə emal edən qurğu;
- informasiyanın yadda saxlanması qurğusu;
- ölçmə nəticələrini qeydiyyat və ya indikator vasitəsi ilə təqdim etmə qurğusu;
- İÖS-nin bütün qovşaqlarının qarşılıqlı əlaqəsini təşkil edən idarəedici qurğu;
- stimullaşdırıcı təsir generatorları da daxil olmaqla obyektə təsiretmə qurğusu;
- qurğulararası rəqəmli və optik rabitə kanalları;
- qurğulararası qoşulma zamanı istifadə olunan mövqeləşdirici qurğular.

Informasiya İÖS-dən operatora verilə bilər və yaxud kompyutera ötürülə bilər.

Operator və kompyuter sisteminin işçi proqramını dəyişdirməklə idarəetmə qurğusuna təsir etmə imkanı yaradılır. Yerinə yetirdiyi funksiyaların xarakterindən asılı olaraq bəzi İÖS-lərinin tərkibində obyektə təsiretmə, informasiyanı saxlama və emal qurğuları olmaya da bilər. İÖS-in tərkibinə kompyuter daxil olduqda informasiya bu kompyutera bilavasitə emal və ya yaddaş qurğularından qurğularından daxil ola bilər.

Beləliklə, təklif olunan İÖK hərəkətdə olan obyektlərdən ölçülən dinamik parametrlər haqqında informasiyanın qəbul edilməsi, emalı, yadda saxlanması, informasiyanın operatora və ya kompyutera ötürülməsi, ölçmə aparılan obyektlərə idarəedici təsirlərin formalaşdırılması proseslərini yerinə yetirir.

2.2. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən vibrasiyalı pyezoelektrik akselerometrin işlənməsi

Hal-hazırda real zaman miqyasında hərəkətdə olan ölçmə obyektinin xətti təcilini ölçən və eləcə də onun mövqedən çıxarılmasına cəhd göstərilməsini təyin edən pyezoelektrik vibrasiyalı təcil ölçən akseleromerlər məlumdur. Analizlərin

nəticələri göstərir ki [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s.; 8, s.163,164; 27, 6s., 30, s.37-46; 35, s.22-25; 42, s.61-63; 48, s.20-26; 49, s.207-236], mövcud təcil ölçən akselerometrlərdə elektromaqnit sahəsi yaradan elementlərin sayının çox olması səbəbindən onların konstruksiyaları müəyyən dərəcədə mürəkkəbləşir və yaranan elektromaqnit sahələrinin ölçmə prosesinin dəqiqliyinə təsirini aradan qaldırmaq üçün əlavə tədbirlərin görülməsi zəruriyyəti meydana çıxır. Bundan başqa mövcud akselerometrər əsasən vibrasiya və zərbə nəticəsində yaranan təcillərin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur, bu cür akselerometrlər hərəkətdə olan obyektlərin sürətlərini ölçməyə imkan vermir [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s.; 8, s.163,164]. Bununla əlaqədar real zaman miqyasında hərəkətdə olan ölçmə obyektlərinin xətti təcil və sürətlərini ölçən vibrasiyalı pyezoelektrik akselerometrin işlənilib hazırlanması üçün aparılmış analizlərin nəticələri əsasında texniki mahiyyətinə görə təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrə ən yaxın olan “Pyezoelektrik akselerometr” məlumdur [27, 6 s.].

Məlum akselerometr gövdəyə vintli yayla sıxılmış ətalət elementinin kütləsindən, həmin elementə paralel qoşulmuş, sıxılma və dartılma deformasiyalı pyezohəssas elementdən ibarətdir. Lakin məlum akselerometrin həssaslığının kiçik olması nisbətən kiçik həddə dəyişən xətti təcillərin ölçülməsini təmin etmir, o yalnız ölçmə obyektinin şaquli istiqamətli vibrasiyalar və zərbələr nəticəsində yaranan təcillərinin ölçülməsi prosesini yerinə yetirir [27, 6 s.].

Məlum obyektin konstruksiyasından göründüyü kimi akselerometrin həssaslıq oxunun istiqaməti pyezoelektrik elementin polyarizasiya vektorlarının istiqaməti ilə eyni şaquli istiqamətə yönəldiyi və ölçmə obyektində vibrasiya və zərbələrin də şaquli istiqamətdə baş verməsi ilə, yəni həssaslıq vektorlarının istiqamətləri ölçülən ətalət qüvvələrinin istiqaməti ilə müxtəlif tərəflərə istiqamətləndiyi üçün kiçik həddə dəyişən xətti ətalətlərin və yalnız təcilin ölçülməsini həyata keçirir, lakin sürətin ölçülməsini isə təmin etmir.

Məlumdur ki, xətti sürətlə hərəkət edən obyektin pyezohəssas elementinin seksiyasına təsir ağırlıq qüvvə ətaləti vahidində baş verir və bu pyezoelektrik elementin elektrodlarından alınan gərginliyin təşkiledicisinin yaranmasına səbəb olur.

Pyezoelementin ətalət momenti onun ətalət kütləsinin sferik şəkilli həndəsi forması ilə əlaqədar olub, aşağıdakı kimi təyin olunur [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46]:

$$i = l_2 \cdot l_3^3 / 12, (m^4) \quad (2.2.1)$$

burada l_2 – pyezoelementin eni (m); l_3 –pyezoelementin qalınlığıdır (m).

Pyezoelementin sərtliyi isə aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$C = l_1 / 3 \cdot E_y \cdot i, (H/m) \quad (2.2.2)$$

burada l_1 –pyezoelementin uzunluğu (m); E_y –Yunq modulu, materialın elastik deformasiyası zamanı dartılma və sıxılmaya qarşı müqavimət göstərmə qabiliyyətini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətdir (H/m^2).

Məlum obyektə (2) ifadəsinə əsasən pyezoelementin sərtliyinin nisbətən yüksək olması ilə pyezohəssas elementin elektrodlarından alınan 0,5mV gərginliyə malik siqnalın yaranması üçün xətti ətalət qüvvəsinin (F_{wx}) qiyməti pyezohəssas elementə təsir edən xətti ətalət qüvvəsinin qiymətindən 5...6 dəfə böyük olmalıdır və aşağı həssas zonasında yerləşdiyi üçün kiçik xətti ətalətlərin ölçülməsini təmin edir.

Belə bir akselerometrin işlənilib hazırlanmasında əsas məqsəd pyezoelementin həssas oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi hesabına pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrin həssaslığının artırılması və funksional imkanlarının genişləndirilməsidir [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46].

Qoyulan məsələ onunla həll edilir ki, təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr gövdənin oturacaq hissəsində vintli yayla sıxılmış, dartılma və sıxılma mexaniki deformasiyalı pyezohəssas elementdən, onun üzərinə bərkidilmiş ətalət elementindən, bununla yanaşı pyezohəssas elementin polyarizasiya vektorunun akselerometrin həssas oxuna istiqamətləndirilməsindən ibarət olub, o çıxıntılı yastı

metal lövhə ilə təchiz edimişdir, hansının ki enli səthinə hər iki yan tərəfdən pyezoelektrik lövhələr qaynaq edilmişdir, belə ki onlar çoxtəbəqəli pyezoelektrik bimorf vibrator təşkil edir, hansı ki bərkidici qəlibdə qoyulmuşdur və gövdədə şaquli istiqamətdə yerdəyişməsinin tənzimlənməsinin mümkünlüyünün təmin edilməsi ilə əlaqədar vintli yayla sıxılmışdır, belə ki elastik sferik kütlə şəklində metal ətalət kütləsi yastı metal lövhənin çıxıntı hissəsində vibratorun sərbəst uc tərəfində, onun orta hissəsində isə metaldan kub şəklində yerinə yetirilmiş pyezoelektrik bimorf vibratorun enli səthlərində hər iki tərəfindən möhkəm bərkidilmişdir, hansıların ki mexaniki əyilmə rəqsləri ölçmə obyektinin xətti ətalət vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşür, bununla bərabər pyezoelektrik bimorf vibratorun elektrodları iki bir-birindən izolyasiya zolaqları ilə ayrılmış seksiyadan ibarətdir, belə ki onlardan biri - həyəcanlandırma seksiyasının elektrodları - dəyişən gərginlik mənbəyinə qoşulmuşdur, digəri isə - pyezohəssas elementin seksiyasının elektrodları - diferensial əməliyyat gücləndiricisinin girişinə birləşdirilmişdir, hansının ki birinci çıxışı birinci indikatorun girişinə qoşulub, onun ikinci çıxışı isə integrator vasitəsilə ikinci indikatorun girişinə birləşdirilmişdir [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46; 32, s.159].

Zamanın istənilən anında pyezoelementin sərbəst ucunun təcilinin vektorunu zaman vektoruna görə diferensiaslamaqla aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\vec{i} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}, \quad (2.2.3)$$

burada $\vec{i}$ – pyezoelektrik bimorf elementin sərbəst ucunun təcili (m/s^2), $\vec{v}$ – sürət (m/s), t – zaman (s), r – hərəkət trayektoriyasıdır.

Əgər pyezoelektrik bimorf elementin sərbəst ucunun hərəkət trayektoriyasını $\vec{r}(t) = \vec{r}_0$ və t_0 – zaman anında $\vec{i} = (t)$ – təcilinin zamandan asılılığını nəzərə alsaq, onda (4) tənliyini integrallamaqla sərbəst ucun hər bir t – zaman koordinatını və $\vec{v}$ – sürətini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_{t_0}^t \vec{i}(t) dt, \quad (2.2.4)$$

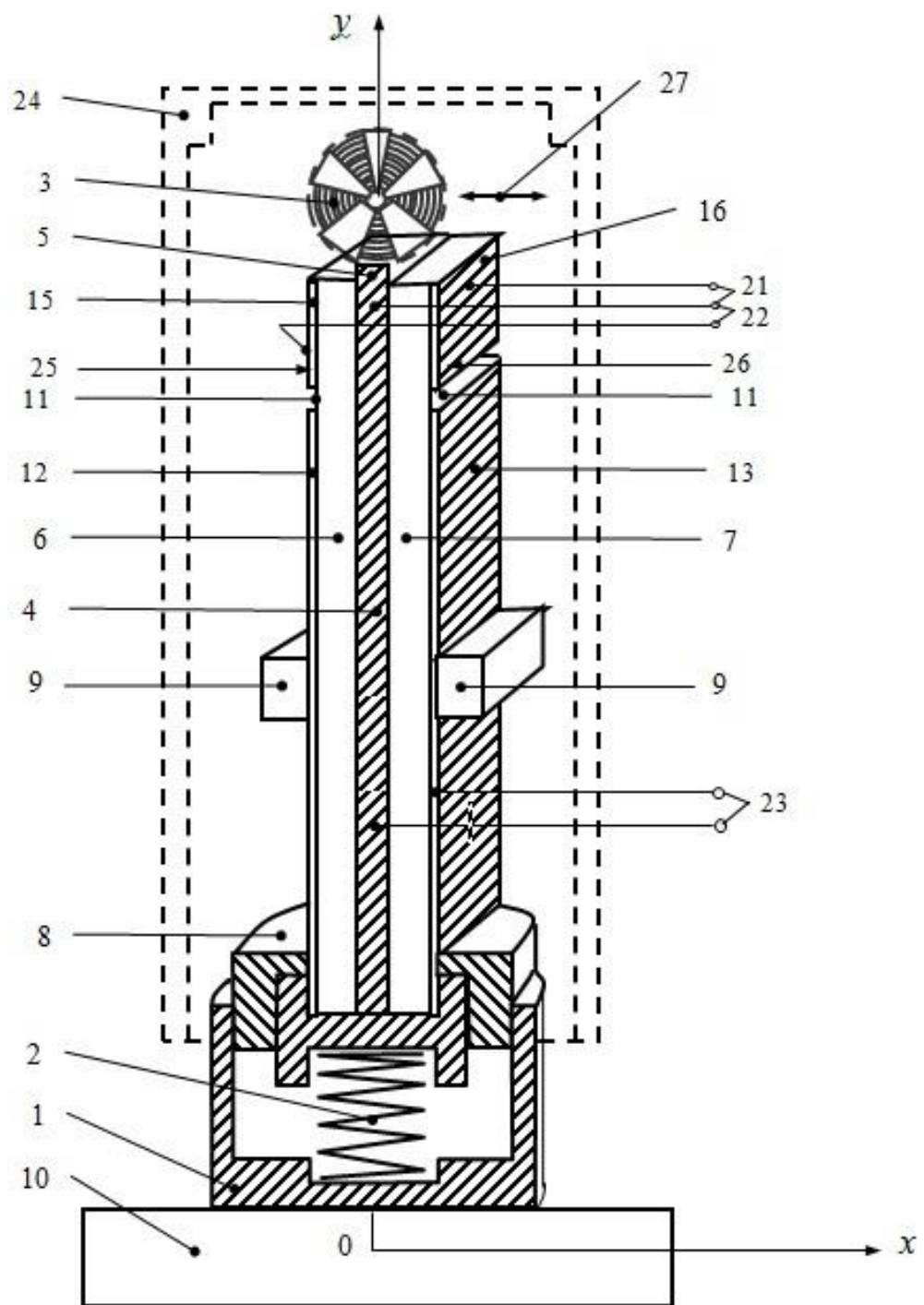
$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + (t - t_0) \vec{v}_0 + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t \vec{i} dt^2. \quad (2.2.5)$$

Ümumi halda, əgər $\vec{i}$ vektoru zamana görə sabitdirsə, onda bu hərəkət bərabərtəcilli hərəkət sayılır və bunu nəzərə alaraq (4) və (5) ifadələrini sadələşdirərək aşağıdakı riyazi asılılıqları alırıq:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + (t - t_0) \cdot \vec{i}, \quad (2.2.6)$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + (t - t_0) \cdot \vec{v}_0 + \frac{(t - t_0)^2}{2} \cdot \vec{i}. \quad (2.2.7)$$

Bu riyazi modelə əsaslanaraq pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr işlənmişdir ki, şəkil 2.2.1-də ölçmə obyektinin hərəkət oxuna nəzərən akselerometrin konstruktiv sxemi verilmişdir [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46].

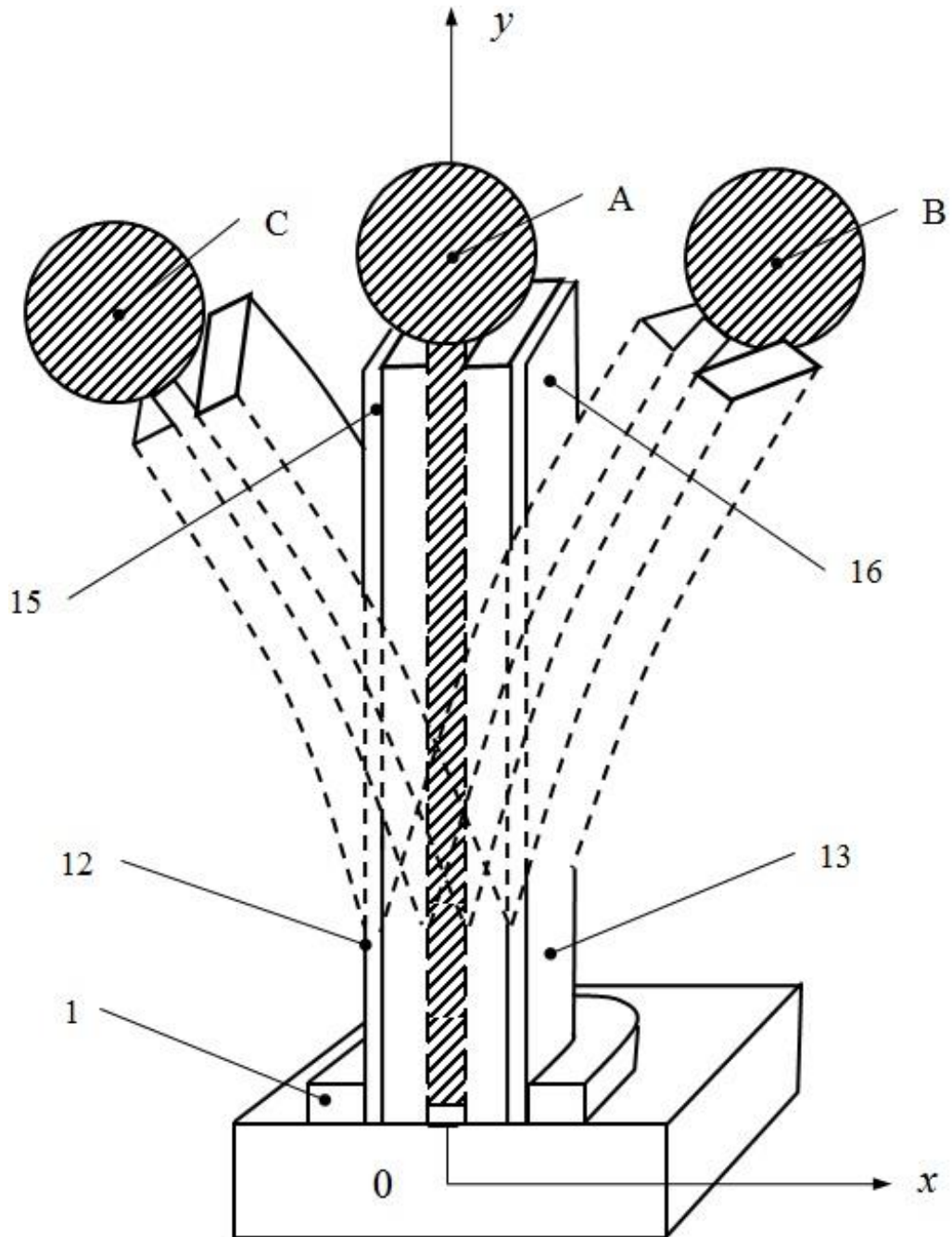


Şəkil 2.2.1. Ölçmə obyektinin hərəkət oxuna nəzərən akselerometrin konstruktiv sxemi

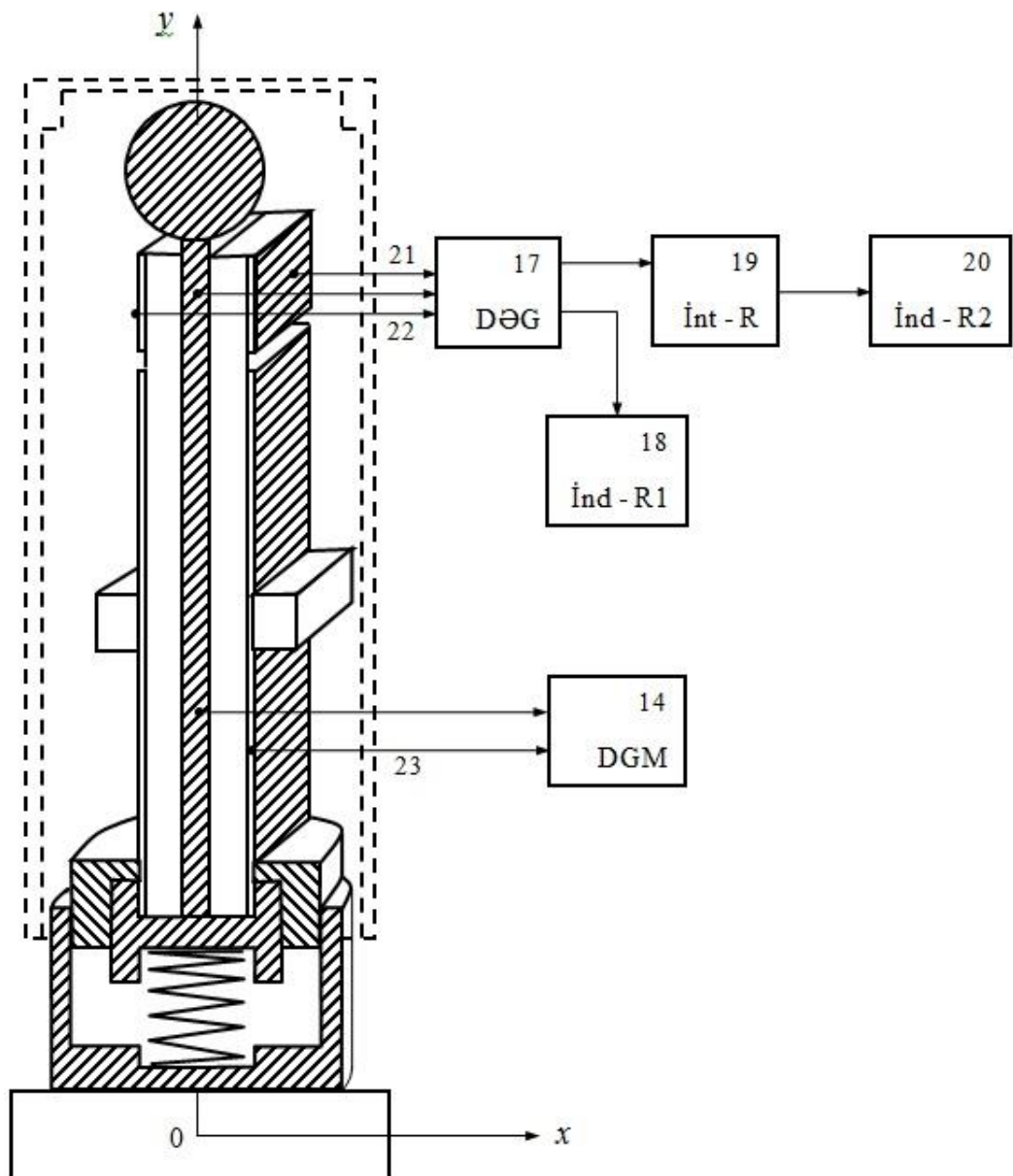
Təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr gövdəyə -1 vintli yayla -2 sıxılmış, dartılma və sıxılma mexaniki deformasiyalı pyezohəssas elementindən, onun üzərində bərkidilmiş ətalət kütləsindən -3, bununla bərabər pyezohəssas elementin polyarizasiya vektorunun akselerometrin həssas oxuna istiqamətləndirilməsindən ibarətdir. Akselerometr yastı metal lövhə -4 şəklində çıxıntı -5 ilə yerinə yetirilmişdir, hansının ki enli səthinə hər iki yan tərəfindən qaynaq vasitəsi ilə pyezoelektrik lövhələr -6,7 bərkidilmişdir, belə ki onlar bərkidici qəlibdə -8 yerləşdirilmiş çoxtəbəqəli pyezoelektrik bimorf vibratorunu təşkil edir, şaquli istiqamətdə yerdəyişməsinin tənzimlənməsinin mümkün edən vintli yayla sıxılmışdır, belə ki sferik ətalət kütləsi şəklində lövhənin çıxıntı hissəsində vibratorun sərbəst uc tərəfində, onun orta hissəsində isə metal kub -9 şəklində yerinə yetirilmiş pyezoelektrik bimorf vibratorun enli səthlərində hər iki tərəfdən möhkəm bərkidilmişdir, hansıların ki mexaniki əyilmə rəqsləri ölçmə obyektinin -10 xətti ətalət vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşür, bununla bərabər pyezoelektrik bimorf vibratorun elektrodları iki biri-birindən izolyasiya zolaqları -11 ilə ayrılmış seksiyalardan ibarətdir, onlardan biri - həyəcanlandırma seksiyasının elektrodları - 12,13 dəyişən gərginlik mənbəyinə -14 qoşulmuşdur, digəri isə - pyezohəssas elementinin seksiyasının elektrodları -15,16 diferensial əməliyyat gücləndiricisinin - 17 girişinə qoşulmuşdur, hansının ki birinci çıxışı birinci indikatorun -18 girişinə qoşulmuş, ikinci çıxışı isə integrator -19 vasitəsi ilə ikinci indikatorun -20 girişinə qoşulmuşdur. Pyezohəssas elementinin elektrik əlaqə sıxaqları -21,22 və həyəcanlandırma seksiyasının elektrik əlaqə sıxaqları -23 uyğun olaraq onların elektrodlarına qoşulmuşdur. Akselerometri xarici mexaniki təsirlərdən mühafizə etmək üçün tərpənməz qapaqdan -24 və ətalət kütləsinin sərbəst hərəkətini təmin etmək üçün isə tərpənməz qapağın içinin yuxarı hissəsinin ortasında kəsik sferik şəkilli boşluqdan -25 istifadə olunur [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46].

Şəkil 2.2.2-də pyezoelektrik vibratorun (şərti olaraq) dinamik rejimdə işçi vəziyyətinin sxemi, 2.2.3-də isə pyezoelektrik vibratorun dempferinin uzununa oxunun konstruksiyasının bərkidici elementləri və pyezohəssas elementlərin çıxışında

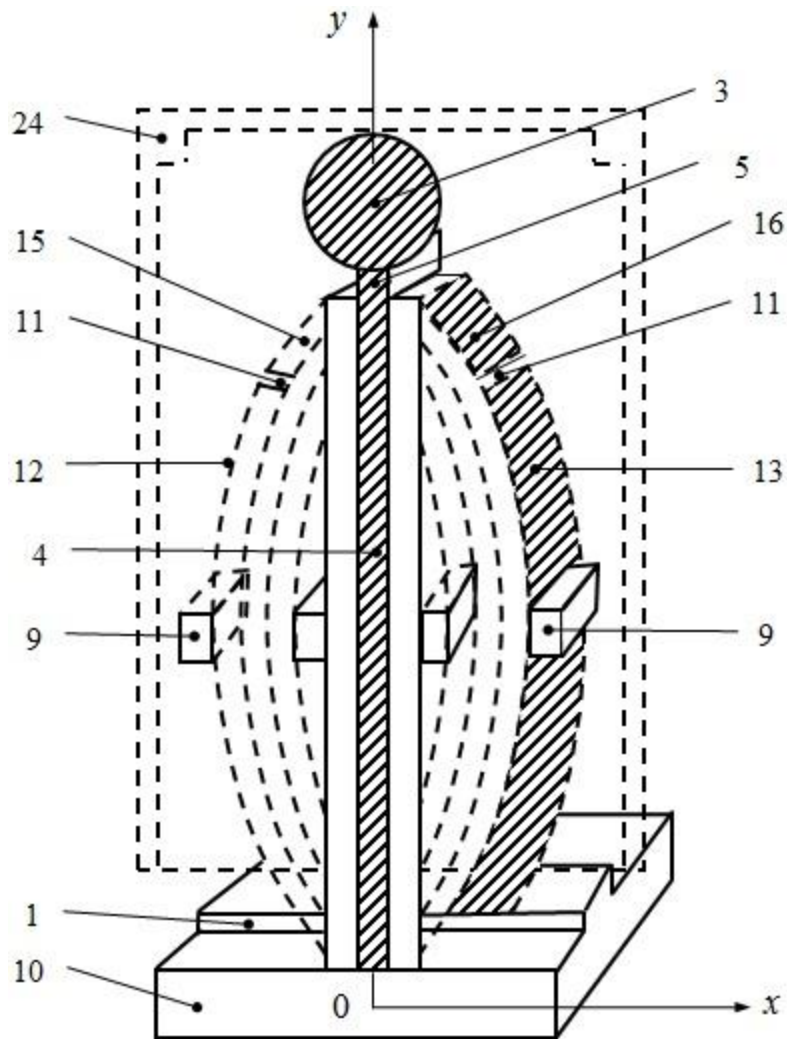
yaranan çıxış siqnallarının emalı prosesini yerinə yetirən elektron bloklar və həmçinin sferik formalı elastik kütlənin vasitəsi ilə bimorf vibratorun sərbəst ucunun bərkidilməsinin konstruksiyası və ətalət kütləsinin qarşılıqlı yerləşdirilməsi və şəkil 2.2.4-də isə sərbəst ucu ilə şarnirli bərkidilmiş pyezoelektrik bimorf vibratorun ortasında bərkidilmiş ətalət kütləsinin dinamika mexaniki deformasiya rəqsləri göstərilmişdir.



Şəkil 2.2.2. Pyezoelektrik vibratorun dinamik rejimdə işi vəziyyətinin sxemi



Şəkil 2.2.3. Pyzoelektrik bimorf vibratorun bərkidici elementləri və çıxış siqnallarının emalı prosesini yerinə yetirən elektron bloklar



Şəkil 2.2.4. Akselerometrin sərbəst ucu ilə şarnirli bərkidilmiş pyezoelektrik vibratorun ortasında bərkidilmiş ətalət kütləsinin dinamikada mexaniki deformasiya rəqsləri

Təklif olunan “Pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr” aşağıdakı kimi işləyir [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46]:

Dəyişən gərginlik mənbəyindən -14 pyezoelektrik bimorf vibratorun həyəcanlandırma seksiyasının -12, 13 elektrik əlaqə sıxacları -23 vasitəsi ilə gərginlik verməklə onun xüsusi tezliklərinin birində həyəcanlandırılır, eyni zamanda pyezoelektrik lövhəciyə -12 düz (müsbət) polyarlıqlı, digər pyezoelektrik lövhəciyə -13 isə əks (mənfi) polyarlıqlı gərginliyin verilməsi nəticəsində lövhəcik -12 uyğun olaraq uzununa dartılma deformasiyasına (şəkil 2.2.2, uzanır), digər lövhəcik -13 isə

sıxılma deformasiyasına (şəkil 2.2.2, qısalır) məruz qalır ki, bu da pyezoelektrik bimorf vibratorun sağ tərəfə əyilməsinə (şəkil 2.2.2, pozisiya B) gətirib çıxarır.

Pyezoelektrik bimorf vibrator ətalət kütləsi ilə birlikdə dəyişən işarəli əyilmə rəqsləri yerinə yetirir və ölçmə obyektinin -10 oxunun uzununa istiqamətində " V_x " xətti sürətlə hərəkət edir. Ölçmə obyektini -10 xətti sürətlə hərəkət edərkən ona xətti ətalət qüvvələri təsir edir ki, bu da pyezohəssas elementin seksiyalarının deformasiyasına gətirib çıxarır, hansı ki eyni zamanda seksiyalara -15,16 ötürülür. Seksiyada -12 dartılma deformasiyası baş verərək uzanır, seksiya -15 isə mexaniki sıxılma deformasiyasına uğrayır (şəkil 2.2.1). Pyezohəssas elementin həssas oxunun istiqamətinin polyarizasiya vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi onun ölçülərinin bu istiqamətdə kiçilməsinə gətirib çıxarır. Göstərilən seksiyanın -15 ölçülərinin kiçilməsi onun elektrodunun səthində yaranan elektrik yükünün bir qədər azalmasına səbəb olur.

Seksiyanın -16 mexaniki uzununa dartılması uyğun olaraq səthi elektrik yükünün sıxlığının artmasına, bununla sıxılma deformasiyasından fərqli əks işarəli potensiallar fərqi yaranmasına səbəb olur. Seksiyaya -12,13 verilən gərginliyin polyarlığının dəyişməsi hesabına əks istiqamətdə əyilmə deformasiyası baş verir ki, bu da pyezoelektrik bimorf vibratorun əks istiqamətə əyilməsinə (şəkil 2.2.2, pozisiya C) səbəb olur. Bununla pyezohəssas elementin seksiyalarına -15,16 vibrasiyalı ətalət qüvvəsi təsir edir və bu təsir ağırlıq qüvvəsinin ətaləti vahidliyində baş verir, bu da pyezoelektrik bimorf vibratorun tezliyinin həyəcanlandırma tezliyinə uyğun olaraq seksiyalardan -15,16 gərginlik təşkiledicisinin yaranmasına gətirir. Pyezohəssas elementin seksiyalarının elektrodlarından -15,16 gərginlik əməliyyat gücləndiricisinin -17 diferensial girişinə verilir (şəkil 2.2.3).

Ölçmə obyektinin -10 uzununa "ox" absis oxu istiqamətində artan sürətlə hərəkəti nəticəsində yaranan təcil (W_x), ətalət kütləsinin -3 ətalətə malik olması hesabına qurğunun gövdəsinin -1 hərəkətindən geri qalır və pyezoelektrik vibrator əlavə əyilmə deformasiyasına uğrayır ki, bu da pyezohəssas seksiyalara ötürülür, ölçmə obyektinin təcilinin dəyişmə qanununa uyğun bir seksiyanın -15 sıxılma, digər

seksiyanın -16 isə dartılma deformasiyasına səbəb olur. $\Delta U = U_1 - U_2$ gərginliklər fərqi əsasən diferensial əməliyyat gücləndiricisinin -17 çıxışında yaranan gərginlik ölçülən təcillə və integratorun çıxışından daxil olan signal xətti sürətin "V" təşkiledicisi ilə də düz mütənasibdir. Integratorun -19 çıxışından alınan gərginlik indikatora -20 (şəkil 2.2.3) verilir və bu ölçmə obyektinin -10 yerdəyişmə sürətini göstərir. Şəkil 2.2.3-də təsvir olunan akselerometrin iş rejimi şəkil 2.2.1 və şəkil 2.2.2-də təsvir olunan akselerometrin iş rejimi ilə analojidir. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, pyezoelektrik bimorf vibratorun sərbəst ucu elastik sferik metal kütlə -3 vasitəsi ilə tərpənməz qapaq -24 üzərində şarnirli qoyulmuşdur, mexaniki əyilmə rəqsləri həyəcanlandırılır və onun həssas oxu ölçmə obyektinin xətti təcilinin istiqaməti ilə üst-üstə düşür (şəkil 2.2.4).

Belliklə, təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr məlum obyektlərlə müqayisədə aşağıdakı üstünlüklərə malikdir [5, s.11; 6, s.44,45; 7, 13s., 8, s.163,164; 30, s.37-46]:

1. Akselerometrin çıxıntılı yastı metal lövhə ilə təchiz edilməsi, onun üstündə ətalət kütləsinin pyezohəssas elementinin seksiyasına yaxın məsafədə bərkidilməsi ətalət qüvvəsinin təsirini artırır və bununla da pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrin həssaslığının artırılması təmin edilir.

2. Yastı metal lövhənin enli səthinə hər iki yan tərəfdən çoxtəbəqəli pyezoelektrik bimorf vibratorunu təşkil edən pyezoelektrik lövhələrin qaynaq edilməsi və bərkidici qəlibdə yerləşdirilməsi, vibratorun elektrodlarının iki biri-birindən izolyasiya zolaqları ilə ayrılması və pyezoelektrik bimorf vibratorunun həyəcanlandırma seksiyasının elektrodlarının dəyişən gərginlik mənbəyinə qoşulması pyezoelektrik bimorf vibratorun əyilmə deformasiyalarına gətirib çıxarır, pyezohəssas elementin seksiyasının elektrodlarının diferensial əməliyyat gücləndiricisinin girişlərinə qoşulması isə alınan gərginliyin amplitudasının artması hesabına vibratorun həssaslığının 3...4 dəfə artırılması təmin edilir.

3. Sferik metal ətalət kütləsinin pyezoelektrik bimorf vibratorun yastı metal lövhəsinin çıxıntılı hissəsində möhkəm bərkidilməsi, onun orta hissəsində isə metal kub şəkilli ətalət kütləsinin pyezoelektrik bimorf vibratorunun enli səthlərində hər iki

tərəfdən möhkəm bərkidilməsi, hərəkət vaxtı yaranan ətalətin təsirinin artması və pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrin iki iş rejimində işləmə imkanının olması akselerometrin funksional imkanlarının genişləndirilməsini təmin edir, akselerometr həm hərəkət vaxtı yaranan təcilin və həm də integrator vasitəsi ilə signalı integrallamaqla sürətin ölçülməsini təmin edir.

Təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr ölçmə texnikası sahəsinə aid olub, uçuş aparatlarının xətti təcillərinin və sürətlərinin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur və dreyfin çox kiçik sürətlərində naviqasiya avadanlıqlarında, həmçinin, neft quyularının qazılması zamanı maillik bucağının ölçülməsində istifadə edilə bilər.

2.3. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini avtomatik rejimdə ölçən üçkoordinatlı akselerometrin işlənməsi

Hal-hazırda real zaman miqyasında hərəkətdə olan ölçmə obyektinin xətti təcilini ölçən və eləcə də onun mövqedən çıxarılmasına cəhd göstərilməsini təyin edən vibrasiyalı təcil ölçən akselerometrler məlumdur [27, 11s.]. Analizlərin nəticələri göstərir ki, mövcud təcil ölçən akselerometrlərdə elektromaqnit sahəsi yaradan elementlərin sayının çox olması səbəbindən onların konstruksiyaları müəyyən dərəcədə mürəkkəbləşir və yaranan cəm elektromaqnit sahəsinin ölçmə prosesinin dəqiqliyinə təsirini aradan qaldırmaq üçün əlavə tədbirlərin görülməsi zəruriyyəti meydana çıxır. Bundan başqa mövcud akselerometrler əsasən vibrasiya və zərbə nəticəsində yaranan yalnız təcillərin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur, bu cür akselerometrlər hərəkətdə olan obyektlərin sürətlərini ölçməyə imkan vermir. Bunla əlaqədar real zaman miqyasında hərəkətdə olan ölçmə obyektinin xətti təcil və sürətlərini ölçən vibrasiyalı pyezoelektrik akselerometrin işlənilib hazırlanması üçün aparılmış analizlərin dəqiqləşdirilməsi əsasında texniki mahiyyətinə görə təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrə ən yaxın olan “Pyezoelektrik vibrasiyalı təcili ölçən akselerometr” məlumdur [27, 6s.; 31, s.29-35; 32, s.159; 33, s.125; 34, 8s., 35, s.22-25; 36, s.78-83].

Texniki mahiyyətinə görə təklif olunan “Avtomatik rejimdə ölçmə obyektinin təcil və sürətini ölçən üçölçülü akselerometr”ə ən yaxın olan “Üçkoordinatlı pyezoelektrik akselerometr” məlumdur [27, 6s.].

Bu akselerometr düzbucaqlı koordinat sisteminin “XYZ” oxları istiqamətində yerləşdirilmiş pyezoelektrik həssas elementdən, pyezoelektrik həssas elementlə mexaniki əlaqəli olan ətalət elementindən ibarətdir [27, 6s.].

Məlum akselerometrə obyektin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı təcilin “XYZ” üç koordinat üzrə avtomatik rejimdə ölçülməsi, həssaslıq oxu ilə uyğun gəlməyən köndələn rəqslər yaranan zaman hərəkət istiqamətinin izlənilməsi, eləcə də təcilin integrallama imkanının olmaması ilə əlaqədar obyektin hərəkət sürətinin ölçülməsi zamanı böyük çətinliklər yaranır və bu da akseleromerin funksional imkanlarını məhdudlaşdırır.

Obyektin düzbucaqlı koordinat sisteminin oxlarından biri üzrə hərəkəti zamanı həssas elementlər öz aralarında gövdə vasitəsi ilə möhkəm birləşdirilən içiboş silindrlər şəklində yerinə yetirildiyinə görə həmin oxlar üzrə maneə signalı yaranan köndələn mexaniki rəqsləri aradan qaldıran dempferin olmaması səbəbindən faydalı signalın ayrılması, ölçmə obyektinin həmin ox üzrə təcil və sürətinin ölçülməsi lazımı dəqiqliyi və doğruluğu təmin etmir.

Həll olunan məsələ “XYZ” düzbucaqlı koordinat sistemində ölçmə obyektinin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı düzbucaqlı koordinat sisteminin “XYZ” oxlarına nəzərən xətti təcilin və sürətin avtomatik rejimində ölçülməsinin dəqiqliyi və doğruluğunun artırılması və funksional imkanlarının genişləndirilməsidir [34, 8s.].

Təklif olunan ölçmə obyektinin avtomatik rejimdə təcil və sürətini ölçmək üçün “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin oxları istiqamətində yerləşdirilən pyezoelektrik həssas elementlərindən, pyezoelektrik həssas elementlə mexaniki əlaqəli olan ətalət elementindən ibarət üçölçülü akselerometrə pyezoelektrik elementlər öz aralarında geniş həddə yapışdırılmış və ya qaynaq edilmiş, bir-birindən kanalcıqlar vasitəsi ilə izole edilmiş həyəcanlandırma və həssas elementin seksiyalarına malik ikitəbəqəli müstəvi lövhələr şəklində yerinə yetirilmişdir, özü də pyezoelektrik elementlər uzununa koordinat oxları üzrə “II” – şəkilli yastı yaylar

vasitəsi ilə dempferlənmişdir, bu halda ölçü obyektı üçkoordinatlı vəziyyət vericiləri ilə təhciz olunmuşdur, hansıların ki elektrodları birinci diferensial əməliyyat gücləndiricisinin birinci girişinə qoşulmuş, hansının ki ikinci girişinə “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin oxlarını seçmə blokunun çıxışı qoşulmuş, birinci diferensial əməliyyat gücləndiricisinin üç koordinat oxları üzrə çıxışları təsadüfi siqnallar ardıcılığının dövr üzrə emal imkanına malik aşkarlama blokunun sədd qurğusunun birinci, ikinci və üçüncü girişlərinə qoşulmuş, idarəetmə kod vericisinə və idarəedici bloka qoşulmuş, hansıların ki çıxışları üç koordinat oxları üzrə triqqlərin idarəedici girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki çıxışları elektron açarların girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki çıxışları elektron açarların girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki siqnal giriş və çıxışları uyğun olaraq “XYZ” koordinat oxlarının dəyişən gərginlik mənbəyinin çıxışlarına və pyezoelektrik elementlərin həyəcanlandırma elektrodlarına, “XYZ” koordinat oxlarının həssas elementlərinin elektrodları “XYZ” koordinat oxlarının diferensial əməliyyat gücləndiricilərinin girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki birinci çıxışları impuls formalaşdırıcıları vasitəsi ilə birinci rəqəmli indikatora qoşulmuş, diferensial əməliyyat gücləndiricilərinin ikinci çıxışları impuls formalaşdırıcıları vasitəsi ilə ikinci rəqəmli indikatorun girişlərinə qoşulmuş, ətalət kütləsi həssas elementlər üzərində bərkidilmiş, akselerometrin bütün elementləri isə qoruyucu örtükdə yerləşdirilmişdir [34, 8s.].

Təklif olunan obyektin məlum obyektlə [27, 6s.] müqayisəli analizi aparılmış və aşağıdakı çatışmazlıqları qeyd olunmuşdur:

1. Məlum akselerometrə təcilin inteqrallanması üçün inteqrator qurğusunun olmaması ölçmə obyektinin hərəkət sürətinin ölçülməsi təmin edilmir.

2. Məlum akselerometrə (prototipdə) “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin üç koordinat oxlarından biri üzrə ölçmə obyektinin hərəkəti zamanı digər iki ox üzrə pyezoelektrik həssas elementlərin onların bünövrəsi vasitəsi ilə möhkəm bərkidilməsi amplitudası faydalı siqnalın amplitudasını böyük olan maneə siqnalı yaradır ki, ölçmə obyektinin təcil və sürətinin lazımi ölçmə dəqiqliyini və doğruluğunu təmin etmir.

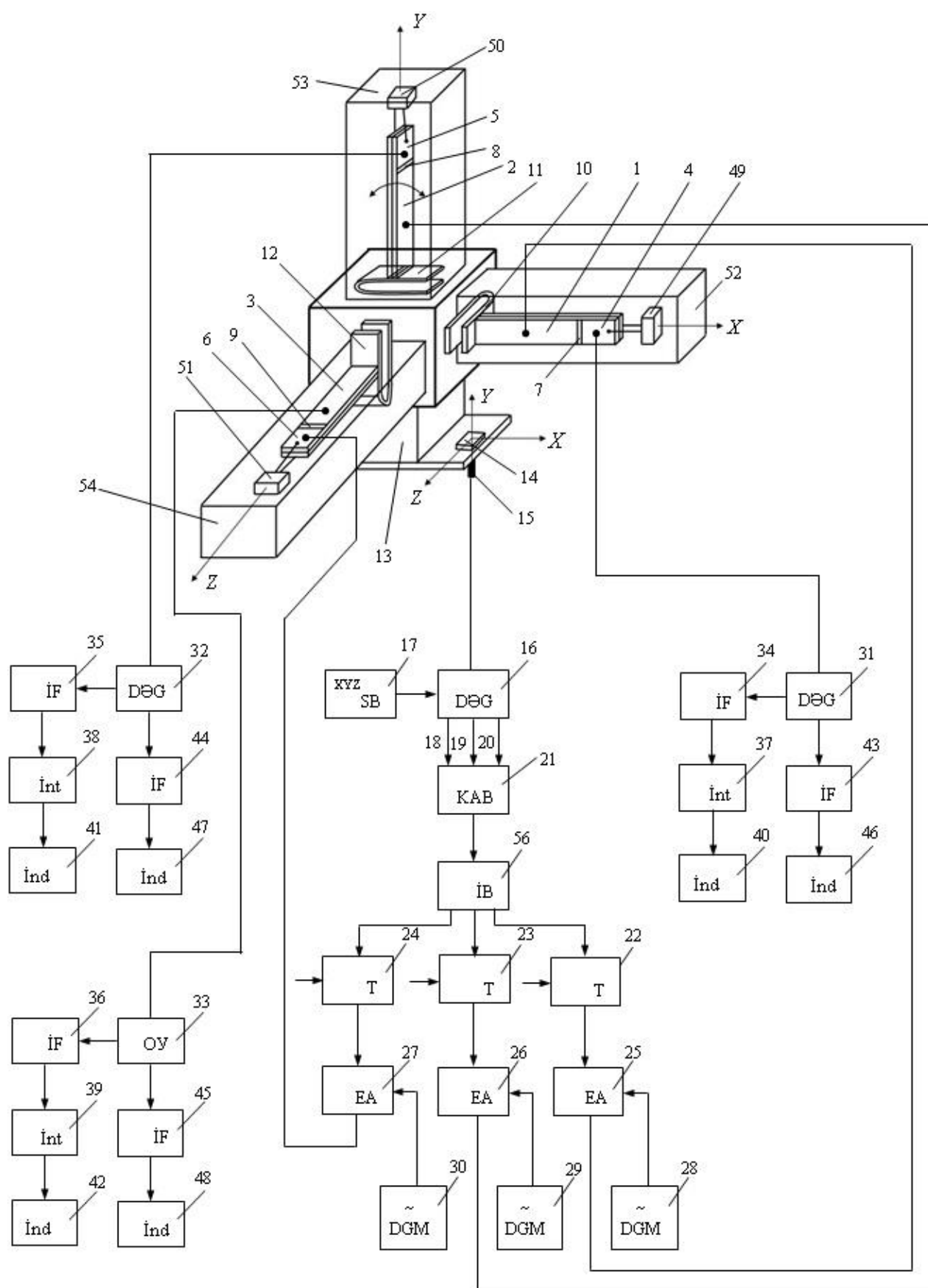
3. Ölçmə obyektinin hərəkəti zamanı təcil və sürətin nisbətən kiçik qiymətlərində faydalı siqnalların istehsal edilməsi zamanı böyük amplitudalı

mexaniki təsir tələb edən yüksək sərtliliyə malik həssas silindrik pyezoelementlərdən ibarət olduğuna görə məlum akselerometrin həssaslığı nisbətən aşağıdır.

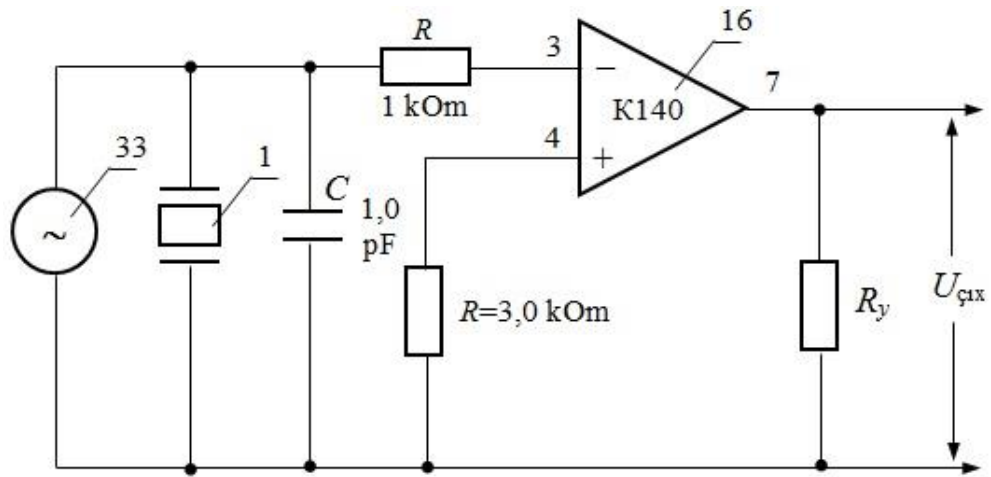
4. Məlum akselerometr də onun konstruksiyasında ölçmə obyektinin vəziyyət vericisinin və elektron idarəetmə sxeminin olmamasına görə ölçmə obyektinin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı təcilin və sürətin “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin üç koordinat oxları üzrə avtomatik rejimdə ölçülməsi təmin olunmur.

Yuxarıda qeyd edilənlərin müqayisəli analizi göstərir ki, təklif olunan obyektin sadalanan əlamətləri mühüm əlamətlərdir və göstərilmiş texniki nəticəyə nail olmağa bilavasitə təsir edir, həssaslığı, ölçmə obyektinin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomatik rejimdə təcil və sürətin XYZ düzbucaqlı koordinat sisteminin oxlarına nəzərən ölçülmə dəqiqlik və doğruluğunu artırmağa, funksional imkanları genişləndirməyə imkan verir, yəni bu əlamətlər göstərilən texniki nəticə ilə cəbəbnəticə əlaqəsindədir.

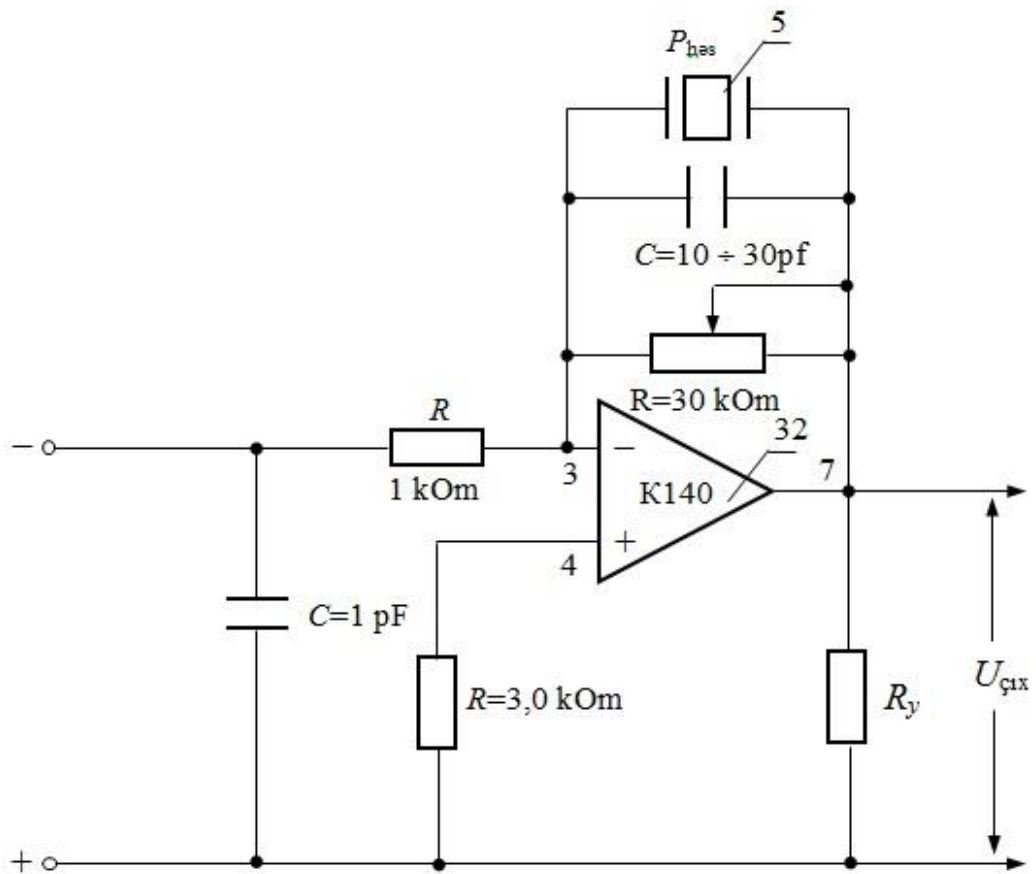
Avtomatik rejimdə ölçmə obyektinin xətti təcil və sürətini ölçən üçkoordinatlı akselerometrin struktur və elektron idarəetmə sxemi şəkil 2.3.1-də, şəkil 2.3.2-də həyəcanlandırma və şəkil 2.3.3-də isə həssas elementlər seksiyası qoşulmuş diferensial əməliyyat gücləndiricisinin sxemi, şəkil 2.3.4-də isə siqnalların amplituda və tezliyinə görə aşkarlama sxemi verilmişdir [34, 8s.].



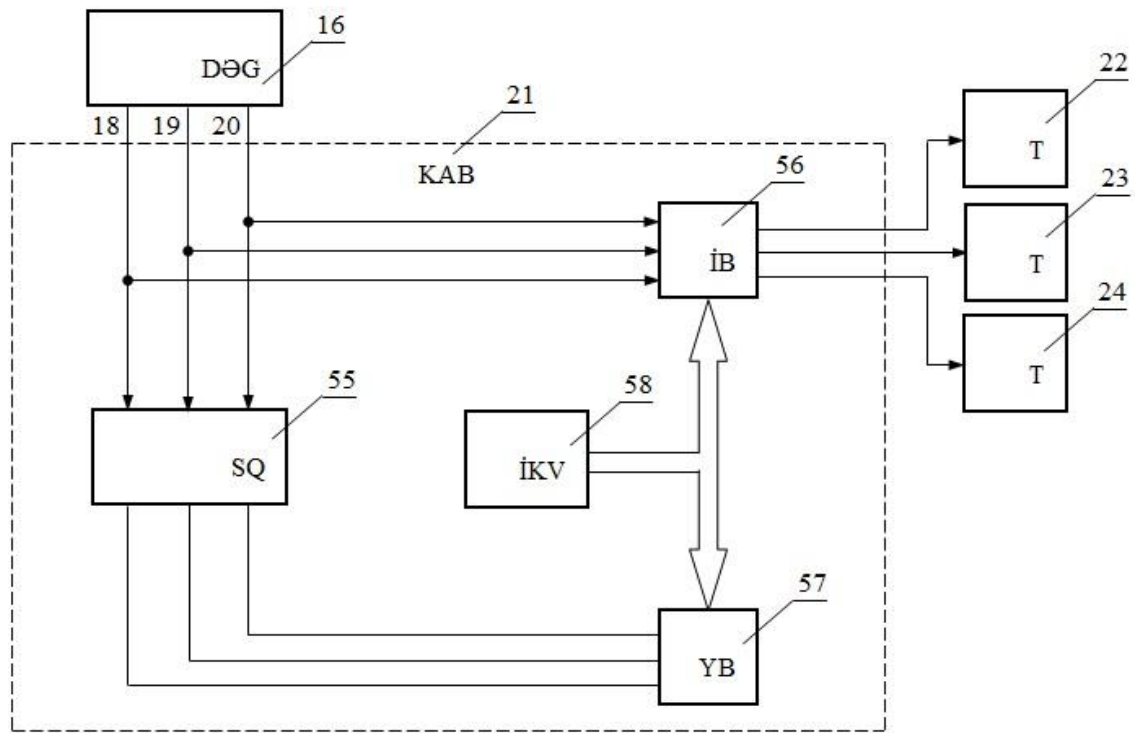
Şəkil 2.3.1. Üçkoordinatlı akselerometrin struktur və elektron idarəetmə sxemi



Şəkil 2.3.2. Həyəcanlandırma seksiya qoşulmuş diferensial əməliyyat gücləndiricisinin sxemi



Şəkil 2.3.3. Həssas elementlər seksiya qoşulmuş diferensial əməliyyat gücləndiricisinin sxemi



Şəkil 2.3.4. Siqnalların amplituda və tezliyinə görə aşkarlanma sxemi

Təklif olunmuş avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən üç koordinatlı akselerometr öz aralarında geniş həddə yapışdırılmış və ya qaynaq edilmiş, bir-birindən izolə kanalcıqları -7,8,9 vasitəsi ilə izole edilmiş, həyəcanlandırma seksiyasına -1,2,3 və həssas elementin seksiyasına -4,5,6 malik ikitəbəqəli müstəvi lövhələr şəklində yerinə yetirilmiş pyezoelektrik elementlərdən, özü də pyezoelektrik elementlər uzununa koordinat oxları üzrə “Π” - şəkilli yastı yaylar -10,11,12 vasitəsi ilə dempferlənmişdir, bu halda ölçmə obyektini -13 üçkoordinatlı vəziyyət vericiləri -14 ilə təhciz olunmuşdur, hansıların ki elektrodları -15 birinci diferensial əməliyyat gücləndiricisinin -16 birinci girişinə qoşulmuş, hansının ki ikinci girişinə “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin oxlarını seçmə blokunun -17 çıxışı qoşulmuş, birinci diferensial əməliyyat gücləndiricisinin -16 üç koordinat oxları üzrə çıxışları təsadüfi siqnallar ardıcılığının dövr üzrə emal imkanına malik aşkarlama blokunun -21 sədd qurğusunun -22 birinci -18, ikinci -19 və üçüncü -20 girişlərinə qoşulmuş, idarəetmə kod vericisinə -24 və idarəedici bloka -25 qoşulmuş, hansıların ki çıxışları üç koordinat oxları üzrə triqqlərin -26,27,28 idarəedici girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki çıxışları elektron açarların -29,30,31

girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki siqnal giriş və çıxışları uyğun olaraq “XYZ” koordinat oxlarının dəyişən gərginlik mənbəyinin -32,33,34 çıxışlarına və pyezoelektrik elementlərin həyəcanlandırma elektrodlarına, “XYZ” koordinat oxlarının hassas elementlərinin elektrodları “XYZ” koordinat oxlarının diferensial əməliyyat gücləndiricilərinin -35,36,37 girişlərinə qoşulmuş, hansıların ki birinci çıxışları impuls formalaşdırıcıları -38,39,40 vasitəsi ilə birinci rəqəmli indikatoruna -41,42,43 qoşulmuş, hansıların ki ikinci çıxışları impuls formalaşdırıcıları -44,45,46 və integratorlar -47,48,49 vasitəsi ilə ikinci rəqəmli indikatorun 50,51,52 girişlərinə qoşulmuş, ətalət kütləsi həssas elementlər üzərində bərkidilmiş, özü də akselerometrin bütün elementləri qoruyucu örtükdə -56,57,58 yerləşdirilmişdir (şəkil 2.3.1-2.3.4) [34, 8s.].

Avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən üç koordinatlı akselerometr aşağıdakı kimi işləyir [34, 8s.].

Hərəkətdə olan ölçmə obyektinin -13 tələb olunan hərəkət istiqamətindən asılı olaraq əvvəlcə seçmə blokunda -17 “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin oxlarından biri üzrə ilkin vəziyyətə gətirilir.

“X” oxu istiqamətində ölçmə obyektinin -13 hərəkəti zamanı əvvəlcə üçkoordinatlı vəziyyət vericisi -14 ölçmə obyektinin -13 hərəkət rəqslərini qəbul edərək, onun çıxışında alınan siqnallar diferensial əməliyyat gücləndiricisinin -16 girişinə daxil olur. Gücləndirilmiş siqnal sədd qurğusu -22 vasitəsi ilə (şəkil 2.3.4) koordinatları aşkarlama blokuna -21 daxil olur, hansılar ki yaddaş blokuna -23 ötürülür, idarəetmə kod vericisinin -24 çıxışından siqnallar yaddaş blokuna -23 və idarəetmə blokuna -25 daxil olur, hamsının ki çıxışından ayrılmış tezlik zolağında amplitudasına, tezliyinə və ya orta qiymətinə görə siqnallar aşkarlanır. Siqnalın amplitudası “Y” oxu üzrə maksimal olduğuna görə düzbucaqlı koordinat sisteminin “Y” oxu üzrə üçkoordinatlı vəziyyət vericisində -14 həssaslıq oxunun istiqaməti ölçmə obyektinin -13 “X” oxu üzrə hərəkət istiqaməti ilə üst-üstə düşür, koordinatları aşkarlama blokunun -21 çıxışından siqnallar triggerin -27 idarəedici girişinə verilir, hansıların ki çıxışından siqnallar elektron açarın -30 idarəedici girişinə daxil olur. Bu halda dəyişən gərginlik mənbəyinin -33 çıxışından elektron açarın -30 siqnal girişinə

verilir, hansının ki signal çıxışından gərginlik pyezoelektrik elementin həyəcanlandırma seksiyasının -2 elektrodlarına ötürülür və onda istiqaməti həssas elementin -5 həssaslıq oxunun vektoru ilə üst-üstə düşən dəyişən işarəli əyilmə rəqsləri yaradır (şəkil 2.3.1).

Ölçmə obyektinin -13 xətti hərəkəti zamanı “X” oxu istiqamətində sürətin dəyişməsindən asılı olaraq ətalət kütləsi -54 özünün ətalətliliyi səbəbindən ölçmə obyektinin -13 gövdəsindən axrada qalır və ya onu qabaqlayır ki, bu da həssas elementə -5 təsir edən ətalət gücü yaradır və onun təcilin dəyişməsinə mütənasib signallar yaradan əyilmə deformasiyasına gətirib çıxarır. Həmin signallar diferensial əməliyyat gücləndiricisinin -36 girişinə daxil olur (şəkil 2.3.3). Bu signallar gücləndirilərək impuls formalayıcısı -39 vasitəsi ilə və ölçmə obyektinin -13 düzxətli ölçülən hərəkət təcilini göstərən rəqəm indikatoruna -42 ötürülür, impuls formalayıcısından -45, integratordan -48 və rəqəmli indikatora -51 keçən signallar ölçmə obyektinin -13 ölçülən hərəkət sürətini göstərir.

Düzbucaqlı koordinat sisteminin digər iki “Y” və “Z” oxlarına nəzərən ölçmə obyektinin -13 düzxətli hərəkət təcil və sürətinin ölçülməsi avtomatik rejimdə yuxarıda qeyd olunan ardıcılığa analoji olaraq yerinə yetirilir. Üçkoordinatlı vəziyyət vericisinin -14 diferensial əməliyyat gücləndiricisinin -16 və koordinatların aşkarlama blokunun -21 köməyi ilə ölçmə obyektinin -13 hərəkət istiqamətindən asılı olaraq X, Y və Z koordinat oxlarının qoşulması avtomatik olaraq yerinə yetirilir.

Belliklə, təklif olunan “Avtomatik rejimdə ölçmə obyektinin təcil və sürətini ölçən üçkoordinatlı akselerometr” məlum obyektlərlə müqayisədə aşağıdakı üstünlüklərə malikdir [27, 6s.; 34, 8s.]:

1. Təklif olunan akselerometr”in “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin üç koordinat oxlarının aşkarlama blokunun köməyi ilə ölçmə obyektinin üçkoordinatlı vəziyyət vericisi ilə təhciz olunması ölçmə obyektinin hərəkəti zamanı xətti təcil və sürətin ölçülməsi vasitəsi ilə X,Y və ya Z oxlarının təyin olunması təmin edilir.

2. Təklif olunan akselerometrdə diferensial əməliyyat gücləndiricisinin ikinci çıxışlarının impuls formalayıcıları və integratorlar vasitəsi ilə ikinci rəqəm indikatorlarının girişlərinə qoşulması “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin hər üç

koordinat oxlarına nəzərən ölçmə obyektinin hərəkət sürətinin də ölçülməsi təmin edilir.

3. Təklif olunan akselerometrə pyezoelektrik elementlərin “XYZ” düzbucaqlı koordinat sisteminin üç koordinat oxları “II” - şəkilli yastı yaylar vasitəsi ilə dempferlənməsi hesabına ölçmə obyektinin oxlardan biri üzrə hərəkəti zamanı təcil və sürətinin ölçmə dəqiqliyi və doğruluğu digər iki oxlar üzrə yaranan maneə siqnalları onların söndürülməsi yolu ilə əhəmiyyətli dərəcədə azaldılması hesabına artırılır, belə ki maneə siqnallarının amplitudalarını yaradan mexaniki rəqslərin istiqaməti pyezoelektrik elementlərin düzbucaqlı koordinat sisteminin oxları boyunca yönəlir.

4. Təklif olunan akselerometrə pyezoelementin konstruksiyasında mexaniki rəqslərin həyəcanlandırma seksiyasının, həmçinin, ölçmə obyektinin xətti hərəkət təcilinin və sürətinin tez dəyişməsi zamanı siqnalları istehsal edən həssas elementin seksiyasının olması akselerometrin həyəcanlandırma yaradan vibrasiya rejimində həssas elementlərdən siqnalın alınması hesabına siqnalın amplitudası və həssaslıq 4-5 dəfə yüksəldilir.

5. Təklif olunan akselerometr ölçmə texnikası sahəsinə aid olub, obyektin düzbucaqlı koordinat sistemində üç koordinat oxu üzrə hərəkəti zamanı avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərdə, həmçinin, qazma zamanı qazma borularının yerdəyişmə bucağının ölçülməsi tələb olunan quyular qazılan zaman istifadə edilə bilər.

2.4. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin qurğulararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi

Optik telekommunikasiya şəbəkələrinin (OTS) inkişaf istiqamətlərinin və müasir vəziyyətinin analizi optimallaşdırılan yeni komponent bazasının tətbiqi və informasiya texnologiyalarından istifadə etməklə optik-lifli rabitə xətlərinin (OLRX) yeni komponentlərinin işlənməsi problemini qarşıya qoyur. Bu problem optik

telekommunikasiya sistemlərinin (OTS) təkmilləşdirilməsinin ilk növbədə həllini tələb edən məsələlər sırasında olduğunu ön plana çəkir ki, bunun da həlli müxtəlif tətbiq şəraitində onların təşkilədicilərinin çoxluğu üzrə OTS-in effektivliyini müqayisə olunacaq dərəcədə artırmağa imkan verməlidir.

Optik şüanın və OLRX-nin optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun (OPMQ) işləmə effektivliyi bir çox kriteriyalarla təyin olunur ki, bunlara da optik lifə daxil edilən optik şüanın enerji potensialının artırılması, mövcud OLRX-nin istifadə effektivliyinin artırılmasını, dispersiyanın azaldılmasını, aralıq regenerasiya məntəqələrinin sayının azaldılmasını, optik şüanın və optik liflərin mövqeləşdirmə prosesinin istifadə olunmasının əsas qanunauyğunluqlarının tədqiqini və optik şüanın maksimum enerji potensialının optik liflərə daxil edilməsini aid etmək olar [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.]. Bu qurğular razılaşdırma parametrləri, yəni optik şüanın enerji potensialının optik lifə daxil edilməsi, qurğu tərəfindən daxil edilən sönmə, dalğa uzunluğu və ya tezliklərin işçi diapazonu, gücün buraxıla bilən səviyyəsi ilə xarakterizə olunur. Bununla əlaqədar mövqeləşdirmə prosesinin dəqiq yerinə yetirilməsi məsələsi ən aktual və vacib tədqiqat məsələlərdən biridir. Optik liflərin razılaşdırılmamış mövqeləşdirmə prosesi əlavə itkilərə və optik şüanın təhrif olunmasına gətirib çıxarır. Ona görə də, optik şüanın və optik liflərin OPMQ-nun xarakteristikalarının qiymətləndirilməsi üçün kriteriyalar sisteminin müəyyənləşdirilməsi məsələləri zəruri olan və həllini tələb edən məsələlərdəndir.

OPMQ-nin işlənməsi ilə bağlı məlum qurğuların qurulma prinsiplərinin, onların işini xarakterizə edən kriteyilərin analizi aparılmış və bu göstəricilər sistemləşdirilmişdir. Bu göstəricilər sisteminə mövqeləşdirmə müddəti (2...10 ms), mövqeləşdirmə prosesi zamanı daxil edilən itkilər (3...10 dB), qurğunun çıxışında mövqeləşdirilən optik şüanın sönmə əmsalı (qurğunun növündən asılı olaraq 40...50 dB-dən 10...15dB-ə qədər dəyişir) və s. aiddir. Bu kriteyilərin və onların ədədi qiymətlərinin sistemləşdirilməsi bilavasitə yeni OPMQ-nun işlənməsi ilə bağlıdır.

Optik şüanın OPMQ-nun işlənməsi prosesi optik şüa mənbələrinin, optik şüa qəbulədicilərinin və həm də optik liflərin xarakteristikaları ilə bilavasitə bağlı olub, optik şüanın maksimal mümkün enerjisinin optik lifə, optik lifdən isə optik şüa

qəbuledicinə ötürülməsini təmin etməlidir. Optik şüanın mövqeləşdirməsi zamanı daxil edilən kiçik itkilərlə və böyük sürətlə optik liflərin mikro-, nanometr və daha kiçik dəqiqliklə yerdəyişməsi zəruriyyəti meydana çıxır. Ona görə də, optik şüanın OPMQ işləyərkən optik liflərin səlis yerdəyişməsini təmin edən işçi orqan kimi pyezoelementlərdən istifadə olunması təklif olunur. Bu da onların yüksək dəqiqliyə və sürətə, kiçik xəyata və sönməyə, yüksək həlletmə qabiliyyətinə, mikroaddımlı xətti yerdəyişmə qabiliyyətinə, yüksək möhkəmliyə, kiçik ölçülərə və kütləyə malik olması ilə bağlıdır. Bununla yanaşı pyezoelementlər hərəkətsiz vəziyyətdə, o cümlədən qida mənbəyi dövrədən açıldıqda bir neçə mikro- və nanometr dəqiqliklə əvvəlki vəziyyətinin saxlanılmasını təmin edir, artıq yüklənməyə dayanıqlıdır, maqnit sahəsi yaratmır və onların təsirinə məruz qalmır [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.].

Optik şüanın OPMQ-nin işlənməsi ilə əlaqədar qoyulan məsələni həll etmək üçün bu qurğunu xarakterizə edən kriteriyalar sistemi əsasında məqsəd funksiyasının formalaşdırılması zəruri məsələdir.

Optik şüanın optik lifə daxil edilmə effektivliyi “Optik şüa mənbəyi - optik lif - fotoqəbuledici” sisteminin əsas göstəricisi olub, bu zaman mövqeləşdirmə prosesinin effektivliyi optik şüanın optik lifə daxil edilən maksimal mümkün enerjisinin qiymətindən asılıdır.

Məqsəd funksiyası optik şüanın əksolunma itkisinin, qurğu tərəfindən daxil edilən sönmənin, modun stasionar vəziyyətinin təyin olunma uzunluğunda şüalanmaya görə yaranan itkinin, mövqeləşdirmə prosesində yaranan xətanın, optik şüanın gücünün optik lifə daxil edilmə əmsalının ədədi qiymətlərindən və optik şüanın optik lifə daxil edilməsi zamanı optik şüanın mövqeləşdirmə prosesinin əsas qanunauyğunlarının tədqiqi əsasında formalaşdırılır. Optik şüanın mövqeləşdirilməsi və optik lifə daxil edilməsi prosesinin effektivliyinin təmin olunması OPMQ-nun optimal iş rejimini təmin edən məqsəd funksiyasının formalaşdırılması və onun arqumentlərinin optimal qiymətlərinin təyin olunması ilə bağlıdır. Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq məqsəd funksiyası kimi təklif olunan mövqeləşdirmə prosesinin effektivliyini aşağıdakı asılılıqla ifadə etmək olar [71, s.378-392; 73, p.117-122]:

$$E_{m\ddot{o}v} = \left\{ \min[t_{m\ddot{o}v}, a_{ds}, A_0, A_{\ddot{y}i}, \Delta_{m\ddot{o}v}], \max[\nu_{m\ddot{o}v}, \eta = P_{dg} / P_{\ddot{c}g}] \right\}, \quad (2.4.1)$$

burada $t_{m\ddot{o}v}$ –mövqeləşdirmə prosesinə sərf olunan müddət; a_{ds} –mövqeləşdirmə prosesində kvant selinin OPMQ tərəfindən daxil edilən sönmə; A_0 –optik siqnalın əksolunma itkisi; $A_{\ddot{y}i}$ –şüalanma itkiləri; $\Delta_{m\ddot{o}v}$ –mövqeləşdirmə prosesində yaranan xəta; $\nu_{m\ddot{o}v}$ –mövqeləşdirmə sürəti; $\eta = P_{dg} / P_{\ddot{c}}$ –optik şüanın gücünün optik lifə daxiləldilmə əmsalı, burada P_{dg} –optik şüanın optik lifə daxil edilən gücü; $P_{\ddot{c}g}$ –optik şüa mənbəyinin çıxış gücüdür.

Optik şüanın OPMQ-nun işlənməsi ilə əlaqədar aparılmış analizlərin nəticələri göstərir ki, optik şüanın OPMQ işlənərkən onun konstruksiyası elə seçilməlidir ki, qurğu tərəfindən daxil edilən sönmə az olsun, cərəyan sıxlığı böyük olduqda normal iş rejimi təmin edilsin və optik şüanın optik lifə daxil edilməsi prosesinin effektivliyi artırılsın.

Texniki mahiyyətinə görə təklif olunan qurğuya ən yaxın olan “Şüa istiqamətinin optoelektron dəyişdiricisi”dir [9, s.192-196; 38, s.88-98].

Bu qurğu addım mühərrikindən, əməliyyat gücləndiricisindən, hesabi qurğudan, müqayisə sxemindən, seçmə blokundan, məntiqi açardan, dəyişən cərəyan generatorundan, elektron açardan, triqqerdən, fotodioddan, silindrik səthə malik olan fırlanan ox üzərində bərkidilmiş optik şüa əksətdiricisindən, hansına ki 45° bucaq altında sıxılmış addım mühərrikinin pyezoelementindən, fotodiodun elektrik sıxacları əməliyyat gücləndiricisinə, hesabi qurğuya, müqayisə sxeminə, məntiqi açarın və triqqerin vasitəsi ilə elektron açarının girişinə qoşulmasından, hansının ki siqnal girişinin və siqnal çıxışının uyğun olaraq dəyişən cərəyan generatorunun çıxışına və pyezoelementin elektrodlarına qoşulmasından, seçmə blokunun çıxışının isə müqayisə sxeminin ikinci girişinə qoşulmasından ibarətdir.

Optik şüanın düzgün istiqamətləndirilməsi və enerjisinin tam ötürülməsi zamanı məlum qurğunun dəqiqliyinin nisbətən aşağı olmasıdır ki, bu da

mövqələşdirillən optik şüanın əksetdirici güzgüyə yönləndilməsi ilə əks olunan optik şüanın lifli işıq ötürücüsünə bucaq altında düşməsi ilə əlaqədardır.

Bununla yanaşı məlum qurğuda silindrik səthə malik valın fırlanma oxunun mərkəzindən birbaşa keçən radial istiqamətdə dəşiklərin olması, belə ki dəşiklərin bir tərəfində işıq diodu, digər tərəfində isə fotodiodun yerləşdirilməsi, ultrasəs tezlikli gərginliyin dəyişən cərəyan generatorunun çıxışından addım mühərrikinin pyezoelementinin elektrodlarına verilməsi, silindrik valın dayandırılması zamanı ultrasəs rezonans tezlikli rəqslərin sönməsi prosesinin 3-4 san davam etməsi və mexaniki rəqslərin tam sönməsinin ləngiməsi səbəbindən silindrik valın irəliyə sürüşməsi prosesi baş verir ki, bu da optik şüanın yüksək dəqiqliklə mövqələşdirilməsini təmin etməyə imkan vermir. Digər tərəfdən optik şüanın dəqiq mövqələşdirilməsi prosesi silindrik valın üzərində radial dəşiklərin açılması və hazırlanma texnologiyasının dəqiqliyindən asılıdır və bunun da həlli təcrübi olaraq müəyyən çətinliklər törədir.

Optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusunun işlənməsində əsas məqsəd optik şüanın mövqələşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasıdır [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98; 39, s.45,46].

Qarşıya qoyulan məsələ onunla həll edilir ki, optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu addım mühərrikindən, əməliyyat gücləndiricisindən, hesabi qurğudan, müqayisə sxemindən, seçmə blokundan, məntiqi açardan, dəyişən cərəyan generatorundan, birinci elektron açarından, birinci triqqerdən, fotodioddan, fırlanan ox üzərində bərkidilmiş silindrik valdan, hansına ki 45^0 bucaq altında sıxılmış addım mühərrikinin pyezoelementindən, optik şüa əksetdiricisindən, fokuslayıcı linzadan, fotodiodun elektrik sıxacları əməliyyat gücləndiricisinə, hesabi qurğuya, müqayisə sxeminə, məntiqi açarın və birinci triqqerin vasitəsi ilə birinci elektron açarının girişinə qoşulmasından, hansının ki signal girişinin və signal çıxışının uyğun olaraq dəyişən cərəyan generatorunun çıxışına və pyezoelementin elektrodlarına qoşulmasından, seçmə blokunun çıxışının isə müqayisə sxeminin ikinci girişinə qoşulmasından ibarət olub, qurğuya əlavə olaraq pyezosaxsı əyləc elementi daxil edilmişdir, hansı ki addım mühərrikinin pyezoelementinə nəzərən silindrik vala 90^0

bucaq altında bərkidilmişdir, belə ki məntiqi açarın ikinci çıxışı birinci faza sürüşmə dövrəsinin girişinə, hansının ki çıxışı ikinci triqgerin ikinci girişinə birləşdirilmişdir, hansının ki çıxışı ikinci elektron açarının idarəedici girişinə qoşulmuşdur, onun siqnal girişi və siqnal çıxışı isə uyğun olaraq birinci sabit cərəyan generatorun çıxışına və pyezosaxsı əyləc elementinin elektrodlarına qoşulmuşdur, işıq ötürücü kabellərin optik lifləri qurğunun gövdəsində seksiyalarda yerləşdirilmişdir, optik şüa siqnalının optik liflər vasitəsi ilə qəbul edilməsi üçün seksiyalar üzərində fotodiodlar qoyulmuşdur, hansıların ki elektrik sıxaqları əməliyyat gücləndiricisinin girişinə qoşulmuşdur, hansının ki ikinci çıxışları ikinci faza sürüşməsi dövrəsinin girişinə birləşdirilmişdir, hansının ki çıxışı impuls formalayıcısının girişinə qoşulmuşdur, hansının ki çıxışı müqayisə blokunun idarəedici girişinə qoşulmuşdur, onun ikinci girişinə etalon gərginlik blokunun çıxışı qoşulmuşdur, onun birinci çıxışı üçüncü triqgerin idarəedici girişinə, ikinci çıxışı isə əks əlaqəli avtomatik tənzimləyici blokun idarəetmə girişinə birləşdirilmişdir, onun çıxışı isə ikinci sabit cərəyan generatorunun idarəedici girişinə qoşulmuşdur, hansının ki çıxışı üçüncü elektron açarın siqnal girişinə, siqnal çıxışı isə qurğuya əlavə daxil edilmiş pyezosaxsı bimorf elementinin elektrodlarına qoşulmuşdur, üçüncü triqgerin çıxışı üçüncü elektron açarının idarəetmə girişinə qoşulmuşdur [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98; 39, s.45,46; 41, s.159-164; 43, s.27-30].

Təklif olunan qurğu məlum obyektlə müqayisədə yeni mühüm əlamətlərlə fərqlənir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 43, s.27-30]:

1. Pyezosaxsı əyləc elementinin daxil edilməsi və onun addım mühərrikinin pyezoelementinə nəzərən silindrik vala 90° bucaq altında bərkidilməsi, addım mühərrikinin pyezosaxsı elementinin fırlanma hərəkətinə gətirdiyi silindrik valın dayandırılması zamanı dəyişən qida gərginliyinin ultrasəs rezonans tezlikli rəqslərinin sönmə prosesinin 3-4 san. davam etməsi və mexaniki rəqslərin tam sönməsinin ləngiməsi səbəbindən silindrik valın irəliyə sürüşməsinin qarşısını pyezosaxsı əyləc elementinə sabit cərəyan generatorundan gərginliyin verilməsi yolu ilə pyezoelementin mexaniki uzununa dartılma deformasiyası hesabına silindrik valın irəliyə hərəkəti məhdudlaşdırılır və aradan qaldırılır.

2.Məntiqi açarın ikinci çıxışının birinci faza sürüşmə dövrəsinin girişinə qoşulması, hansının ki çıxışının ikinci triqgerin ikinci girişinə birləşdirilməsi, hansının ki çıxışının ikinci elektron açarının idarəedici girişinə qoşulması, onun signal girişinin və signal çıxışının uyğun olaraq sabit cərəyan generatorun çıxışına və pyezosaxsı əyləc elementinin elektrodlarına qoşulması, silindrik valın dayandırılması zamanı ultrasəs rezonans tezlikli mexaniki rəqslərin sönmə prosesinin $3\div 4$ san. davam etməsi, mexaniki rəqslərin tam sönməsinin ləngiməsi səbəbindən silindrik valın irəliyə sürüşməsi, sabit cərəyan generatorundan sabit gərginliyin pyezosaxsı əyləc elementinə verilməsi onun mexaniki uzununa dartılma deformasiyasına gətirib çıxarır ki, bu da silindirik valın ani zamanda dayanmasına səbəb olur. Silindrik valın ani zamanda dayandırılması, pyezosaxsı bimorf elementin optik şüa əksətdiricisinə ötürülən optik şüa signalını əksətdirməsi tələb olunan optik lifli kanala dəqiq yönəldilməsini təmin edir.

3.Optik kabelin optik lifləri vasitəsi ilə təşkil olunan optik kanalların qurğunun gövdəsində seksiyalarda yerləşdirilməsi, ötürülən optik şüanın radial istiqamətdə yönəldilməsi əksətdirilən optik şüanın tam itkisiz ötürülməsini təmin edir.

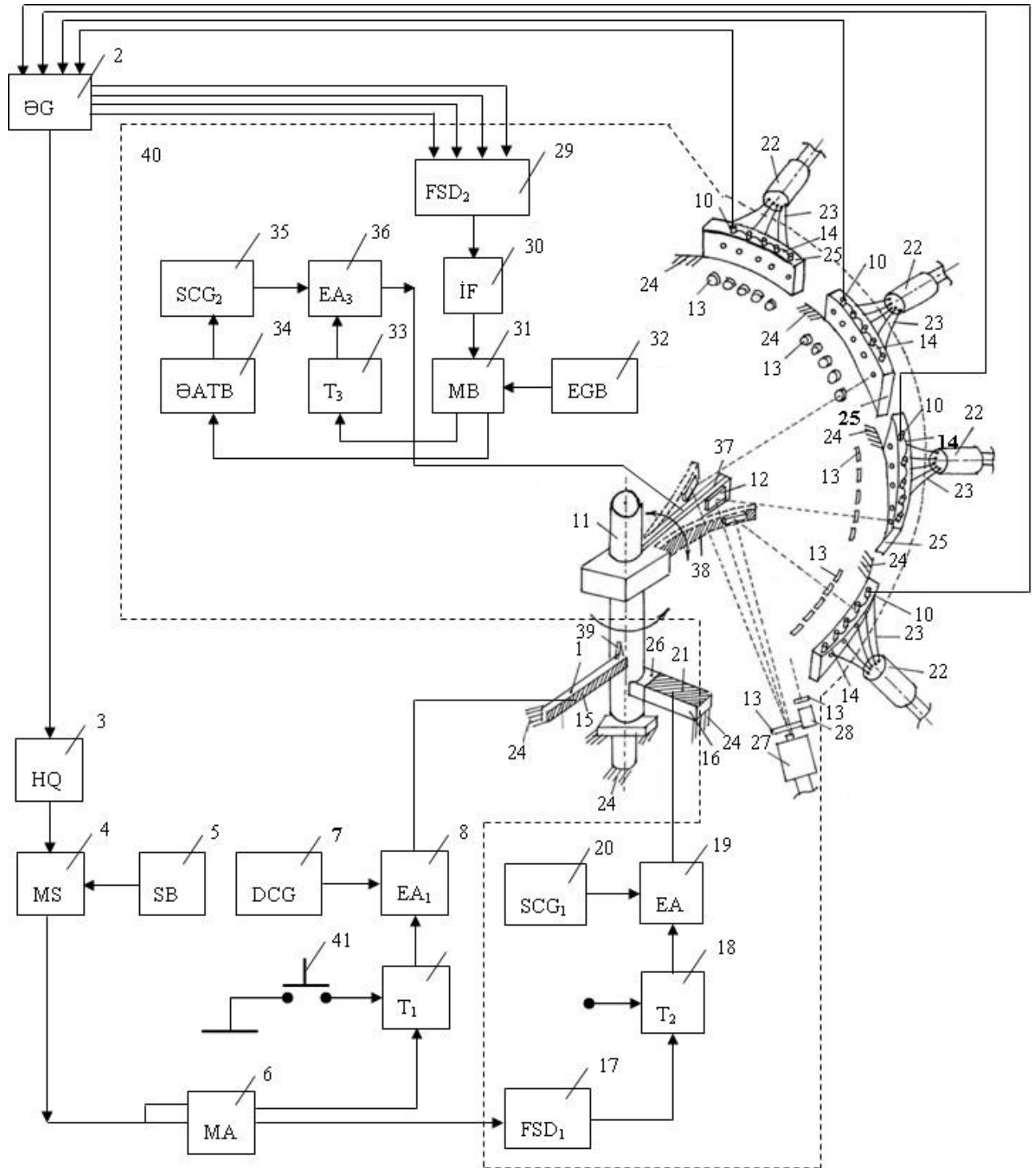
4.Optik liflər vasitəsi ilə optik şüanın qəbul edilməsinin mümkünlüyü ilə əlaqədar seksiyalar üzərində fotodiodların qoyulması, optik liflərə optik şüanın yönəldilməsi, fotodiodlara ötürülməsi hesabına onların sıxaclarında yaranan siqnallar əməliyyat gücləndiricisinə verilir və emal olunur.

5.Qurğuya pyezoelementin daxil edilməsi onun optik şüa əksətdiricisindən əks olunan signalın elektron idarəetmə sxemi vasitəsi ilə optik liflərə tam və dəqiq yönəldilməsi təmin edilir.

6.Əməliyyat gücləndiricisinin ikinci çıxışlarının ikinci faza sürüşməsi dövrəsinin girişinə birləşdirilməsi, hansının ki çıxışının impuls formalayıcısının girişinə qoşulması, hansının ki çıxışının müqayisə blokunun idarəedici girişinə qoşulması, onun ikinci girişinə etalon gərginlik blokunun çıxışının qoşulması, birinci çıxışının isə üçüncü triqgerin idarəedici girişinə qoşulması, ikinci çıxışının isə əks əlaqəli avtomatik tənzimləyici blokun idarəedici girişinə birləşdirilməsi, onun çıxışının isə ikinci sabit cərəyan generatorunun idarəedici girişinə qoşulması,

hansı ki çıxışının üçüncü elektron açarın signal girişinə qoşulması, signal çıxışının isə qurğuya əlavə daxil edilmiş pyzoelementin elektrodlarına qoşulması, üçüncü triqerin çıxışının üçüncü elektron açarının idarəedici girişinə qoşulması, müqayisə blokunun gərginliyi və etalon gərginlik blokunun gərginliyi fərqli olduqda müqayisə blokunun ikinci çıxışından gərginlik əks əlaqəli avtomatik tənzimləyici blokun idarəedici girişinə verilir, avtomatik iş rejimində ikinci sabit cərəyan generatorunun gərginliyinin tənzimlənməsi hesabına pyezosaxsı bimorf element optik şüanın dəqiq əks etdirilməsini və ötürülməsini təmin edir.

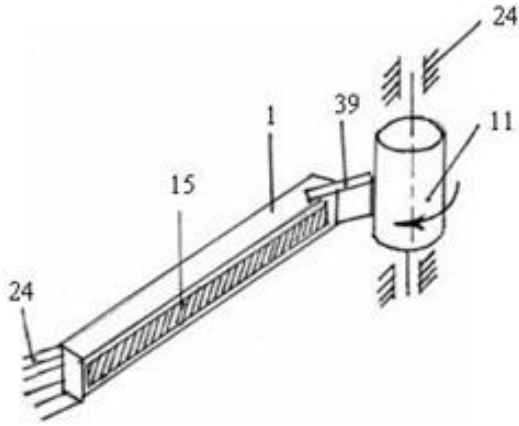
İdarəetmə blokuna malik optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun struktur sxemi şəkil 2.4.1-də verilmişdir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.].



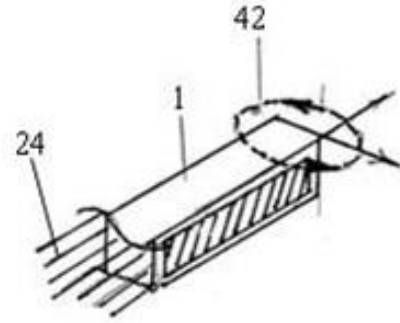
Şəkil 2.4.1. Optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusunun struktur sxemi

OPMQ addım mühərrikindən -1, əməliyyat gücləndiricisindən -2, hesabi qurğudan -3, müqayisə sxemindən -4, seçmə blokundan -5, məntiqi açardan -6, dəyişən cərəyan generatorundan -7, birinci elektron açardan -8, birinci triqquerdən -9, fotodioddan -10, addım mühərrikinin pyezoelementi 45° bucaq altında sıxılmış fırlanan ox üzərində bərkidilmiş silindrik valdan -11, optik şüa əksətdiricisindən -12, fokuslayıcı linzadan -13, fotodiodun elektrik sıxaclarından -14, addım mühərrikinin pyezoelementinin -15 elektrodlarından, pyezoelektrik əyləc elementindən -16, birinci faza sürüşmə dövrəsindən -17, ikinci triqquerdən -18, ikinci elektron açardan -19, sabit cərəyan generatorundan -20, pyezosaxsı əyləc elementinin elektrodlarından -21, optik şüa ötürücü kabellərin -22 optik liflərindən -23, qurğunun gövdəsində -24 seksiyalardan -25, pyezosaxsı əyləc elementinin silindrik vala mexaniki təsiri sürtünməyə davamlı materialdan hazırlanmış ucluqdan -26 və optik şüanın ötürülməsi optik lifli kabelən -27 və optik şüa mənbəyindən -28, ikinci faza sürüşməsi dövrəsindən -29, impuls formalaşdırıcısından -30, müqayisə blokundan -31, etalon gərginlik blokundan -32, üçüncü triqquerdən -33, idarəedici girişinə, əks əlaqəli avtomatik tənzimləyici blokundan -34, sabit cərəyan generatorundan -35, üçüncü elektron açardan -36, siqnal girişinə, siqnal çıxışı isə qurğuya əlavə daxil edilmiş pyezo elementin -37 elektrodlarından -38, addım mühərrikinin pyezoelementinin silindrik val ilə mexaniki kontakt ucluğundan -39 ibarətdir. Təklif olunan qurğuya daxil edilmiş yeni elementlər şərti olaraq -40 mövqeyi ilə işarələnmiş qırıq-qırıq xətlərlə göstərilmişdir. Qurğu işə salma açarı -41 vasitəsi ilə işə salınır [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.].

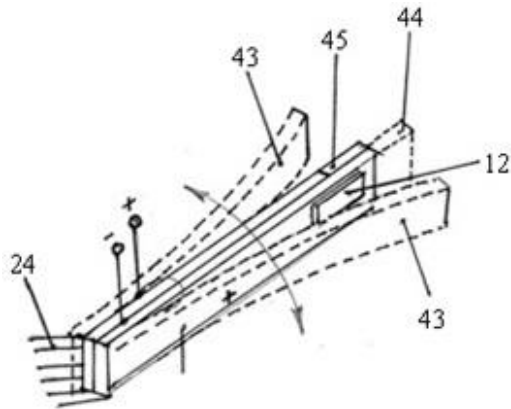
Şəkil 2.4.2-də addım mühərrikinin pyezoelementinin silindrik vala nəzərən qarşılıqlı vəziyyəti göstərilmişdir, şəkil 2.4.3-də isə pyezoelementin ucunun mexaniki deformasiyasının ellips şəklində işçi hərəkət trayektoriyası -42, şəkil 2.4.4-də pyezoelementin işləmə prinsipini izah etmək üçün şərti olaraq onun əyilmə deformasiyası -43, şəkil 2.4.5-də pyezosaxsı əyləc elementinin görünüşü və şəkil 2.4.6-da isə addım mühərrikinin pyezoelementinin elektrodlarına verilən dəyişən gərginliyin və sabit gərginliyin fasilələrlə verilməsi asılılığı verilmişdir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.].



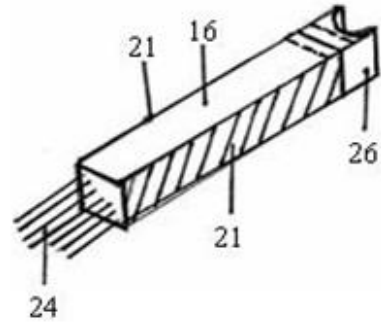
Şəkil 2.4.2. Addım mühərrikinin pyezoelementinin ucluğunun görünüşü



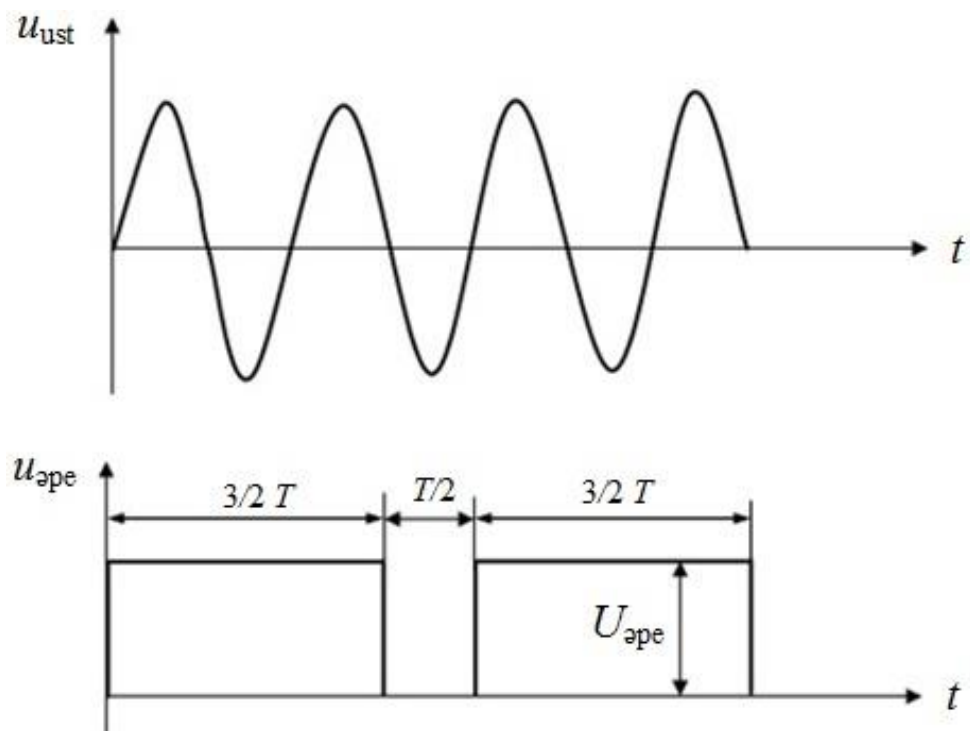
Şəkil 2.4.3. Addım mühərrikinin pyezoelementinin uc hissəsinin ellips şəklində hərəkət trayektoriyası



Şəkil 2.4.4. Pyezoelementin əyilmə deformasiyasının trayektoriyası



Şəkil 2.4.5. Pyezosaxsı əyləc elementinin görünüşü



Şəkil 2.4.6. Addım mühərrikinin pyezoelementinin elektrodlarına verilən dəyişən və diskret sabit gərginliyin zamandan asılılığı

Təklif olunan OPMQ aşağıdakı ardıcılıqla işləyir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.].

OPMQ (şəkil 2.4.1) işə salınmadan əvvəl optik lifli kabeldən -27 seksiyalarda -25 yerləşdirilmiş optik liflərə -23 ötürülməsi nəzərdə tutulan kanallardan asılı olaraq seçmə bloku -5 vasitəsi ilə tələb olunan kanalın biri təyin olunduqdan sonra optik şüa mənbəyi -28 qoşulur və pyezoelementin -37 üzərində yerləşdirilmiş optik şüa əksətdiricisinə -12 yönəldilir. Bundan sonra qurğunun (şəkil 2.9) işə salma açarının -41 qapanması ilə siqnal birinci triqgerin -9 birinci girişinə daxil olaraq onu bir dayanıqlı vəziyyətdən digərinə keçirir, birinci elektron açarın -8 idarəedici girişinə təsir edir və onu işə salır. Dəyişən cərəyan generatorundan -7 dəyişən ultrasəs tezlikli gərginlik u_{ust} (şəkil 2.4.6) birinci elektron açarın -8 siqnal çıxışı vasitəsi ilə addım mühərrikinin pyezoelementin -1 elektrodlarına verilir, bununla pyezoelementin -1 ucluğu -39 silindrik vala -11 ultrasəs tezlikli uzununa deformasiyanın yaratdığı mexaniki rəqslərlə təsir edərək onu fırlanma hərəkətinə gətirir. Şəkil 2.4.2-də optik şüa mənbəyindən -28 şüa optik şüa əksətdiricisinə -12 yönəldiyinə görə əks

etdirilərək, (şəkil 2.4.1-də şərti olaraq işıq şüasının əks olunması qırıq-qırıq xətlərlə göstərilmişdir) optik şüa siqnalları fokuslayıcı linzalardan -13 keçərək tələb olunan fotodiodlardan -10 birinin çıxışında alınan siqnallar əməliyyat gücləndiricisinə -2 ötürülür, hansında ki gücləndirildikdən sonra hesabi qurğuya -3 və müqayisə sxeminə -4 verilir.

Müqayisə sxeminin -4 siqnalları ilə seçmə blokunun -5 siqnalları eyni olduqda müqayisə sxeminin çıxından idarəedici siqnal məntiqi açarın -6 idarəedici girişinə verilir, hansının ki birinci çıxışında yaranan siqnal birinci triqqerin -9 ikinci girişinə verilərək onu ilkin vəziyyətinə qaytarır və nəticədə elektron açar -8 dəyişən cərəyan generatorunun -7 gərginliyini addım mühərrikinin pyezoelementinin elektrodlarından -15 açır. Eyni zamanda məntiqi açarın -6 ikinci çıxışından siqnal birinci faza sürüşmə dövrəsinin -17 vasitəsi ilə zamana görə bir qədər ləngidilərək ikinci triqqerin -18 idarəedici girişinə verilir və ikinci triqqeri -18 bir dayanıqlı vəziyyətdən digər dayanıqlı vəziyyətinə keçirir, analoji olaraq siqnal ikinci elektron açarın -19 idarəedici girişinə verilərək birinci sabit cərəyan generatorunun -20 sabit gərginliyi ikinci elektron açarının -19 siqnal çıxışından əyləc pyezoelementinin -16 elektrodlarına -21 verilərək, onun uzununa mexaniki deformasiyası hesabına (şəkil 2.4.5) silindrik val -11 pyezosaxsı əyləc elementinin ucluğu -26 vasitəsi ilə ani olaraq dayandırılır.

Eyni zamanda fotodiodlardan -10 alınan siqnallar əməliyyat gücləndiricisinin -2 girişlərinə daxil olaraq onun ikinci çıxışları vasitəsi ilə ikinci faza sürüşmə dövrəsinin -29 idarəedici girişinə verilir, hansının ki çıxışından seçmə bloku -5 vasitəsi ilə müəyyənləşdirilmiş kanallardan biri vasitəsi ilə siqnal bir qədər ləngimə ilə impuls formalayıcısının -30 girişinə verilir, hansının ki seçmə blokunda -5 seksiyalarda -25 qoyulmuş, tələb olunan müəyyənləşdirilmiş optik lifli kanala -23 uyğun siqnal optik şüa mənbəyindən -28 verilən bu siqnala uyğun onun tutduğu vəziyyətdən asılı olaraq fotodioddan -10 alınan siqnal (gərginlik) etalon gərginlik blokunun -32 gərginliyi ilə müqayisə olunur. Müqayisə olunan siqnalların səviyyələri bir-birinə bərabər olduqda müqayisə blokunun -31 birinci çıxışından siqnal üçüncü triqqerin -33 analoji olaraq idarəedici girişinə verilir, onun çıxışından siqnal üçüncü

elektron açarının -36 idarəedici girişinə verilir, uyğun olaraq onun siqnal girişinə ikinci sabit cərəyan generatorunun -35 çıxışından gərginlik verilir, üçüncü elektron açarın -36 siqnal çıxışından gərginlik pyezoelementinin -37 elektrodlarına verilir, müqayisə blokunun -31 gərginliyi ilə etalon gərginlik blokunun -32 gərginliyi arasında fərq yarandıqda müqayisə blokunun -31 ikinci çıxışından idarəedici gərginlik əks əlaqəli avtomatik tənzimləyici blokun -34 idarəedici girişinə verilir və avtomatik rejimdə pyezosaxsı bimorf elementə -37 verilərək onun mexaniki əyilmə deformasiyası hesabına optik şüa əksətdiricisinə -12 yönəldilən optik şüanın optik lifli -23 kanallara nəzərən optimal vəziyyətini təmin edərək, optik şüanın itkisini azaldır və bunun hesabına da qurğunun mövqeləşdirmə dəqiqliyi artırılır.

Beləliklə, təklif olunan optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu vasitəsi ilə optik şüanın mövqeləşdirmə dəqiqliyinin artırılması təmin olunur ki, bu da ötürülən optik şüa siqnallarının enerji itkisinin azaldılmasına gətirib çıxarır, optik lifli rabitə xəttinin -2 optik lifinə -1 optik şüanın mövqeləşdirilərək daxil edilməsi zamanı yaranan itkilər 0,8...3,0 dB təşkil edir ki, bu da mövcud qurğularda yaranan itkilərin qiymətlərindən 40...55%-ə qədər azdır və bu halda mövqeləşdirmə xətası 0,17...0,65% təşkil edir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 43, s.27-30].

Bununla yanaşı təklif olunan qurğu şaxələndirilmiş OTŞ-ləri qurularkən istifadə olunan optik telekommunikasiya sistemlərinin komponenti kimi optik şüanın ötürülməsini həyata keçirən sistemlərə aid olub, bu qurğu optik telekommunikasiya sistemlərində optik şüanın optik lifə daxil edildiyi zaman optik şüa mənbəyinin çıxışının optik lifin girişi, optik lifin çıxışının optik şüa qəbuledicisinin girişi ilə dəqiq mövqeləşdirici qurğularının işlənilib hazırlanması zamanı istifadə edilə bilər.

III Fəsil. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN AKSELEROMETRLƏRİN HESABAT ÜSULUNUN VƏ RİYAZİ MODELİNİN İŞLƏNMƏSİ

3.1. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan optik kommutatorun parametrlərinin tədqiqi

Optik rabitə kanalının (ORK) optik kommutatorunun (OK) çıxış signalının maksimal mümkün enerji potensialının optik lifə və optik lifin çıxışından isə optik signal qəbuledicisinin girişinə ötürülməsini təmin etməlidir. Optik rabitə kanalı üzrə informasiyanın və optik maneənin verilişinin OK-nın konstruksiyasının mürəkkəbliyi optik veriliş sisteminin xarakteristikaları ilə müəyyən olunur [38, s.88-98; 39, s.45,46; 41, s.159-164; 44, s.27-34; 45, s.157-165; 69, p. 226-233; 70, p.20-25; 71, p. 378-392].

Bununla əlaqədar optik kommutatorun çıxışının optik lifin girişi və optik lifin çıxışının optik signal qəbuledicisinin girişi ilə fəza kommutasiyası prosesinin dəqiqliyini, istismar etibarlılığını artırmağa, konstruksiyasını sadələşdirməyə, optik şüa mənbəyinin radial sürüşmə və bucaq üzrə razılaşdırılmamış qoşulması zamanı yaranan itkilərin azaldılmasına, eləcə də funksional imkanlarının artırılmasına imkan verən kvant rabitə kanalı üzrə informasiyanın və optik maneənin kvant veriliş sisteminin pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə etməklə foton kommutatoru və onun idarəetmə sxemi işlənib hazırlanmışdır.

Optik kommutasiya prosesinin yüksək dəqiqliyinin təmin olunmasına və optik kommutatoru vasitəsi ilə optik signalın istiqamətinin avtomatik idarə edilməsinə qoyulan tələblərlə əlaqədar optik kommutatorun texnoloji, mexaniki və istismar xarakteristikalarını daha dəqiq qiymətləndirmək üçün OK-nın parametrlərinin analitik hesabat üsulu işlənmişdir.

Qida mənbəyindən gərginlik verdikdə OK-nın işçi orqanı kimi istifadə olunan piezoelementin (PE) özəyinin əyilmə rəqsləri baş verir ki, bu da aşağıda verilmiş diferensial tənliklər vasitəsi ilə ifadə olunur [38, s.88-98; 39, s.45,46; 45, s.157-165; 69, p. 226-233; 70, p.20-25; 71, p. 378-392]:

$$E \cdot I \frac{d^4 \eta}{dx^4} - \rho \cdot S \frac{d^2 \eta}{dt^2} = 0. \quad (3.1.1)$$

OTS-nin OK-nın iş prinsipinə əsasən optik şüanın skanlanma bucağı, yəni onun hədd vəziyyətləri arasındakı bucaq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\varphi_{sk} = 4 \cdot \frac{d\varphi}{du} = \frac{6d_{31}l_1U_m}{l_3^2}, \quad (3.1.2)$$

burada U_m – verilmiş iş müddəti ərzində OK-nın PE-nin iş qabiliyyətini saxlamağa imkan verən idarəedici gərginliyin maksimum qiyməti (V); d_{31} – PE-nin əyilmə deformasiyasının pyiezomodulu; l_1, l_2, l_3 – PE-nin uyğun olaraq uzunluğu, eni və qalınlığıdır.

Skanlamanın ayırdetmə qabiliyyəti N skanlanma bucağının OK-nın çıxış optik siqnalının məxsusi fərqlənmə bucağına θ olan nisbəti kimi təyin olunur:

$$N = \frac{\varphi}{\theta} = \frac{6d_{31} \cdot A_l \cdot U_m}{k\lambda l_3^2}, \quad (3.1.3)$$

burada A_l – skanlama müstəvisində güzgünün ölçüsü (m); λ – OTS-nin çıxışında optik şüanın dalğa uzunluğu (nm); k – OK-nın quruluşu və güzgünün aperturası üzrə optik şüanın enerjisinin yayılması ilə təyin olunan əmsaldır (adətən $k = 1 \div 3$).

Lakin OTS-nin OK-nın xarakteristikalarının tədqiqi göstərir ki, OK-nın PE-nin həyəcanlanma səviyyəsi gücün, gərginliyin və ya cərəyanın ölçü vahidi ilə ifadə

olunur. PE-nin həyəcanlanma səviyyəsini məhdudlaşdıran yuxarı həddə elementin sıradan çıxma prosesi baş verir. PE-nin qalınlığı üzrə rəqslər baş verdikdə cərəyan $20\text{mA}/\text{sm}^2$, uzunluğu üzrə rəqslər baş verdikdə cərəyan $10\text{mA}/\text{sm}^2$ qiymətini aşmamalıdır [62, s.237-270; 63, s.147-162].

OTS-nin OK-nın tələb olunan tələb olunan istismar etibarlılığını təmin etmək üçün bir ucu ilə bərkidilmiş düzbucaqlı lövhə şəkilli yayın elastik əyilmə deformasiyasına aid nəzəriyyədən istifadə edərək təhlükəli en kəsiyində ən böyük gərginliyin, ətalət momentinin və əyilmə deformasiyasının amplitud qiymətlərini təyin etmək olar.

OK-nın PE-nin uzunluğu möhkəmlik həddi ilə bağlı olub, onun zamanı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$l_1 = \frac{2\sigma_{ey.bur} l_2 l_3^2}{3F_{PE}}, \quad (3.1.4)$$

burada $\sigma_{ey.bur}$ –OK-nın PE-nin əyilməsi zamanı davamlılıq həddi (N/m^2); F_{PE} – OK-nın PE-yə təsir edən qüvvədir (N).

Güzgülü PE-nin azad (bərkidilməmiş) ucunun deformasiyasının amplitudası aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta_{ey.PE} = \frac{F_{PE} l_1^3}{3E_y J} = \frac{F_{PE}}{K_{m\Sigma}}, \quad (3.1.5)$$

OK-nın PE-nin ətalət momenti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}, \quad (3.1.6)$$

burada E_y –pyezosaxsının Yunq modulu (möhkəmlik modulu); F_{PE} –OK-nın PE-nə

(müstəvi yaya) təsir edən qüvvə (N); J – ətalət momentidir (m^4).

OK-nın PE-nin düzbucaqlı en kəsikli özəyini təşkil edən lövhələrin cəm möhkəmliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$K_{m\Sigma} = \frac{E_y \cdot l_2 \cdot l_3^3}{4 \cdot l_1^3}, \text{ N/m.} \quad (3.1.7)$$

OK-nın PE-nin lövhələrində yaranan və onu sıradan çıxara bilən mexaniki dağıdıcı yük aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\sigma_{ey.bur} = E_{\sim 31} E_Y Q_m, \quad (3.1.8)$$

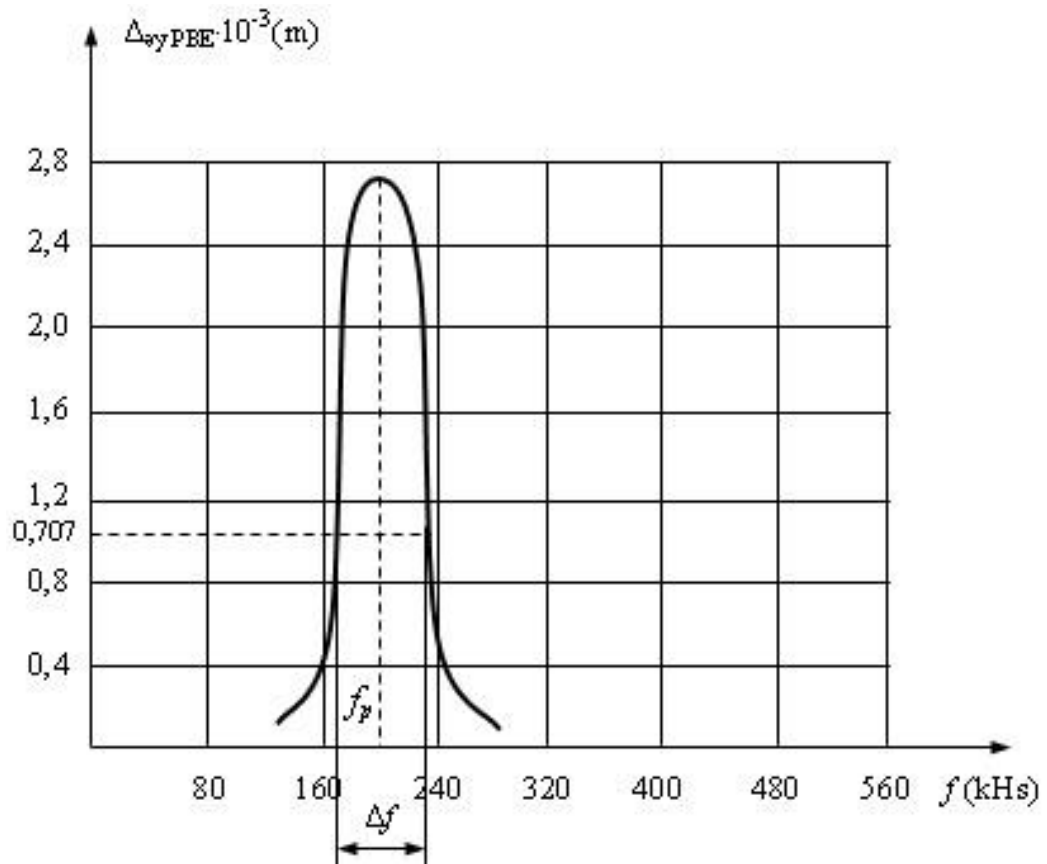
burada $E_{\sim}$ – elektrik möhkəmliyi (V/m); Q_m – mexaniki möhkəmliyidir (vahid).

OK-nın PE-nin yükü müəyyən kommutasiya dövrünə malik olmaqla dəyişən xarakter daşıyır və gərginliyin buraxıla bilən qiyməti materialın davamlılıq həddindən kiçik olmalı və aşağıdakı şərt ödənməlidir:

$$\sigma_{ey.bur} \leq 0,75 \cdot \sigma_{m..ey}. \quad (3.1.9)$$

burada Q_m – mexaniki möhkəmlik olub, PE-nin amplitud-tezlik xarakteristikası (ATX) $\Delta_{ey.PE} = \varphi(f)$ vasitəsi ilə təyin olunur (şəkil 3.1.1).

OTS-nin OK-nın ATX-sı stroskop, mikroskop və dəyişən gərginlik mənbəyindən istifadə edilməklə çıxarılmışdır. Xarakteristikanın bütün nöqtələri ölçmələrin başlanğıc və sonundakı rəqslərin amplitudasına uyğun gəlir. Qida gərginliyinin tezliyi (yəni OK-nın PE-nin ucunun rəqslərinin amplitudası) stroskopun işıq parıltılarının tezliyinə tam dəfəli nisbətdə olduqda xəyali hərəkətsiz kimi görünən parıltılar, tezliklər arasında fərq kiçik olduqda güzgülü təbəqənin sonunun asta yerdəyişməsi qeyd olunur.



Şəkil 3.1.1. Optik kommutatorun PBE-nin ATX

OK-nın PE-nin mexaniki möhkəmliyi ATX-dan aşağıdakı asılılıq vasitəsi ilə təyin olunur:

$$Q_m = f_r / \Delta f, \quad (3.1.10)$$

burada Δf – tezlik üzrə buraxma zolağının eni; f_r – mexaniki rezonansın tezliyidir (Hz).

OTS-nin OK-nın tezişləməsi PE-nin mexaniki rezonansının tezliyindən, qida mənbəyinin elektrik sxeminin parametrlərindən asılıdır və aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\tau_l = 1 / 2 \cdot f_r. \quad (3.1.11)$$

(3.1.9) ifadəsinin qiymətini (3.1.5) ifadəsində yerinə yazsaq, alarıq:

$$l_1 = 2E_{-}d_{31}E_yQ_m l_2 l_3^2 / 3F_{PE}. \quad (3.1.12)$$

Alınmış (3.1.9) ifadəsini (3.1.2)-də yerinə yazsaq, OTS-nin OK-nın optik siqnalın skanlama bucağının təyin olunması üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\varphi_{sk} = 4 \cdot \frac{d\varphi}{du} = \frac{6d_{31}l_1U_m}{l_3^2} = \frac{12E_{-}d_{31}E_yQ_m l_2 l_3^2 d_{31}U_m}{3F_{PE}} / l_3^2 = \frac{4E_{-}d_{31}^2 E_y Q_m l_2 U_m}{F_{PE}}. \quad (3.1.13)$$

OK-nın PE-nin sonunun onun üstündə bərkidilmiş güzgü ilə birgə yerdəyişməsi zamanı ətalət gücü yaranır və bu PE-nin kövrəklik gücü tarazlaşdırılır, yəni

$$F_{guz} = m \cdot W_{guz}, \quad (3.1.14)$$

burada F_{guz} – güzgünün kütləsinin yaratdığı ətalət gücü (N); m – güzgünün kütləsi (kq·s²/m); W_{guz} – güzgü OK-nın PE-nin sərbəst ucunun aldığı təcildir (m/s²).

OTS-nin OK-nın normal iş rejimini təmin etmək üçün aşağıda verilmiş şərtin ödənilməsi vacibdir:

$$F_{PE} \geq F_{guz}.$$

Beləliklə, aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Delta_{ey.PE} = m \cdot W_{guz} / K_{M\Sigma}. \quad (3.1.14)$$

(3.1.7) ifadəsini (3.1.12) ifadəsində nəzərə alsaq aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Delta_{ey.PE} = \frac{4 \cdot l_1^3 \cdot mW_{guz}}{E_y l_2 l_3^3}. \quad (3.1.15)$$

(3.1.13) ifadəsindən istifadə edərək OK-nın PE-nin eninin ölçüsünü təyin edirik:

$$l_2 = \Delta E_y l_3^3 / 4mW_{guz} l_1^3. \quad (3.1.16)$$

(3.1.14) ifadəsini (3.1.11) ifadəsində yerinə yazıb, müəyyən çevirmələr aparsaq OTS-nin iş prinsipini izah etməyə imkan verən analitik ifadə alırıq:

$$\begin{aligned} \varphi_{sk} &= 4 \cdot \frac{d\varphi}{du} = \frac{6d_{31}l_1U_m}{l_3^2} = \frac{4E_{\sim}d_{31}^2E_YQ_m l_2 l_3^2 U_m}{F_{PE} l_3^2} = \\ &= \frac{4E_{\sim}d_{31}^2E_{\text{yo}}Q_m l_2 l_3^5}{mW_{guz} l_1^3} / F_{PE} \cdot l_3^2 = \frac{E_{\sim}d_{31}^2E_Y^2Q_m U_m \Delta_{ey.PE} l_3^2}{mW l_1^3 F_{PE}}. \end{aligned} \quad (3.1.17)$$

Aparılmış eksperimental tədqiqatlar və alınmış analitik asılılıqlar əsasında güzgülü OK-nın PE-nin sərbəst ucunun deformasiyasının maksimal amplitudası $\Delta = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, mexaniki möhkəmliyi $Q_m = 6-7$ vahid və PE-nin tezişləməsi isə $\tau = 1/2 f_r = 1/2 \cdot 210 = 23 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ kimi təyin olunmuşdur [38, s.88-98].

Beləliklə, OK-nın əsas parametrlərinin hesablanması üçün yuxarıda alınmış nəzəri analitik asılılıqlar vasitəsi ilə alınmış nəticələrin, eləcə də aparılmış eksperimental ölçmələr nəticəsində alınmış nəticələrin tərkibində xətlərinin qiymətləri qənaətbəxşdir və bunlar arasında fərq $1 \div 3\%$ təşkil edir.

3.2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan çoxkanallı optik kommutatorun parametrlərinin tədqiqi

Pyezoelementin seçilmiş həndəsi ölçülərinə görə uzununa yayılan dalğa

halında buraxıla bilən yük cərəyanı $10mA/sm^2$ qiymətini, cərəyanın verilmiş qiymətində uzununa rəqslərin $f_{rez} = 29,2\text{Hs}$ əsas rezonans tezliyində və $U = 37,5\text{V}$ həyəcanlanma gərginliyində pyezoelementdən axan cərəyan $48 \cdot 10^{-3}\text{A}$ qiymətini aşmamalıdır [38, s.88-98; 39, s.45,46; 45, s.157-165; 62, s.237-270; 63, s.147-162; 69, p. 226-233; 70, p.20-25; 71, p. 378-392].

Pyezoelementin əsas parametrlərinin hesabat metodikasından istifadə edərək birinci mod uzununa dalğanın l_1 uzunluqlu prizma şəklində yerinə yetirilmiş pyezoelementin uzunluğu üzrə yayılması halında onun sərbəst ucunun yerdəyişmə amplitudasını aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$\begin{aligned}\Delta_{hes} &= \frac{2T_m l_1}{\pi E_y} = \frac{2E_{bur} d_{31} \cdot Q_m \cdot E_y \cdot l_1}{\pi} = \\ &= \frac{2 \cdot 12500 \cdot 160 \cdot 10^{-12} \cdot 70 \cdot 6 \cdot 10^{12}}{3,14} = 53 \cdot 10^{-7},\end{aligned}\quad m \quad (3.2.1)$$

burada T_m –maksimal buraxıla bilən mexaniki gərginlik olub, aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$T_m = E_{bur} d_{31} Q_m E_y = 168 \cdot 10^{-7}, \text{ N/m}^2 \quad (3.2.2)$$

burada E_{bur} –pyezoelementin örtüklərinə verilən elektrik sahəsinin gərginliyi olub, 12500V/m ; d_{31} –STBQ-3 (sirkonat-titanat barium qurğuşundan ibarət pyezosaxsı) tipli pyezoelementin pyezoelektrik modulu olub, $160 \cdot 10^{-12}\text{m/V}$; Q_m –pyezoelementin rezonans xarakteristikasından eksperiment yolu ilə təyin olunan mexaniki möhkəmlik olub, $Q_m = 70$ vahid; E_y –STBQ-3 tipli pyezoelement üçün Yunq modulu olub, $0,7 \cdot 10^{11}\text{V/m}^2$ -dir.

Əgər konstruktiv itkiləri nəzərə almasaq, pyezoelementin sərbəst ucunun maksimal buraxıla bilən xətti yerdəyişmə sürətini hesablamaq üçün aşağıdakı ifadəni

alarıq:

$$V_{\max.bur} = \frac{4F_{sbur} \cdot V_{uz}}{\pi \cdot l_1 \cdot l_2 \cos \alpha \cdot E_y} = \frac{4F_{sbur}}{\pi \cos \alpha \cdot Z_0} = \frac{4F_{sbur} V_{uz}}{\pi \cos \alpha \cdot E_y} = 1,71 \text{ m/s}, \quad (3.2.3)$$

burada $Z_0 = l_1 l_2 \sqrt{\rho E_y}$ – dalğa müqaviməti; ρ – STBQ-3 tipli pyezoelementin sıxlığı olub, ədədi qiymətcə $7,2 \cdot 10^3 \text{ kq/m}^3$ -dir.

Pyezoelementin rezonans tezliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$f_r = V_{uz} / 2l = \frac{3,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-2}} = 29,2 \text{ kHs},$$

burada $V_{uz} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ - uzununa dalğanın yayılma sürətidir.

Yuklu pyezoelementin işçi sonluğunun sürəti

$$V_{yis} = \frac{U_h \cdot l_2 \cdot d_{31} \cdot E_y}{R_{mi} \cdot \cos \alpha} = \frac{37,5 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 160 \cdot 10^{-12} \cdot 0,7 \cdot 10^{12}}{34,2 \cdot 0,73} = 0,117 \text{ m/s},$$

burada $\alpha = 45^0 (\approx 0,73 \text{ rad})$ –işçi orqana nəzərən pyezoelementin maillik bucağı; R_{mi} – mexaniki itki müqavimətidir.

Mexaniki itki müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$R_{mi} = \omega \cdot M_{ekv} / Q_m = 2400 / 70 = 34,2 \text{ N}\cdot\text{s/m}. \quad (3.2.4)$$

İşçi orqanın orta xətti yerdəyişmə sürəti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$V_{io} = \Delta_{hes} \cos \alpha k = 53 \cdot 10^{-7} \cdot 29,2 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 0,153 = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}.$$

İşçi orqanın səthinə nəzərən pyezoelementin sürüşməsi zamanı sürtünmənin mürəkkəb xətti xarakterli olmasını nəzərə alaraq işçi orqanın yerdəyişməsinin orta xətti sürətinin düzəliş əmsalı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$k = V_{io} / V_{yio} = 0,018 / 0,117 = 0,153$$

burada V_{io} – işçi orqanın xətti yerdəyişmə sürəti olub, eksperiment yolu ilə çıxarılmış qrafiki asılılıqdan təyin olunur (şəkil 3.2.1); V_{yio} – yüklü pyezoelementin işçi sonluğunun sürətidir.

Pyezoelementin işçi oraqana daimi sıxılma qüvvəsinin təsiri ilə əlaqədar konstruktiv itkiləri nəzərə alaraq yüklü pyezoelementin sonluğunun işçi orqanının sürəti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$V_{io} = V_{yio} / 2 = 0,117 / 2 = 58 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

İşçi orqanın optik kommutasiya prosesinin dəqiqliyini təyin etmək üçün eksperimentlər aparılmışdır. Təcrübi eksperimentlərin aparılması zamanı nəzarət-ölçü başlığı işçi orqanın sərbəst sonluğuna bərkidilir və pyezoelementə qida gərginliyi verdikdə işçi orqan xətti yerdəyişmə hərəkətini həyata keçirir. İşıq diodu ilə fotoqəbuledicinin perforasiya dəşikləri qarşı-qarşıya uyğun gəldikdə pyezoelementə verilən qida gərginliyi kəsilir və işçi orqanın dayandırılması prosesi baş verir və o dayanır, bu halda foton kommutasiya prosesinin dəqiqliyi nəzarət-ölçü başlığı ilə qeyd edilir. Aparılmış eksperimentlərin nəticələri cədvəl 3.2.1 və 3.2.2-də verilmişdir.

Cədvəl 3.2.1

№	Eksperiment 100 mm uzunluqlu sahədə aparılmışdır					
1	Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsi, F_s (N)	4,1	3,6	3,3	2,9	1,2
2	Optik kommutasiya prosesində	0,0013	0,0031	0,0054	0,0067	0,0071

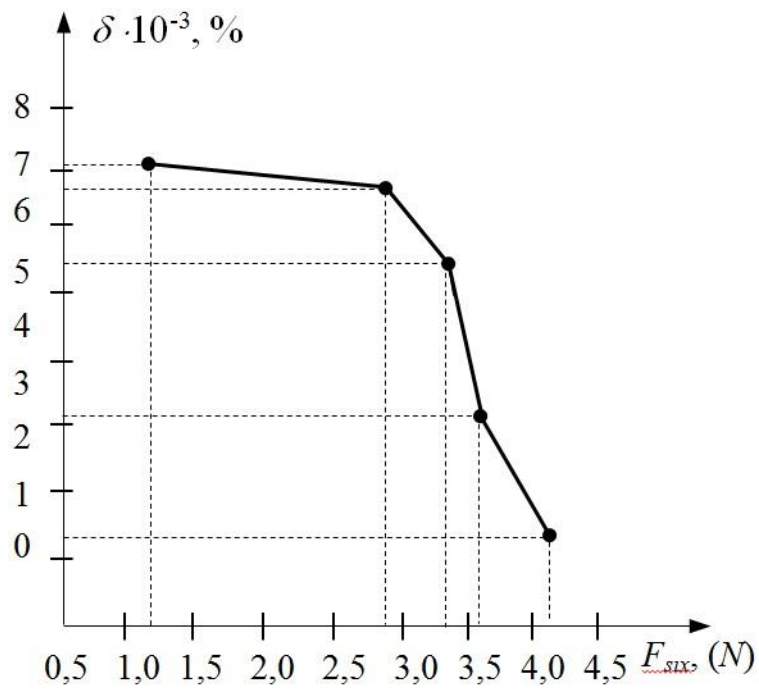
	yaranan xəta, δ , %					
--	----------------------------	--	--	--	--	--

Cədvəl 3.2.2

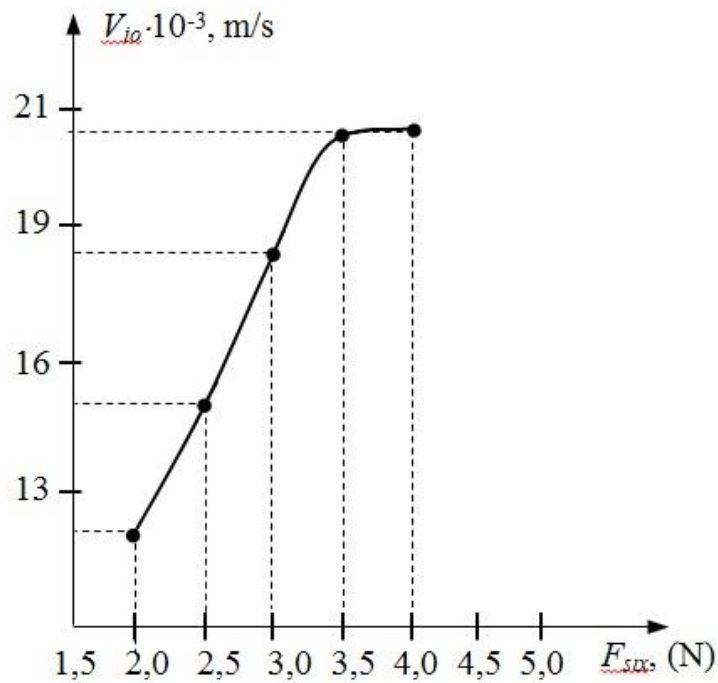
№	Eksperiment 100 mm uzunluqlu sahədə aparılmışdır					
1	Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsi, F_s (N)	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2	İşçi orqanın xətti yerdəyişmə sürəti, $V_{io} \cdot 10^{-3}$, m/s	10	15	18,5	20,7	20,7

Alınmış eksperimental nəticələr əsasında işçi orqanın optik kommutasiya prosesinin dəqiqliyini təyin etmək üçün optik kommutasiya prosesinin nisbi xətasının pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı (şəkil 3.2.2), eləcə də x, y oxları üzrə işçi orqanın xətti yerdəyişmə sürətinin pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı (şəkil 3.2.3) çıxarılmışdır.

Aparılmış eksperimentlərin nəticələrindən görünür ki, əsas işçi parametrlərin, yəni sürüşmənin amplitudasının, pyezoelementin işçi sonluğunun yerdəyişmə sürətinin, sıxılma qüvvəsinin, orta xətti sürətinin, çoxkanallı foton kommutasiya prosesində yaranan xətanın qiymətləri ilə müqayisədə uyğun gəlir və eksperimentlə fərq təxminən 0,067% təşkil edir.



Şəkil 3.2.2. Optik kommutasiya prosesində yaranan xətanın pyezoelementin işçi orqana sıxılma qıvvəsindən asılılığı



Şəkil 3.2.3. İşçi orqanın xətti yerdəyişmə sürətinin pyezoelementin işçi orqana sıxılma qıvvəsindən asılılığı

Şəkil 3.2.2 və 3.2.3-dən görünür ki, PE-in işçi orqana sıxılma qüvvəsinin $F_s = 4,1N$ qiymətinə qədər artması ilə onun yerdəyişmə sürəti də artır, bu halda çoxkanallı foton kommutasiya prosesində yaranan xəta minimal $\delta = 0,0013\%$ qiymətini alır və sıxılma qüvvəsinin növbəti artımı zamanı sürət birdən-birə azalır, çoxkanallı foton kommutasiya prosesinin dəqiqliyi maksimal qiymət alır, belə ki əyləcləmə və dayandırma rejimində pyezoelement tərəfindən işçi orqana təsir qüvvəsi maksimal qiymət alır.

Beləliklə, iki müstəvi kvadrat matris lövhə şəklində yerinə yetirilmiş optik kommutator (OK) işlənməyə hazırlanmış, bu halda kommutasiya edən və kommutasiya olunan optik liflər işçi orqana bərkidilmiş, sürüşkən diyircəklər üzərində qurulmuş müstəvi kvadrat matris lövhələrə uyğun gələn iki tərəfə çıxışı olan perforasiya deşiklərində yerləşdirilir, addım mühərriki isə bir-birinə nəzərən qarşı-qarşıya qoyulmuş və "x" və "y" oxlarının işçi orqanına sıxılmış pyezoelement şəklində yerinə yetirilmişdir ki, bunların əks tərəflərində işıq diodu və fotoqəbuledici quraşdırılmışdır. Addım mühərriki verilmiş alqoritm üzrə eyni zamanda bir neçə rabitə kanalları üzrə çoxkanallı foton kommutasiya prosesinin yerinə yetirilməsini təmin edir. Pyezoelementin köməyi ilə kvadrat matris lövhələr mikroadımlı xətti yerdəyişmə hərəkətinə gətirilir və optik liflərin verilmiş koordinatlarına uyğun gələn halda idarəetmə, proqram bloku, hesabi qurğu vasitəsi ilə dayandırılır ki, bu da çoxkanallı foton kommutatorunun etibarlılığını və funksional imkanlarını artırmağa imkan verir [38, s.88-98; 39, s.45,46; 45, s.157-165; 62, s.237-270; 63, s.147-162; 69, p. 226-233; 70, p.20-25; 71, p. 378-392].

Digər tərəfdən optik-lifli rabitə xətti üzrə məxfi informasiyanın OTS-nin işlənməmiş ikikoordinatlı çoxkanallı kommutatorunun nəzəri təyin olunan parametrləri, yəni pyezoelementin sərbəst ucunun sürüşmə amplitudasının, yerdəyişmə sürətinin, sıxılma qüvvəsinin, orta xətti sürətinin, çoxkanallı foton kommutasiya prosesində yaranan xətanın qiymətləri eksperiment nəticəsində alınmış nəticələrlə müqayisə olunmuş və bir-birindən fərqlənməsi təxminən 0,67% təşkil etmişdir.

3.3. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin qurğulararası ötürülən optik şüanın

Optik şüa mənbəyinin çıxışından optik şüanın optik lifin girişinə və optik lifin çıxışından isə optik şüa qəbuledicisinin girişinə ötürülən zaman mövqeləşdirici qurğunun parametrlərinin təyin olunma üsulunun işlənməsi aşağıdakı ardıcılıqla aparılmışdır [2, s. 9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98; 39, s.45,46; 41, s.159-164; 63, s.147-162; 69, p. 226-233; 70, p.20-25; 71, p. 378-392].

İçiboş pyezoelektrik silindrin əyilmə deformasiyasının amplitudası aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta = \frac{F_{sg}}{E_y \cdot J} \left(\frac{R^3 a}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right), \quad (m) \quad (3.3.1)$$

burada F_{sg} – içiboş pyezoelektrik silindrin əyilməsinin statistik gücü (N); E_y – Yunq modulu (uzununa elastiklik modulu-elastiki deformasiya zamanı dartılma və sıxılmaya qarşı materialın müqavimət göstərmə qabiliyyətini xarakterizə edən fiziki kəmiyyət olub, $0,7 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; α – mərkəzi bucaq, $\alpha = 150^\circ = 2,6 \text{ (rad)}$; J – içiboş pyezoelektrik silindrin ətalət momenti (m^4); R – içiboş pyezoelektrik silindrin radiusu olub, $0,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ -ə bərabərdir.

Bu zaman içiboş pyezoelektrik silindrin əyilməsi zamanı yaranan statistik gücü aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$F_{sg} = K_{\Sigma m} \cdot \Delta, \quad (N) \quad (3.3.2)$$

burada $K_{\Sigma m}$ – içiboş pyezoelektrik silindrin cəm möhkəmliyidir (N/m).

İçiboş pyezoelektrik silindrin cəm möhkəmliyi pyezoelementin və metal lövhənin möhkəmliyi ilə əlaqədar olub, aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$K_{\Sigma m} = K_{pem} + K_{mlm}, \quad (N/m) \quad (3.2.3)$$

burada K_{pem} – içiboş pyezoelektrik silindrin möhkəmliyi (N/m); K_{mlm} – metal lövhənin möhkəmliyidir (N/m).

İçiboş pyezoelektrik silindrin əyilməsinin statistik gücü aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$F_{sg} = U_h l_2 d_{31} E_y, \quad (N) \quad (3.2.4)$$

burada $U_h = 60V$ – içiboş pyezoelektrik silindrin sabit həyəcanlanma gərginliyi; l_2 – içiboş pyezoelektrik silindrin eni (m); d_{31} – pyezosaxsının pyezoelektrik modulu olub, $160 \cdot 10^{-12} (m/V)$ -dur.

İçiboş pyezoelektrik silindrin ətalət momenti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}, \quad (m^4) \quad (3.2.5)$$

burada l_3 – içiboş pyezoelektrik silindrin qalınlığıdır (m).

İçiboş pyezoelektrik silindrin uclarının deformasiya amplitudası verilmiş qida gərginliyindən asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta = \frac{U_h l_2 d_{31} E_y}{E_y \cdot (l_2 l_3^3 / 12)} \left(\frac{R^3 \alpha}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right) = \frac{12 \cdot U_h d_{31}}{l_3^3} \left(\frac{R^3 \alpha}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right). \quad (m) \quad (3.2.6)$$

Konkret hal üçün $U_h = 60V$, $d_{31} = 160 \cdot 10^{-12} (m/V)$, $l_1 = 2,8 \cdot 10^{-2} m$, $l_2 = 2,2 \cdot 10^{-2} m$, $l_3 = 4 \cdot 10^{-2} m$ olduqda içiboş pyezoelektrik silindrin əyilmə deformasiyasının amplitudasını təyin edək.

Bu halda içiboş pyezoelektrik silindrin əyilmə deformasiyasının amplitudası aşağıda təyin olunan qiymətə bərabər olacaqdır:

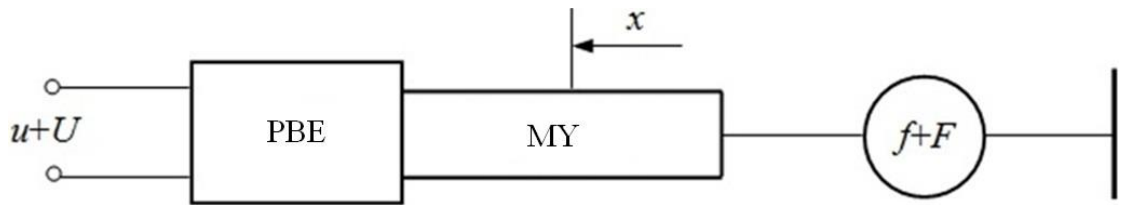
$$\Delta = \frac{12 \cdot 60 \cdot 160 \cdot 10^{-12}}{(4 \cdot 10^{-3})^3} \cdot 28 \cdot 10^{-7} = 1,2 \text{ (mm)}.$$

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, içiboş pyezoelektrik silindrin əyilmə deformasiyasının amplitudasının yuxarıda alınmış qiymətində optik şüa mənbəyinin şüalanmasının optik lifə daxil edilməsi zamanı qurğu 0,8...3,0 dB sönmə daxil edir ki, bu da məlum qurğuların yaratdığı sönmədən 45...50% azdır və bu halda daxilədlmə xətası 0,17...0,65% təşkil edir [2, s. 9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98; 39, s.45,46; 41, s.159-164; 63, s.147-162; 69, p. 226-233; 70, p.20-25; 71, p. 378-392].

Optik şüa mənbəyinin şüalanmasının optik lifə daxilədlmə qurğusu optik telekommunikasiya sistemlərində analogi prosesləri yerinə yetirən qurğuların işlənilib hazırlanması zamanı istifadə edilə bilər.

3.4. Üçkoordinatlı akselerometrin piezoelementinin mexaniki rəqslərinin amplitudalarının analitik hesabat metodu

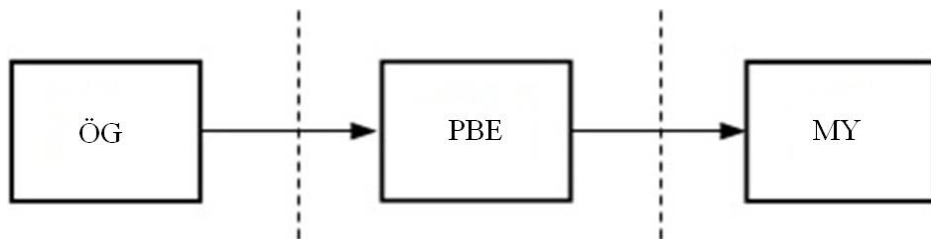
Piyezoelektrik bimorf çeviricilər. Ümumi halda piyezoelektrik bimorf çeviricilər (PBÇ) kiçik mexaniki rəqslərə malik piyezoçeviricilər sinfinə aiddir. Baxılan piyezoelektrik bimorf elementdə (PBE) enerji bir sistemdən digərinə elektrik sahə əlaqəsi vasitəsi ilə ötürülür, bu halda giriş sıxaclarında gərginlik elektrik formasında, çıxış sıxaclarında isə mexaniki formada olur. Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, PBE-li PBÇ ümumiləşdirilmiş sxemi şəkil 3.4.1-də verilmişdir.



Şəkil 3.4.1. PBE-in ümumiləşdirilmiş sxemi:

PBE - piyezoelektrik bimorf element; MY – mexaniki yük

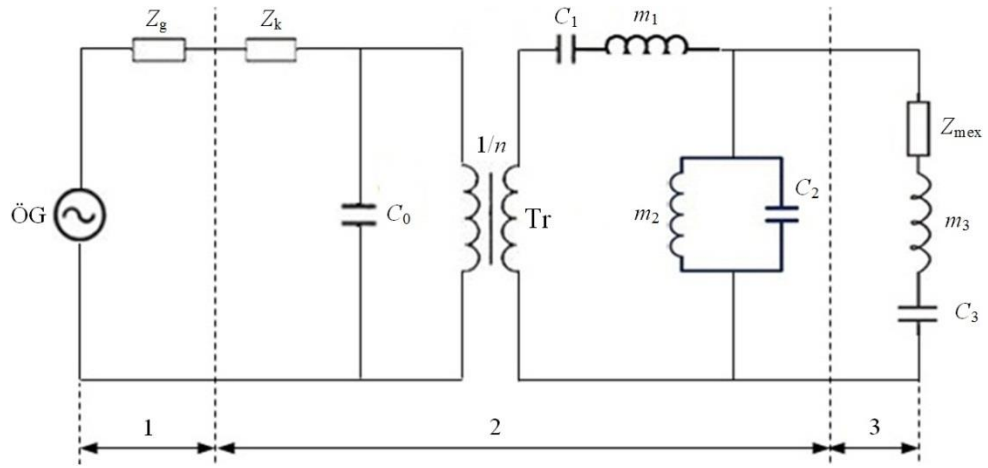
PBE-li və mexaniki yüklü PBÇ-nin tam sisteminin sxemi şəkil 3.4.2-də verilmişdir.



Şəkil 3.4.2. PBÇ-nin tam sisteminin sxemi:

ÖG – ölçü generatoru; PBE - piyezoelektrik bimorf element; MY – mexaniki yük

PBÇ-nin tam sisteminin xarakteristikasını analiz etmək üçün məlum elektromexaniki analoqlara uyğun olaraq PBÇ-nin analoq şəkildə təqdim olunmasından istifadə etmək lazımdır. Bu halda bu sistemin xarakteristikalarını elektrik sahəsinin məlum metodlarından istifadə etməklə yətin etmək olar [10, s. 49,50; 11, s.268-270; 30, s. 37-46; 31, s.29-35; 32, s.159; 33, s.125; 34, 8s.; 35, s.22-25; 36, s.78-83]. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, bu halda belə sistemlərin təhlili elektrik dövrlərinin təhlilindən nisbətən daha mürəkkəbdir, çünki hər hansı PEÇ-nin, o cümlədən PBE-in xüsusiyyətləri onun həndəsi ölçülərindən, materialından və s. asılıdır. Şəkil 3.4.3-də blok sxem şəklində göstərilən analoq elektrik dövrəli sistem üçün aşağıdakı kimi göstərmək olar. Metal ucluq şəklində bərkidilməsi və mexaniki yükü nəzərə alınmaqla PBE-nin ekvivalent sxemi şəkil 3.4.3-də verilmişdir.



Şəkil 3.4.3. Metal ucluq şəklində bərkidilməsi və mexaniki yükü nəzərə alınmaqla PBE-nin ekvivalent sxemi

Burada Z_g – generatorun daxili müqaviməti; Z_k – PBE-in kütləni, elastikliyi və bərkidilmənin sürtünməsini nəzərə alan bərkidilmə müqaviməti; Z_{mex} – mexaniki yükün müqaviməti; C_0 – PBE-in $f = 0 \div 400$ Hz tezlik diapazonunda aşağı tezliklərdə ölçülən elektrik tutumu; n – elektrik enerjisinin mexaniki enerjiyə transformasiya əmsalı (enerjinin transformasiyası ideal transformator üçün təsvir edilmişdir); C_1 – $8/n^2$ –ə vurulmuş PBE-nin statik çevikliyinə bərabər elastiklik; m_1 – PBE-in $1/8$ –ə vurulmuş kütləsinə bərabər kütlə; C_2 – PBE-nin statik elastikliyinin yarısına bərabər çeviklik; m_2 – PBE-in $2/n^2$ –ə vurulmuş kütləsinə bərabər kütlə; m_3 – mexaniki yükün kütləsi; C_3 – mexaniki yükün statik elastikliyinə bərabər elastiklik.

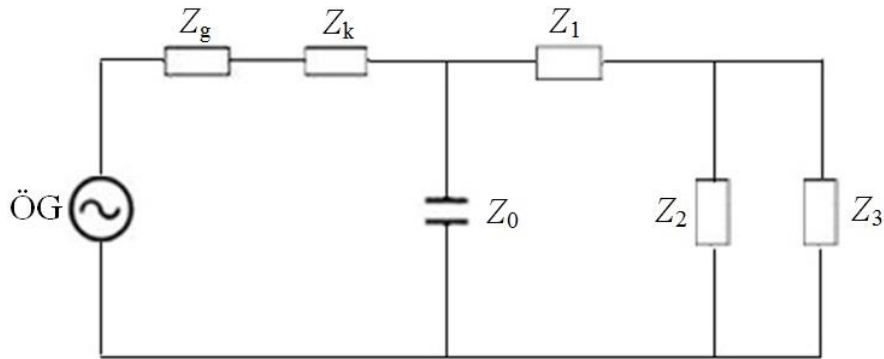
PBE-nin tam elastikliyi və kütləsi PBE-in əsas rezonans tezliyinə əsasən aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$f_{pe3} = 1 / 2\sqrt{mC}; \quad (3.4.1)$$

$$Z_{kp} = j(\omega L - 1 / \omega C), \quad (3.4.2)$$

burada $m_1 C$ – PBE-nin ümumi kütləsi və elastikliyi; $m_1 C_3$ – mexaniki sürtünmə, kütlə, yük elastikliyidir.

İdeal transformator aktiv müqaviməti və ya səpələnmə induktivliyinə malik olmur və onun qarşılıqlı induktivliyi sonsuzluğa bərabərdir, yəni yuxarıda göstərilənlərə əsaslanaraq, nəzərdən keçirilən PBE-nin tam elektrik analoquna keçə bilərlik (şəkil 3.4.4).



Şəkil 3.4.4. Baxılan PBE-in elektrik analoqunun sxemi

Bu elektromexaniki sxemdən (şəkil 3.4.3, 3.4.4) elektrik analoq sxeminə keçirik. Bu zaman nəzərə alsaq ki, ideal transformator istifadə olunur və onun çıxışları aşağıdakı şərti ödəyir:

$$n = U_1 / U_2 = I_2 / I_1, \quad (3.4.3)$$

burada U_1 – vektor gərginliyi; $U_2 = F_2$ – PBE-nin çıxışında artan mexaniki qüvvəyə bərabər çıxış gərginliyi; I_1 – PBE-in girişində cərəyanın qiyməti; $I_2 = U_2$ – PBE-nin çıxışında cərəyanın qiyməti olub, PBE-nin mexaniki rəqsinin sürətinə bərabərdir.

Giriş müqaviməti ilə yük arasında asılılıqdan istifadə üsərək alırıq:

$$Z_{1gir} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{nU_2}{I_2 / n} = n^2 Z_y. \quad (3.4.4)$$

buradan:

$$n = \sqrt{Z_{1gir} / Z_y}. \quad (3.4.5)$$

C elementi PBE-nin elastikliyinə uyğun bir tutumdur.

$C'_1; L'_1; L'_2; C'_2; Z'; C'_3; L'_3$ –ə uyğun olaraq $n^2 C_1; n^2 L_1; n^2 L_2; n^2 C_2; n^2 Z; n^2 C_3; n^2 L_3$

ilə işarə edək:

Seçilmiş işarələnməyə görə yaza bilərik:

$$Z_1 = j \left(\omega L'_1 - \frac{1}{\omega C'_1} \right); \quad (3.4.6)$$

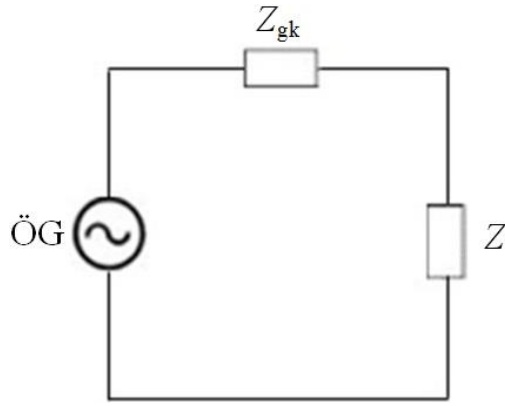
$$Z_z = \frac{j\omega L'_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_2}}{j \left(\omega L'_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)} = \frac{L'_2}{C'_2 j \left(\omega L'_2 - \frac{1}{\omega C'_2} \right)}; \quad (3.4.7)$$

$$Z_3 = Z' + j \left(\omega L'_3 - \frac{1}{\omega C'_3} \right), \quad (3.4.8)$$

burada $\omega = 2\pi f$.

Beləliklə, şəkil 3.4.4-də verilmiş sxemi alırıq.

Şəkil 3.4.4-də verilmiş sxem birkonturlu şəkllə gətirməklə sadələşdirilir və şəkil 3.4.5-də verilmiş sxemi alırıq.



Şəkil 3.4.5. Birkonturlu şəkilə gətirilmiş PBE-nin elektrik analoqunun sadələşdirilmiş sxemi

Birkonturlu şəkilə gətirilmiş sadə sxem (şəkil 3.4.5) əsasında PBE-in müvafiq parametrləri təyin etmək olar:

$$Z_{IK} = Z_I + Z_k, \quad (3.4.9)$$

$$Z_0 = \frac{1}{j\omega C_0}, \quad (3.4.10)$$

$$Z = \frac{Z_0(Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3})}{Z_0 + Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3}} = \frac{\frac{Z_0 Z_1 (Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3}{(Z_2 + Z_3)}}{(Z_0 + Z_1)(Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3} = \frac{Z_0 \cdot Z_1 (Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3}{(Z_0 + Z_1)(Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3}. \quad (3.4.11)$$

Dövrədən axan cərəyanı təyin edək (şəkil 3.4.5):

$$i = \frac{E(t)}{Z_{IK} + Z}. \quad (3.4.12)$$

Təyin olunan i cərəyanı çevirmə sürətinin (V) analoqu olub, öz növbəsində PBE-in Δx yerdəyişməsi (deformasiyası) ilə əlaqəlidir:

$$i = dq / dt, \quad (3.4.13)$$

burada q – elektrik tutumu olub, mexaniki sistemdə Δx yerdəyişməsi uyğundur.

(3.4.13) ifadəsinə əsasən alarıq:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{E(t)}{Z_{TK} + Z}; \quad (3.4.14)$$

$$dq = \frac{E(t)}{Z_{TK} + Z} dt; \quad (3.4.15)$$

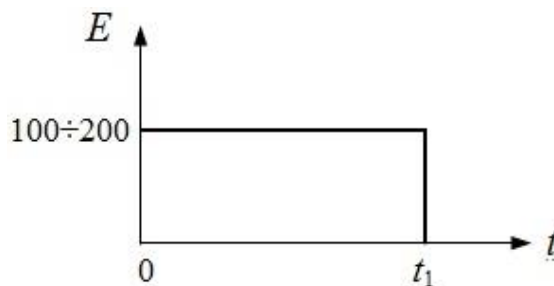
$$E(t) = \begin{cases} 100 \div 200 & \text{olduqda } 0 < t < t_1; \\ 0 & \text{olduqda } t_1 < t < t_2, \end{cases} \quad (3.4.16)$$

$$q = \frac{1}{Z_{TK} + Z} \int_a^{t_1} E(t) dt, \quad (3.4.17)$$

onda

$$q = \frac{E(t_1)}{Z_{TK} + Z}. \quad (3.4.18)$$

Elektrik hərəkət qüvvəsinin zamandan asılılığı şəkil 3.4.6-da verilmişdir.



Şəkil 3.4.6. Elektrik hərəkət qüvvəsinin zamandan asılılığı

Burada əsas məqsəd PE-nin aşağı optimal deformasiyasında PE-nin optimal həndəsi ölçülərini müəyyən etməkdir.

Bunun əlaqədar problemin həlli üçün ən sadə üsul kimi Laqranjın qeyri-müəyyən vuruqlar metodu istifadə etməklə optimallaşdırma metodunu seçmək lazımdır [10, s.49,50].

Beləliklə, $x \leq 0,1 \div 0,15$ məhdudiyyətlər daxilində x funksiyasını optimallaşdırmaq lazımdır [10, s. 49,50].

Laqranj funksiyasını aşağıdakı şəkildə formalaşdıraraq:

$$\Phi(Z, \lambda) = \frac{E(t)}{Z_{TK} + \frac{Z_0 Z_1 (Z_2 + Z_3) + Z_2 Z_3}{(Z_0 + Z_1)(Z_2 + Z_3) + Z_2 Z_3}} (1 - \lambda) + 0,1\lambda, \quad (3.4.19)$$

burada $\lambda_i, i=1,2,...,m$ – Laqranjın qeyri-müəyyən vuruqlarıdır.

Bu funksiyanı həll etmək üçün hasil edilən qismən Φ törəmə funksiyalarını Z_1, Z_2, λ görə təyin etmək və onları sifirə bərabərləşdirmək lazımdır.

Əvvəlcə $\Phi(Z, \lambda)$ funksiyasını sonrakı əməliyyatlar üçün əlverişli olan aşağıdakı çevrilmiş formada yazırıq:

$$\Phi(Z, \lambda) = \frac{E(t) [(Z_0 + Z_1)(Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3]}{Z_{TK} [(Z_0 Z_1)(Z_2 + Z_3) + Z_2 + Z_3] + Z_0 Z_1 (Z_2 + Z_3) + Z_2 + Z_3} - 0,1\lambda(Z_1 + Z_2). \quad (3.4.20)$$

Kəsrin məxrəcini 1B, surətini isə 2D ilə işarə edib və bundan sonra

$\frac{\partial \Phi}{\partial Z_1}; \frac{\partial \Phi}{\partial Z_2}; \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}$ funksiyalarını təyin edirik:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial Z_1} = \frac{E(t)(Z_2 + Z_3)B - D[Z_{IK}(Z_2 + Z_3)] + Z_0(Z_2 + Z_3)}{B} - 0,1\lambda = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial Z_2} = \frac{E(t)[(Z_0 + Z_1) + Z_3]B - D[Z_{IK}(Z_0 + Z_1) + Z_3] + Z_0 + Z_1 + Z_3}{B^2} - 0,1\lambda = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = -0,1(Z_1 + Z_2) = 0. \end{cases} \quad (3.4.21)$$

Beləliklə, sonda tənliklər sistemi alırıq və bu tənlikləri həll etməklə $1Z_1Z_2$ və 2λ -ni təyin edə bilərik. $3Z_1Z_2$ -ni təyin edərək, PE-nin qalan həndəsi ölçülərini təyin edə bilərik.

$4E, t, Z_{IK}$ və Z_3 məlum qiymətlərində bu tənliklər sistemini həll edərək, 5 Z_1, Z_2 -in və 6λ –nın tələb olunan optimal qymətlərini təyin edirik, bu da öz növbəsində PBE-nin həndəsi ölçüləri ilə əlaqəli olan 7 C_1, L_1, L_2 və 8 C_2 elementləri vasitəsilə ifadə olunur.

Bu elementlərin PE-nin həndəsi ölçüləri ilə əlaqəsini ifadə edən asılılıq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$C_0 = \frac{\varepsilon_{33}^{LC} \cdot 1,11 \cdot 10^{-12}}{4\pi} \cdot \frac{l l_3}{l_3} = A_1 \frac{l l_2}{l_3}, \quad (3.4.22)$$

$$C_1 = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{d^{12} \cdot 1,11 \cdot 10^{-12}}{S_{11}^{E1}} \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l_3} = B_1 \frac{l_1 \cdot l_2}{l_3}, \quad (3.4.23)$$

$$L_1 = \frac{\rho \cdot S_{11}^{21E} \cdot 9 \cdot 10^{11}}{8d_{31}^2} \cdot \frac{l_3 \cdot l_1}{l_2} = D_2 \frac{l_3}{l_2}, \quad (3.4.24)$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^{12} \cdot 1,11 \cdot 10^{-12}}{S_{11}^{E1}} \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l_3} = B_2 \frac{l_1 \cdot l_2}{l_3}, \quad (3.4.25)$$

burada l_1, l_2, l_3 – müvafiq olaraq PE-nin uzunluğu, eni və qalınlığı; materialdan asılı olaraq PBE üçün təyin olunan A, B_1, B_2, D_1, D_2 – sabitlərdir.

PBE-in rəqsinin amplitudasını təyin etmək üçün:

$$Z_0 = A\rho C = A\sqrt{C^D \rho}; \quad (3.4.26)$$

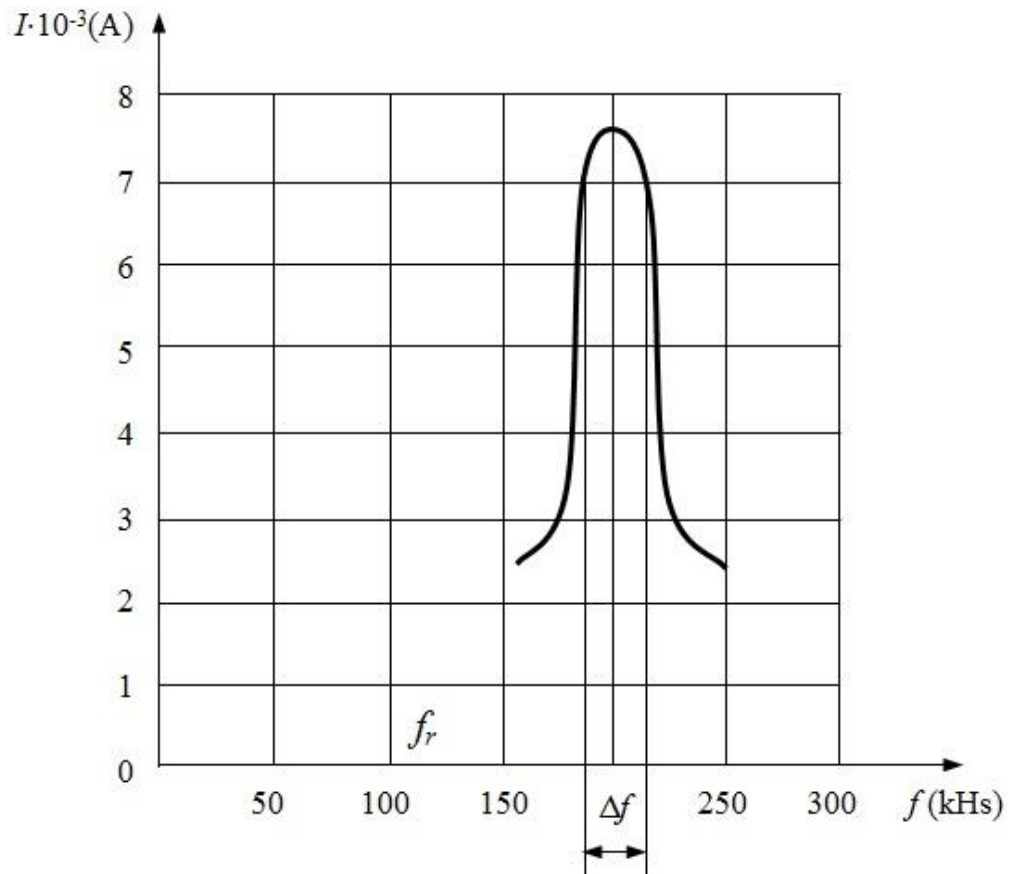
burada $C = \sqrt{C / \rho}$; C^D – elastik modulu ($D = const$); A – nümunənin en kəsik sahəsi; ρ – maddənin sıxlığı; n_φ – transformasiya əmsalı; $Z_{\text{эnpod}}$ – uzununa dalğaların elektrik müqaviməti olub, aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$Z_{\text{эnpod}} = \frac{l}{j\omega A\epsilon^2}; \quad (3.4.27)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega \sqrt{\frac{\rho}{C_1^D + jC_2^D D}}; \quad (3.4.28)$$

$$\frac{C_1^D}{C_2^D} = Q_{\text{mex}}; \rho = 7 \cdot 10^{-3} \text{ (кг / м}^3\text{)}.$$

PE-nin rezonans tezliyini təyin etmək üçün eksperiment aparılmış və şəkil 3.4.7-də göstərilən asılılıq alınmışdır [10, s. 49,50].



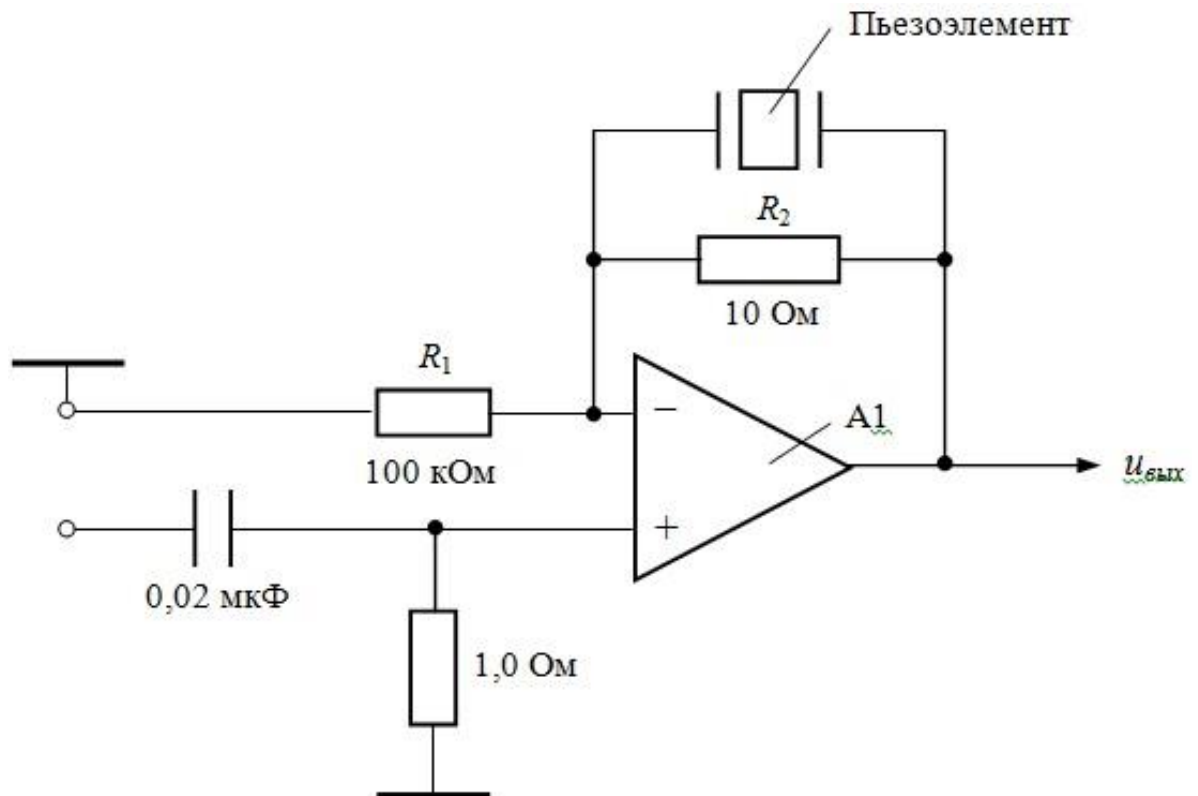
Şəkil 3.4.7 PE-in rezonans tezlik xarakteristikası

$$Q_{\text{mex}} = \frac{f_r}{\Delta f} = \frac{247}{4,5} \approx 50. \quad (3.4.29)$$

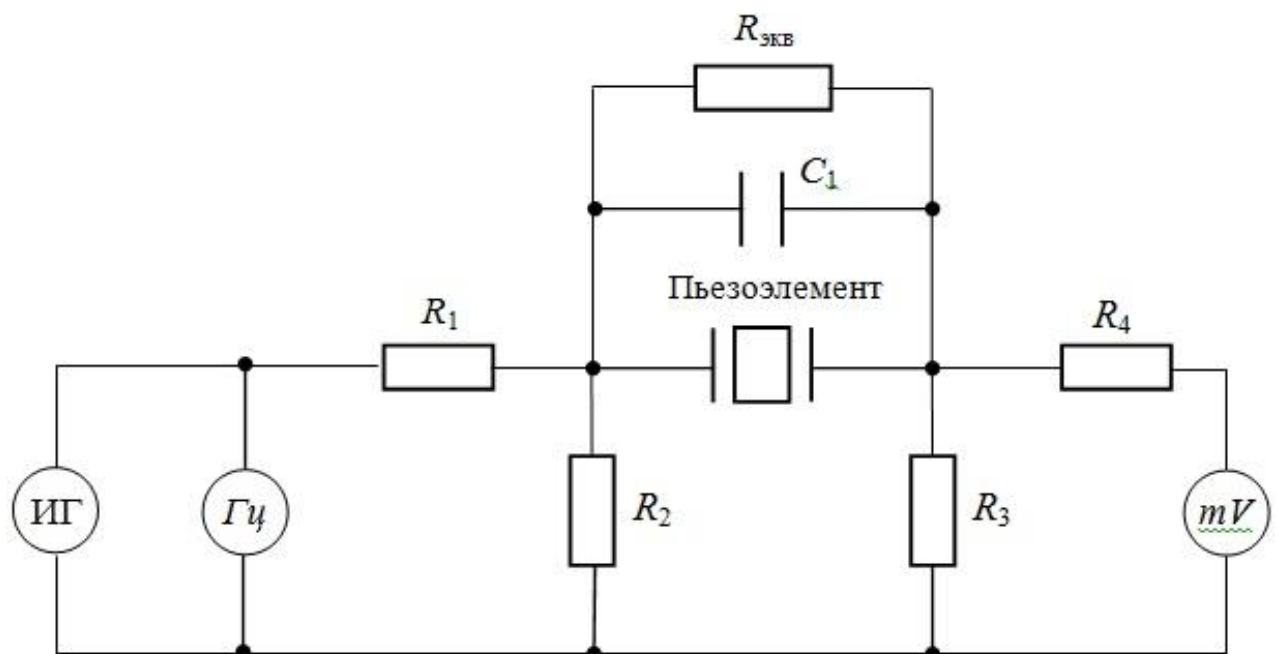
Bu halda PBE-nin rezonans tezliyini təyin edilməsi ilə bağlı eksperiment aparmaq üçün aşağıdakı ölçü cihazlarından istifadə edilmişdir [10, s. 49,50]:

1. Verilmiş tezlik diapazonunda ölçülən tezliyin gücü $\pm 1,10^{-6}$ –dan az olmamasını təmin edən hesabi elektron tezlik ölçən;
2. Sinusoidal siqnal generatoru;
3. Dəyişən gərginliyin $20 \text{ Hs} \div 20 \text{ kHzs}$ tezlik diapazonunda yaratdığı əsas xətası $\delta = \pm(0,2 + 0,02 U_k / U_x)\%$ olan universal voltmetr,
4. PBE-nin rezonans tezliyini təyin etmək məqsədi ilə eksperiment aparmaq üçün bu halda STBQ-3-dən (sirkonat-titanat barium qurğuşun) ibarət pyezosaxsıdan hazırlanmış ölçü dördqütblüsü kimi PBE-dən istifadə olunur ki, onun da sxemi şəkil

3.4.8 и 3.4.9-da verilmişdir.



Şəkil 3.4.8. Pyezoelektrik vəziyyət sensorunun köməkçi kanalı üzrə mənfi əks əlaqə dövrəsinin sxemi



Şəkil 3.4.8. PBE-nin rezonans tezliyinin və mexaniki keyfiyyət əmsalının təyini sxemi

Dövrənin əsas elementi mənfi əks əlaqə ilə əhatə olunan əməliyyat gücləndiricisidir. Əks əlaqə dövrəsinin müqaviməti kimi əks əlaqə sensorundan (ΘΘS) istifadə olunur.

Əgər əməliyyat gücləndiricisinin çıxış gərginliyi ilkin sədd qiymətindən böyük olarsa, onda çıxış gərginliyi $U_{çix}$ – optimal çıxış gərginliyinin qiymətini saxlamaq şərti ilə avtomatik tənzimlənir.

PBE-nin əsas rezonans tezliyini təyin etməyə imkan verən metodun mahiyyətə üç tezliyin, yəni ardıcıl rezonans tezliyinin f_{ar} , paralel rezonans tezliyinin f_{pr} və paralel olaraq PBE və məlum qiymətə malik tutumu C_1 birləşdirməklə alınan rezonans tezliyinin yeni qiymətinin f'_r ölçülməsindən ibarətdir (şəkil 2.10).

Ölçülmüş üç rezonans tezliyinə əsasən, PBE-nin ekvivalent parametrləri təyin olunur. Tutumun qiyməti (şəkil 2.4.8) $1 \div 30 \cdot 10^{-3}$ (F), rezonatorların müqavimətlərinin qiymətləri $3 \div 30 \cdot 10^3$ (Om), R_2 və R_3 müqavimətinin qiyməti isə $10 \div 100$ (Om) qiyməti daxilində seçilir.

Üçkoordinatlı piezoelektrik akselerometr (ÜPA) avtomatik rejimdə hərəkət edən obyektlərin təcil və sürətini ölçməyə imkan verir. Mexaniki rezonans rejimində deformasiya amplitüdünün maksimum qiymətlərində PBE-lərin işçi sonlunun ala biləcəyi maksimum hərəkət sürəti əyilmənin (σ) buraxıla bilən mexaniki gərginliklərin qiymətləri ilə məhdudlaşır, rezonans tezliyində əyilmə rəqsləri zamanı PBE-nin materialının mexaniki möhkəmliyindən asılıdır.

Düzbucaq kəsikli çubuğun kritik uzunluğu əyilmə rəqslərinin diferensial tənliyindən istifadə etməklə təyin edilir [10, s. 49,50]:

$$EI \frac{d^4 r}{dx^4} - \rho S \frac{d^2 r}{dt^2} = 0;$$

$$\beta l = \frac{I}{I_1} \sqrt{\frac{\rho S}{E_y j}} \omega_\rho^2; \quad (3.4.30)$$

$$l_{kp} = \sqrt{\frac{(\beta l_1)^2 V_{izg} \rho S}{\omega_\rho}} \sqrt{\frac{j}{S}}.$$

burada S – çubuğun en kəsiyinin sahəsi (m^2); V_{izg} – əyilmə rəqslərinin yayılma sürətidir (m/s).

Əyilmə müstəvisində məxsusi rəqslərin tezliklərinə uyğun tezliklərdə işləyən zaman bir ucu bərkidilmiş olan bir çubuğun belə rəqslərin rezonans tezliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$f_r = \frac{(\beta l_1)^2 \cdot l_3}{2\pi \sqrt{12} \cdot l_1^2} \left[\frac{E_y}{\rho} \right]^{1/2}, \quad (3.4.31)$$

burada ρ – STBQ-3 (sirkonat-titanat barium qurğuşun) pyezokeramika materialının sıxlığı olub, $5,6 \cdot 10^3$ -ə (kq/m^3) bərabərdir; E_y – elastiklik moduludur (Yunq) və $0,9 \cdot 10^{11}$ – (N/m^2) bərabərdir.

Bir tərəfi bərkidilmiş düzbucaqlı lövhənin yayının əyilmə elastik deformasiyası nəzəriyyəsindən məlum olduğu kimi lövhənin en kəsiyində maksimum gərginlik, ətalət momenti və əyilmə deformasiyasının amplitud qiyməti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\sigma_{uz.don} = \frac{3Fl_1}{2l_2 \cdot l_3^2};$$

$$I = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}, \quad (3.4.32)$$

$$\Delta_{uzl} = \frac{A \cdot l_1^3}{3 \cdot I} = \frac{F}{K_{\text{ж}} E},$$

burada F – lövhənin yayına təsir edən qüvvə (N); l_1, l_2, l_3 – müvafiq olaraq PBE lövhənin yayınının uzunluğu, eni, qalınlığı (m); I – ətalət momenti (m⁴) :

$$l_1 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ (m)}; \quad l_2 = 6 \cdot 10^3 \text{ (m)}; \quad l_3 = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ (m)}$$

PBE-ni təşkil edən düzbucaqlı lövhələr olduqca nazikdir, $l_3 = 55 \cdot 10^{-5}$ (m) və uzunluğu PBE-nin qalınlığından çox böyükdür, yəni $l \gg 2l_3$ və eni $l_1 = \text{const}$. Buna görə də, PBE kəsiyi üzrə mexaniki gərginliklərin paylanması həmcinsdir, onda:

$$K_{b\Sigma} = \frac{E_n \cdot l_2 \cdot l_3}{4l_1^3}, \quad (3.4.33)$$

burada $K_{b\Sigma}$ – düzbucaqlı en kəsiyi olan özəyi təşkil edən lövhələrin ümumi sərtliyidir (N/m).

PBE-nin rəqsləri müstəvi sinusoidal dalğa kimi onun boyunca yayılır. Qəbul etmək olar ki, bütün PBE üzrə təsir göstərən və tətbiq olunan sahənin təsiri altında mexaniki rəqslərin yaranmasına səbəb olan ümumi dəyişən gərginlik

$$U_{gir} = \sum_{k=1}^m U_{mk} \sin \omega_R t - \text{ə bərabər olur və bu halda həyəcanlandırıcı mexaniki gərginlik}$$

σ_{bb} aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\sigma_{bb} = d_{31} E_Y Q_M (U_m \sin \omega_r t), \quad (3.4.33)$$

burada l_3 – PBE-nin qalınlığı - $11 \cdot 10^{-4}$ (m); σ_{bb} – STBS-3 piyezosaxsı üçün PBE-nin əyilməsi zamanı dəqiqlik həddi $28 \cdot 10^6$ (N/m²); $E_{\sim}$ – STBS-3 piyezosaxsı üçün

elektrik sıxlığı (kV/m); Q_M – mexaniki keyfiyyət göstəricisi olub, PE-nin $\Delta = \varphi(f_r)$ ATX-dan eksperiment yolu ilə təyin olunur:

$$Q_V = \frac{w_p V_{KB}}{R_{MI}}; \quad R_{MI} = \rho \cdot v_s \cdot S, \quad (3.4.34)$$

burada R_{MI} – PE-nin mexaniki itkiləridir.

Gərginliyin buraxıla bilən qiyməti materialın dayanıqlılıq həddindən aşağı olmalıdır, aşağıdakı şərt yerinə yetirilməlidir:

$$\sigma_{bb} \leq 0,75 \sigma_{dh}. \quad (3.4.35)$$

σ_{bb} şərti daxilində PE-nin f_r – mexaniki rezonans tezliyində amplituda və rəqslərin icazə verilən maksimum qiymətlərində işlədiyini fərz etsək, maksimum qüvvənin $F_{\max}$ və PE-nin ən böyük icazə verilən əyilmə deformasiyasının nisbətini əks etdirən ifadəni alırıq:

$$F_{\max} = \frac{4E_{\sim} d_{31} Q_M E_y l_2 l_3^2}{3l_1} = \left[\frac{4d_{31} Q_M E_y l_2 l_3^2}{3l_1} (U_m \sin \omega_r t) \right]; \quad (3.4.36)$$

$$\Delta_{\max} = \frac{F_{\max} \cdot l_1^3}{3E_y j} = \frac{F}{K_{c\sigma}} = \left[\frac{24d_{31} Q_M l_1^2}{9l_2^3} (U_m \sin \omega_r t) \right], \quad (3.4.37)$$

где d_{31} – əyilmə rəqslərinin piyezomodulu $8,35 \cdot 10^{11}$ (M/V); M_{ekv} – ekvivalent kütlə.

Bu fərziyyələr kifayət qədər dəqiqliklə rezonans tezliyini f_r və PE-nin kritik uzunluğunu təyin etmək üçün sadə analogi ifadələr əldə etməyə imkan verir, nəticədə alınan ifadələr mexaniki rezonansa yaxın tezlikdə PE-nin qeyri-xətti xassələri kiçik olan halda parametrləri təyin etmək üçün istifadə oluna bilər.

PBE-nin mexaniki rezonansını təyin etmək üçün aşağıdakı ifadədən istifadə edirik:

$$f_r = \frac{(\beta \cdot l_1)^2 p \cdot l_3}{2\pi \sqrt{12l_1^2}} \left(\frac{E_y}{p} \right)^{1/2} = \left[\frac{(\beta \cdot l_1)^2 24v_{3b} d_{31} \cdot Q_M}{18\pi \sqrt{12\Delta_{\max bb}^3}} (U_m \sin \omega_r t) \right];$$

$$l_{kp} = \sqrt{\frac{(\beta \cdot l_1)^2 v_{3b}}{\omega_p}} \sqrt{\frac{j}{S}} = \sqrt{\frac{9\Delta_{\max \partial on} l_3 \sqrt{12}}{24d_{31} Q_m (U_m \sin \omega_p t)}} \cdot \sqrt{\frac{j}{S}}.$$

Təqdim olunan verilənlər $f_r = 247$ Hz mexaniki rezonans tezliyində PE-nin yük cərəyanının və gərginliyin 200V həyəcanlandırma qiymətində deformasiyanın amplitudasının PBE-nin əyilmə rəqsləri üçün icazə verilən həddləri aşmadığını təsdiqləyir.

Aşağıda yuxarıdakı ardıcılıqla PBE-nin parametrlərinin hesablanmış qiymətləri verilmişdir:

$$\sigma_{bb} = 20 \cdot 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)};$$

$$\Delta_{\max bb} = 168 \cdot 10^{-6} \text{ (m)}.$$

Yuxarıda göstərilən sadələşdirilmiş hesablama metodundan istifadə etməklə PBE-nin kritik uzunluğunu təyin etmək və onun təxmini xarakter daşdığını, habelə eksperimental tədqiqatların xətasını, nəzəri və eksperimental nəticələr arasındakı uyğunluq 19-20% olduqda qənaətbəxş hesab etmək olar.

Aşağıda yuxarıdakı ardıcılıqla PE-nin parametrlərinin hesablanmış qiymətləri verilmişdir:

$$n_\varphi = K_p = 0,4; \quad C_1^D = (0,55 - 0,85) \cdot 10^{11} \text{ Па};$$

$$Q_{mex} = 50; \quad f = 247 \text{ Hz}; \quad \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 247 = 1550;$$

$$\varepsilon^S = 1525 \pm 325; \quad \frac{C_1^D}{Q_{mex}} = C_2^D; \quad C_2^D = \frac{0,55 \cdot 10^{-11}}{50} = 0,11 \cdot 10^{-12}.$$

l_1, A və Z_M təyin edək:

$$Z_{ekv.e} = \frac{l_1}{j\omega A \varepsilon^S} = \frac{l_1}{j1550 \cdot A \cdot 1525} = -j0,424 \cdot 10^{-6}. \quad (3.4.38)$$

PBE-nin mexaniki yük müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$Z_M = (R_M + j\omega L_M + 1/j\omega C_M). \quad (3.4.39)$$

$$E(t) = \begin{cases} 100 \div 200, \\ 0 < t < t_1; \end{cases}$$

$$t = T / 2; \quad (3.4.40)$$

$$\omega_b = 2\pi / T.$$

$$Z_M = F \cdot \sin \omega t; \quad F = 0,25 \text{ (N)}; \quad (3.4.41)$$

$$l_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ (m)};$$

$$A = l_3 \cdot l_2 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ m}^2 = 5 \cdot 10^{-6} [M^2];$$

$$Z_0 = 1,962 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 9,83 \cdot 10^{-13};$$

$$Z_{\text{эnpод.}} = -j0,424 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{l_1}{A} = -j0,424 \cdot 10^{-2};$$

$$Z_M = 0,25 \sin \omega t;$$

$$\frac{1}{2} j l_1 = \frac{1}{2} j 555 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = j 139 \cdot 10^4;$$

$n^2 Z_0 th \frac{j l}{2} \cdot n^2 Z_M$ ifadəsinin qiymətini təyin edək:

$$\begin{aligned} n^2 Z_0 th(j l / 2) \cdot n^2 \cdot Z_M &= 0,4^2 \cdot 9,83 \cdot 10 - \\ -13 \cdot j 0,9316 \cdot 0,4^2 \cdot 0,25 \sin \omega t &= j 0,585 \cdot 10^{-14} \sin \omega t \end{aligned} \quad (3.4.42)$$

$$th Z = -itgiZ = -jtg(-139 \cdot 10^4) = +jth0,75 = j0,9316;$$

$$\begin{aligned} n^2 Z_0 th \frac{j l}{2} + \Pi^2 Z_M &= 0,4^2 \cdot 9,83 \cdot 10^{-13} \cdot j \cdot 0,9316 + 0,4^2 \cdot \\ 0,25 \sin \omega t &= j 1,462 \cdot 10^{-13} + 0,04 \sin \omega t. \end{aligned}$$

$$Z_{1 \text{ экв}} = \frac{j 0,585 \cdot 10^{-14} \sin \omega t}{j 1,462 \cdot 10^{-13} + 0,04 \sin \omega t}. \quad (3.4.43)$$

$$Z_{2 \text{ экв}} = -Z_{\text{ekvu}} + n^2 \frac{Z_0}{th \frac{j l}{2}} + Z_{1 \text{ экв}} = \frac{j 0,576 \cdot 10^{15} + 0,1575 \cdot 10^{-3} \sin \omega t}{-1,362 \cdot 10^{-13} + 0,04 \sin \omega t}; \quad (3.4.44)$$

$$I = \frac{U}{Z_{\text{ekv}}} = \frac{E(t)[j 1,156 \cdot 10^{-12} - (j 0,17 - 0,1575) \sin \omega]}{0,245 \cdot 10^{-14} - j 0,668 \cdot 10^{-3} \sin \omega t}. \quad (3.4.45)$$

$$\begin{aligned} I_1 &= I \cdot \frac{Z_{\text{ekve}}}{Z_{\text{ekve}} + Z_{2 \text{ экв}}} = \\ &= \frac{E(t)[-0,668 \cdot 10^{-27} + 2,933 \cdot 10^{16} \sin \omega t + j 0,91 \cdot 10^{-16} \sin \omega t - 0,288 \cdot 10^{-4} \sin^2 \omega t - j 0,266 \cdot 10^{-4} \sin \omega t]}{j 0,283 \cdot 10^{-29} + 1,156 \cdot 10^{-18} \sin \omega t - j 0,117 \cdot 10^{-6} \sin \omega t - 0,113 \cdot 10^{16} \sin \omega t}. \end{aligned} \quad (3.4.46)$$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{\Pi^2 Z_0 th(jl / 2)}{\Pi^2 Z_0 th \frac{jl}{2} + \Pi^2 Z_M} = i_1 \cdot \frac{0,4^2 \cdot 9,83 \cdot 10^{-13} \cdot j0,9316}{j1,462 \cdot 10^{-13} + 0,04 \sin \omega t} = I_1 \cdot \frac{j1,49 \cdot 10^{-13}}{j1,462 \cdot 10^{-13} + 0,04 \sin \omega t}. \quad (3.4.47)$$

I_1 –in qiymətini I_2 –də yerinə qoysaq, alırıq:

$$I_2 \approx \frac{E(t)(0,396 - j0,428) \cdot 10^{-17} \sin^2 \omega t}{(4,52 + j0,468) \cdot 10^{-17} \sin^2 \omega t} = \frac{E(t)(1,59 - j2,115)}{20,34} =$$

$$= (0,0783 - j0,104)E(t) = 0,13e^{-j53^\circ} E(t). \quad (3.4.48)$$

Burada $0 < t < t_1$, $t_1 = T / 2$ olan halda $E(t) = 100(V)$ qiymətini alırıq.

Ani cərəyanın qiymətini integrallamaq üçün həqiqi qiymətindən ani cərəyanın qiymətinə keçmək lazımdır:

$$i = \frac{dq}{dt}; \quad q = \int_0^t i dt;$$

$$i_2 = I_m \cdot I_{2m} \cdot l^{j\omega t} = I_m 0,13 \cdot e^{-j53^\circ} \cdot e^{j\omega t} \sqrt{2}E(t) =$$

$$I_m \cdot 0,183e^{-j53^\circ} e^{j\omega t} \cdot 10^2 = I_m 0,183 \cdot 10^2 \sin(\omega t - 53^\circ). \quad (3.4.49)$$

Bu ifadəni integrallamaq üçün əlverişli formaya çevirmək lazımdır:

$$i_2 = 0,183 \cdot 10^2 \sin(\omega t - 53^\circ). \quad (3.4.50)$$

(3.4.50) ifadəsini aşağıdakı kimi təqdim etmək olar:

$$i_2 = a \sin \omega t - b \cos \omega t, \quad (3.4.51)$$

burada $\operatorname{tg} \varphi = b / a$; $\varphi = 53^\circ$; $\operatorname{tg} 53^\circ = 1,327$.

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad b = 1,327a;$$

$$A = 0,183 \cdot 10^2 = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a^2 + (1,327)^2 a^2} = \sqrt{2,76a^2} = 1,66a;$$

$$a = \frac{0,183 \cdot 10^2}{1,66} = 11,02; \quad b = 1,327 \cdot a = 1,327 \cdot 11,02 = 1,46.$$

Bu halda

$$i_2 = 11,02 \sin \omega t - 14,6 \cos \omega t \quad (3.4.52)$$

$$\begin{aligned} \Delta = q &= \int_0^t i_2 dt = \int_0^{T/2} (11,02 \sin \omega t - 14,6 \cos \omega t) dt = 11,02 / \omega \cos \omega t \int_0^{T/2} -14,6 \omega \sin \omega t \int_0^{T/2} = \\ &= 11,02 / 1550 \cdot (\cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} - \cos 0) - 14,6 / 1550 \cdot (\cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} - \sin 0) = \\ &= 22,04 / 1550 = 0,0142 \text{ cM}. \end{aligned} \quad (3.4.53)$$

$$\Delta = 0,0142 \text{ cM} = 1,42 \cdot 10^{-4} (m).$$

Beləliklə, üçkoordinatlı pyezoelektrik akselemetrin piezoelementinin mexaniki rəqslərinin amplitudalarının qiymətinin analitik hesabat üsulu ilə PE-nin əsas rezonans tezliyini təyin etmək üçün mahiyyətə üç tezliyin, yəni ardıcıl rezonans tezliyinin, paralel rezonans tezliyinin və paralel olaraq PE və məlum qiymətə malik tutumu birləşdirməklə alınan rezonans tezliyinin yeni qiymətinin hesablanması ibarətdir və ölçülmüş üç rezonans tezliyinə əsasən üçkoordinatlı pyezoelektrik akselerometrin (ÜPA) ekvivalent parametrləri təyin olunur [10, s. 49,50].

IV Fəsil. HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİ ÖLÇƏN AKSELEROMETRLƏRİN VƏ PREZİSİON MÖVQELƏŞDİRİCİ QURĞUNUN İŞÇİ ORQANININ EKSPERİMENTAL TƏDQIQI

4.1. Birmodlu optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi

Optik-lifli sistemlərdə bir çox hallarda optik şüanın səviyyəsinin idarə edilməsi üçün monitoring, ölçmə və əks əlaqə signalının qəbulu etmək məqsədi ilə, həmçinin optik şüa sellərinin ayrılması və ya birləşdirilməsi (məsələn, dalğa uzunluğuna – spektral multipeksasiya - WDM - Wavelength Division Multiplexing texnologiyasından istifadə etməklə) optik şüanın bir hissəsinin əsas veriliş kanalından ayırmaq zəruriyyəti yaranır. Bu məsələlər optik-lifli şaxələndiricilər və birləşdiricilər vasitəsi ilə həyata keçirilir..

İnformasiya-ölçmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi istiqamətlərindən biri də ölçmə nəticələrinin ötürülməsi üçün fiziki mühit kimi optik liflərin istifadəsi ilə əlaqədardır [12, s.373-377; 38, s. 88-98; 39, s.45,46; 58, s.57-76; 72, p.23-27].

Bu halda elektrik rabitə kabelləri üzrə işləyən sistemlərlə müqayisədə ölçmə nəticələrinin ötürülməsi zamanı optik lifli rabtə xətlərindən istifadə olunması bir sıra yeni keyfiyyətlərə, o cümlədən, yüksək buraxma qabiliyyətinə, genişzolaqlı olmasına və yüksək maneəyədavamlılığa malik olması ilə fərqlənir. İnformasiya-ölçmə sistemlərinin optik veriliş sistemləri qurularkən optik lif vasitəsilə ötürülən optik şüa selinin birləşdirilməsi və ayrılması zəruriyyəti meydana çıxır. Bu funksiyanı həyata keçirmək üçün xüsusi optik-lifli qurğulardan, optik-lifli şaxələndiricilərdən / birləşdiricilərdən istifadə olunur. Bu qurğuların təyinatından asılı olaraq, giriş və çıxış optik portların (kanalların) sayına, istifadə olunan optik lifin növünə və iş şəraitinin tələblərinə görə fərqlənən müxtəlif növ optik-lifli şaxələndiricilərdən

istifadə olunması tələb olunur. İstifadə olunan optik-lifli veriliş vasitələrinin növləri arasında onların əksəriyyəti veriliş matrisi $1 \cdot N$ və $N \cdot N$ (N – giriş / çıxış optik portların sayıdır) olan şaxələndiricilərdən istifadə edərək çox modlu optik lif əsasında qurulur. Bu zaman istifadə olunan portların sayı $N = 32$ –yə bərabər götürülür.

4.2. Birmodlu optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi

Optik nəqliyyat şəbəkələri üçün hazırlanmış texnologiyaların və avadanlıqların yüksək sürətlə işlənməsinə və təkmilləşdirilməsinə baxmayaraq, bu cür qurğuların işləmə prosesini modelləşdirmək üçün elmi cəhətdən əsaslandırılmış və qəbul edilmiş vahid metodika yoxdur. Ona görə də, ən aktual məsələlərdən bir optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işləmə prosesinin riyazi modelinin işlənməsidir.

[2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.]-də verilmiş qurğularda xarici mənbədən qida gərginliyi alan düzbucaqlı en kəsiyinə malik piezoelement, uyğun olaraq müəyyənləşdirilmiş uzununa dartılma deformasiyasına məruz qalır:

$$\Delta_{six} = \frac{2T_m \cdot l_1}{\pi E_y} = \frac{2 \cdot 19,6 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 7 \cdot 10^{11}} = 6 \cdot 10^{-6} = 6 \text{ mkm}, \quad (4.2.1)$$

burada T_m – lövhənin mərkəzində mexaniki gərginlik olub, $19,6 \cdot 10^6 \text{ (N / m}^2\text{)}$ –ə bərabərdir; l_1 – pyezoelementin uzunluğu olub, $5 \cdot 10^{-2} \text{ (m)}$ –ə bərabərdir; E_y – Yunq modulu (kövrəklik modulu) olub, STBQ-3 (sirkonat-titanat barium qurğuşundan ibarət pyezosaxsı) pyezosaxsı üçün $0,8 \cdot 10^{11} \text{ (N / m}^2\text{)}$ –ə bərabərdir.

Bu zaman pyezoelementin dartılma deformasiyası nəticəsində əyilmə artımı baş verir və həmin artım aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur təyin olunur:

$$\Delta_u = \frac{F_{\max} \cdot l_1^2}{3E_y \cdot J}, \quad (4.2.2)$$

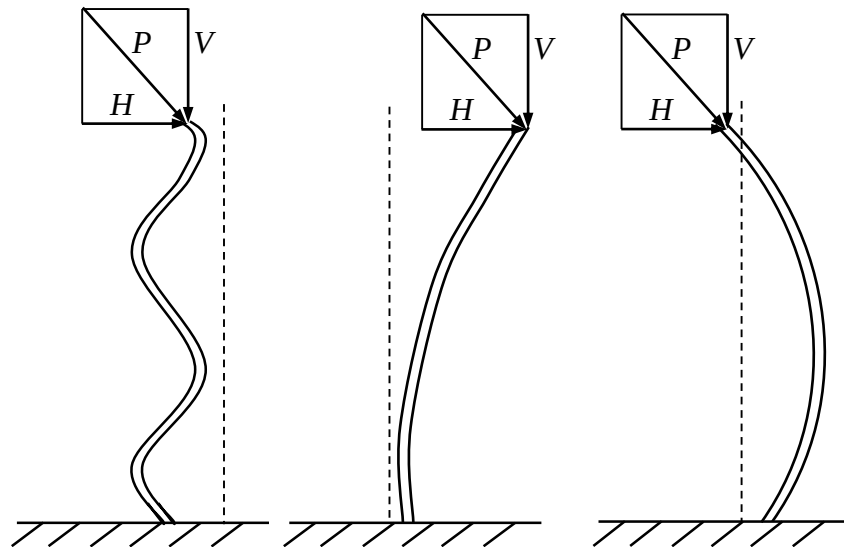
burada F_M –piezoelement (N) tərəfindən təsir edən maksimum güc, J – pyezoelementin düzbucaqlı en kəsiyinə malik özəyinin ətalət momentidir (m^4).

Təsvir edilmiş əyilmə iş rejimində əyilmə artımı Δ təkcə x koordinatından deyil, həm də t zamanından asılı funksiyasıdır, yəni:

$$\Delta = f(x, t). \quad (4.2.3)$$

Aparılmış tədqiqatların nəticələri göstərir ki, yerdəyişmə mexanizminin işçi xarakteristikalarının keyfiyyəti, məsələn, birinci halda işçi orqanın, ikinci halda fırlanan valın rotorların addımın və yerdəyişmə qüvvəsinin xəttiliyi rəqsi iş rejimində pyezoelementin dinamik dayanıqlığından asılıdır.

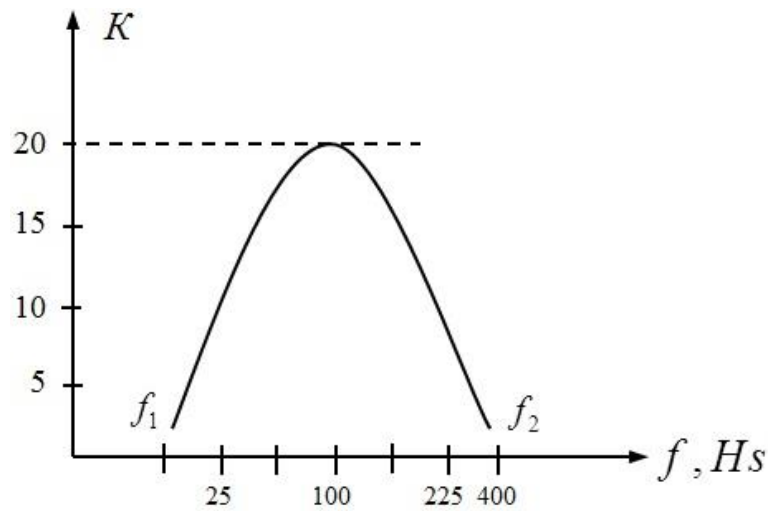
Dinamik təsirləri ölçən vericilərin tətbiqi ilə işçi xarakteristikalarının eksperimental tədqiqatları göstərir ki, piezoelementin həmin iş rejimində birinci halda işçi orqan tərəfindən, ikinci halda isə mühərrikin rotorunun valı tərəfindən onun əyilməsi zamanı toxunan boyunca elastik xəttə yönəldilmiş P gücü ilə təsir edir (şəkil 4.2.1).



Şəkil 4.2.1. Sıxılma qüvvəsinin təsiri altında piezoelementin yaratdığı rəqslərin formaları

P gücünü iki V şaquli və H üfiqi təşkilediciyə ayıraraq (şəkil 4.2.1), $1 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$ kiçik əyilmə zamanı V şaquli toxunan gücün qiymətini sabit hesab etmək olar.

$P \neq 0$ olduqda pyezoelementin elastiklik xətti ilgəyin sol hissəsi üçün yaranan rəqslərin birinci və ikinci məxsusi formalarını birləşdirir. $K = F(f)$ asılılığının sol hissəsi üçün rəqslərin birinci forması, sağ hissəsi üçün isə ikinci forması üstünlük təşkil edir (şəkil 4.2.2) [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.].



Şəkil 4.2.2. Sıxılma qüvvələrinin müxtəlif qiymətlərində pyezoelementin rəqslərinin tezlik ilgəyi

Xüsusi olan qüvvə F , onun qiyməti mahiyyətcə son en kəsiyinin əyilməsindən asılıdır, qüvvə isə düzbucaqlı şəkildə piezoelektrik elementin sərtliyinin K_s və əyilmə artımının Δ hasilinə bərabərdir, yəni:

$$F = K_s \cdot \Delta. \quad (4.2.4)$$

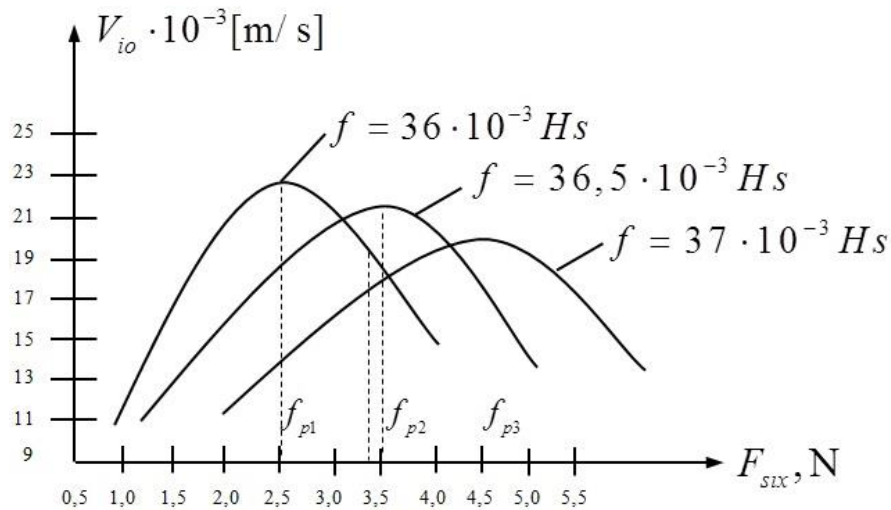
Əyilmiş oxun diferensial tənliyi aşağıda verilmiş ifadə ilə təyin olunur:

$$E_y J \frac{d^4 \Delta}{dx^4} + P \frac{d^2 \Delta}{dx^2} = q, \quad (4.2.5)$$

burada q – eninə yük intensivliyi, J – düzbucaqlı en kəsiyinə malik özəyin ətalət momenti olub, aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}. \quad (4.2.6)$$

Qida gərginliyinin tezliyinin müxtəlif qiymətlərində işçi orqanın xətti hərəkət sürətinin $-V_{io}$ pyzoelemenin işçi orqana sıxılma qüvvəsinin $-F_{six}$ qiymətindən asılılığı şəkil 4.2.3-də verilmişdir.



Şəkil 4.2.3. İşçi orqanın xətti yerdəyişmə sürətinin pyzoelemenin işçi orqana sıxılma qüvvəsinin qiymətindən asılılıqları

Limit nöqtəsində tezlik ilgəkləri birləşir və bu nöqtəyə çıxıcı qüvvə $K \approx 20$ qiyməti uyğun gəlir. $K > 20$ olduqda rəqs sistemi qeyri-dayanıqlı rejimə keçir və qüvvə komponentinin təsiri hesabına əlavə enerji ilə təmin edərək rəqsi vəziyyətə keçir.

Qeyd etmək lazımdır ki, məsələnin şərtlərindən yaranan P qüvvəsinin istiqamətinin dəyişməsi verilmiş sistemdən kənar enerji mənbəyinin təsiri nəticəsində

baş verməlidir.

Tənliyin əlavə köklərini təyin etmək üçün, üçüncü və dördüncü məxsusi tezlikləri, beşinci və altıncı və s. birləşdirən yeni ilgəhlər alınır. Bununla belə, qeyd etmək lazımdır ki, ilk ilgəh üçün hədd nöqtəsi ən kiçikdir, qüvvənin kritik qiymətini müəyyənləşdirir və aşağıdakı kimidir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.]:

$$P_{kr} \approx \frac{2\pi^2 E_y J}{l_1^2}, \quad J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}. \quad (4.2.7)$$

Düzbucaqlı piyezosaxsının özəyi şəklində piezoelektrik element KTBS-3 (kalsium titanat barium sirkonat) üçün:

$$P_{kr} \approx \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8 \cdot 10^{11} \cdot 136 \cdot 10^{-14}}{(5 \cdot 10^{-2})^2} = 267,6 \text{ kq}. \quad (4.2.8)$$

Piezoelektrik elementin həndəsi ölçülərini nəzərə almaqla uzununa deformasiya zamanı möhkəmlik həddi aşağıdakı kimi təyin olunur [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.]:

$$\sigma_{np.pacm.} = P_{kp} / l_2 \cdot l_3. \quad (4.2.9)$$

Piezoelementin bir bölməsi sensor kimi istifadə edilərsə, onda dağıdıcı yükün qiymətini P ölçmək olar və elektrik parametrləri nəzərə alınmaqla həmin qiyməti aşağıdakı ifadə vasitəsi ilə təyin etmək olar:

$$\sigma_{din} = E_{\sim} d_{31} \cdot E_y \cdot Q_m, \quad (4.2.10)$$

burada $E_{\sim}$ – nümunənin pozulması zamanı elektrik sahəsinin gərginliyi (V/m), d_{31} – uzununa deformasiya piezomodulu (m/V) (m/ V), E_y – Yunq modulu (N/m²), Q_m –

mexaniki keyfiyyət amilidir.

Beləliklə, təklif olunmuş prezision mövqeləşdirmə qurğu mövqeləşdirmə müddətinin azaldılmasına, optik şüa istiqamətinin dəyişdirilmə dəqiqliyinin artırılmasına, mexaniki birləşmə yerlərində itkiləri azaldılmasına və optik şüanın optik lifə daxil edilməsi zamanı yaranan itkilər 0,1...0,5dB həddində dəyişir ki, bu da məlum qurğularda yaranan itkilərdən 45...50% azdır [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.].

Bu qurğular məlum elektromexaniki və maqnitoelektrik mövqeləşdirmə sistemləri ilə müqayisədə müəyyən üstünlüklərə malikdir ki, bu üstünlüklərə də az enerji tələb etməsi, yüksək dəqiqlik, etibarlılıq və istehsal texnologiyasına malik olması aiddir.

4.3. Çoxmodlu optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun riyazi modelinin işlənməsi

Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işini xarakterizə edən göstəricilərin təyin edilməsi məqsədi ilə riyazi model işlənmişdir. İşlənmiş analitik model aşağıdakı ardıcılıqla realizə olunur. Çoxmodlu optik lifə daxil edilən optik şüanın gücü NA – apertura ədədindən, eləcə də optik şüa mənbəyinin bucaq istiqamətləndirmə diaqramından asılıdır. Çoxmodlu optik lif onun en kəsiyinə $\Theta_{0 \max}$ bucağından kiçik olan bucaq altında düşən n_0 – sınıdırma əmsallı optik şüaları qəbul edir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98].

Bu zaman

$$NA = \sin \Theta_{0 \max} = \begin{cases} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / n_0, & \text{pilləvəvari profilli sındırma} \\ & \text{əmsalına malik optik liflər üçün;} \\ \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / n_0 \sqrt{2}, & \text{gradient profilli sındırma} \\ & \text{əmsalına malik optik liflər üçün.} \end{cases} \quad (4.3.1)$$

Ona görə də, daxil edilən sönmənin hiss ediləcək dərəcədə qiyməti o vaxt

əmələ gəlir ki, optik şüanın gücünün bucaq üzrə paylanması $2 \cdot \Theta_{0 \max}$ bucağının qiymətini aşır.

Optik şüa mənbəyinin bucaq istiqamətləndirmə diaqramını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$P(\varphi) = P_0 (\cos \varphi)^m, \quad (4.3.2)$$

burada P_0 – optik şüanın $\varphi = 0$ oxu üzrə gücü; m – sındırma əmsalıdır.

Sındırma əmsalının qiyməti işıqötürücülər üçün $m \approx 1$, superlyuminisent lazer diodları üçün $m \approx 2$ və yarımkeçirici lazer diodları üçün isə $m \approx 4...5$ – ə bərabərdir.

Optik şüa çoxmodlu optik lifə daxil edilən zaman itkilərin qyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\alpha_{it} \approx \eta + A_0 + A_q, \quad (4.4.3)$$

burada η – optik şüa mənbəyinin çoxmodlu optik liflə bilavasitə birləşməsi zamanı optik şüanın gücünün daxilə dilmə effektivliyi; A_0 – havanın n_0 ($n_0 = 3,6$ GaAs üçün) və çoxmodlu optik lifin özəyinin $n_1 \approx 1,5$ sındırma göstəricisinin müxtəlif olması ilə əlaqədar optik şüanın enerjisinin əks olunması üzrə itkilər; A_q – mod tərkibinin qərarlaşmış uzunluğunda modun çevrilməsi hesabına çoxmodlu optik liflərdə yaranan itkilərdir.

Əgər optik şüa mənbəyinin istiqamətləndirmə diaqramı ox üzrə simmetriyaya malikdirsə, məsələn, şüalandırıcı səth diodunda, onda çoxmodlu optik liflə bivasitə birləşdirilən zaman optik şüanın gücünün daxilə dilmə effektivliyi P_{os} / P_m nisbəti şəklində və ya aşağıdakı asılılıqla təyin olunur:

$$\eta = 10 \cdot \lg(P_{os} / P_m) \approx 10 \cdot \lg[2S_m / (m+1) \cdot S_{öz} \cdot (NA)^2], \text{ dB} \quad (4.3.4)$$

burada P_{os} – optik şüanın çoxmodlu optik lifə daxil edilən gücü; P_m – optik şüa

mənbəyinin gücü; S_m – optik şüa mənbəyinin şüalandırma səthinin sahəsi; $S_{öz}$ – çoxmodlu optik lifin özəyinin en kəsiyinin sahəsidir.

Optik şüanın gücünün çoxmodlu optik lifə daxilə dilmə effektivliyini artırmaq üçün çoxmodlu optik lifin en kəsiyi ilə optik şüa mənbəyinin şüalandırma səthi arasında mikrolinza yerləşdirmək olar. Bu cür linzalar, məsələn, çoxmodlu optik lifin en kəsiyinin əridilməsi yolu ilə hazırlana bilər. Mikrolinzalar optik şüa mənbəyinin bucaq istiqamətləndirmə diaqramı ilə çoxmodlu optik lifin apertura bucağını ($\varphi \leq \Theta_{0\max}$) eyniləşdirmək üçün tətbiq olunur. Şüalandırıcı səth diodunun şüalandırma səthinin diametri çoxmodlu optik lifin özəyinin diametrindən böyük və ya bərabər olduğu üçün mikrolinza zəruri nəticəni almağa imkan vermir. Optik şüanın əksəlmə itkiləri iki n_{m1} və n_{m2} sındırma əmsallı iki mühiti ayıran müstəvi sərhədə dalğanın normal düşən halında Frenel düsturu ilə təyin olunur [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98]:

$$A_0 = 10 \cdot \lg[(n_{m1} + n_{m2})^2 / (4n_{m1} \cdot n_{m2})]. \quad (4.3.5)$$

Əgər optik şüa mənbəyi və çoxmodlu optik lifin en kəsiyi arasında sındırma əmsalı $n_0 = 1$ olan hava aralığı olarsa, onda əksəlmədən yaranan itkilər aşağıdakı asılılıqla təyin olunur:

$$A_0 = A_{s0} + A_{01}, \quad (4.3.6)$$

burada A_{s0} – optik şüa mənbəyinin şüalandırma sahəsi və hava aralığı kimi birinci sərhəddə optik şüa mənbəyinin güc görə əksəlmə itkisi; A_{01} – hava aralığı və çoxmodlu optik lifin özəyi kimi ikinci sərhəddə optik şüa mənbəyinin güc görə əksəlmə itkisidir.

Real çoxmodlu optik liflər, məsələn, texnoloji defektlər, makroəyilmələr və s. kimi qeyri-müntəzəmliyə malik olurlar ki, bunlar da modlararası əlaqənin

yananmasına və optik şüanın gücünün bir hissəsinin çoxmodlu optik lifdən kənara çıxaraq müdafiə örtüyünə şüalanmasına və nəticə etibarı ilə bu da itkilərin yaranmasına səbəb olur. Əlavə itkilərin yaranmasına səbəb isə optik şüa mənbəyinin və çoxmodlu optik lifin mod tərkibinin və modun strukturunun uyğun gəlməməsi nəticəsində stasionar mod vəziyyətinin alınma L_q uzunluğunda yayılan modun şüalanan moda mürəkkəb çevrilmə prosesini yaradır ki, bu da enerjinin çoxmodlu optik lifin en kəsiyindən kənara şüalanmasına gətirib çıxarır. Eksperiment yolu ilə alınmış nəticələrə görə L_q uzunluğunda A_q şüalanma itkilərinin qiyməti 1,25 dB-ə qədər ola bilər.

Beləliklə, təklif olunan optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunda optik lifli rabitə xəttinin - 2 optik lifinə - 1 optik signalın daxil edilməsi zamanı yaranan itkilər 0,8...3 dB təşkil edir ki, bu da mövcud qurğularda yaranan itkilərin qiymətlərindən 40...55%-ə qədər azdır və bu halda mövqeləşdirmə xətası 0,0017...0.0065% təşkil edir [2, s.9; 3, s.16,17; 4, 13s.; 38, s.88-98].

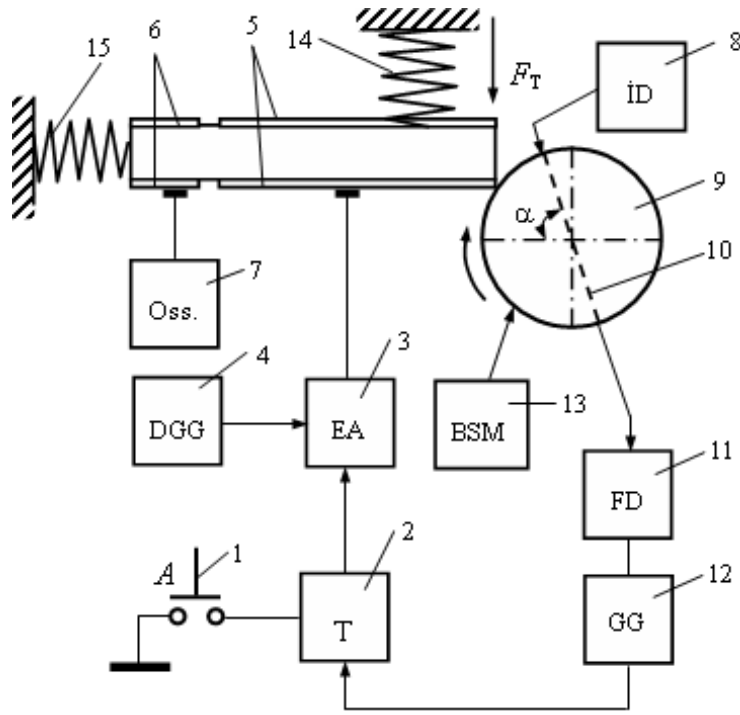
Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu optik telekommunikasiya sistemlərində optik şüanın optik lifə daxil edildiyi zaman optik şüa mənbəyinin çıxışının optik lifli rabitə xəttinin girişi ilə dəqiq mövqeləşdirici qurğularının işlənilib hazırlanması zamanı istifadə edilə bilər.

4.4. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqi

İşlənmiş riyazi modellər əsasında optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun parametrlərinin və xarakteristikalarının hesabat nəticəsində alınmış qiymətlərinin eksperimental qiymətlərlə müqayisəsini aparmaq və nəzəri və eksperimental nəticələrin fərqlənmə dərəcəsini qiymətləndirmək üçün eksperimental tədqiqat qurğusunun struktur sxemi işlənmişdir ki, bu da şəkil 4.4.1-də verilmişdir [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.] .

Pyezoelektrik mühərrik “İşəsalma” (A) - 1 düyməsi vasitəsi ilə işə salınır ki,

bunun da nəticəsində trigger (T) -2 digər dayanıqlı vəziyyətə keçir və elektron açarı (EA) -3 açılır. Bu halda dəyişən gərginlik generatorunun (DGG) -4 çıxışından f_r rezonans tezlikli dəyişən gərginlik həyəcanlandırma elektrodlarının birinci seksiyasına -5 verilir. Pyzeoelektrik mühərrik $t_{is_i}, i = \overline{1,5}$ müddətinə işə salındıqdan sonra birinci seksiyanın -5 mexaniki rəqsləri elektrodların ikinci seksiyasına -6 ötürülür. Həmin mexaniki rəqslərin təsiri nəticəsində elektrodların ikinci seksiyası -6 verici mənbə rejiminə keçir və siqnallar formalaşdırır ki, bunlar da ossilloqrafın (Oss) -7 girişinə ötürülür və qeyd olunur [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.; 36, s.78-83; 69, p.226-233; 70, p.20-25].



Şəkil 4.4.1. Optik şüanın prezison mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqat sxemi

İşıq diodunun (İD) -8 çıxışından optik şüa val - 9 üzərindəki radial deşiklər -10 vasitəsi ilə fotodioda (FD) -11 düşənə qədər pyzeoelektrik mühərrikin valı -9 fırlanır. Bu vəziyyət alınan kimi fotodiodun (FD) -11 çıxışından elektrik siqnalı gərginlik gücləndiricisi (GG) -12 vasitəsi ilə triggerin -2 idarəedici girişinə daxil olur və onu

başlanğıc vəziyyətə qaytarır və elektron açar -3 açılaraq dəyişən gərginlik generatorunun (DGG) -4 çıxışından qida gərginliyinin verilməsini dayandırır və həyəcanlandırma elektrodlarının birinci seksiyası -5 cərəyansızlaşdırılır. Bu halda valın dəqiq dayandırılması binokulyar stereoskopik mikroskop -13 (BSM-2) vasitəsi ilə qeyd olunur [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.; 36, s.78-83; 69, p.226-233; 70, p.20-25].

4.5. Eksperimental tədqiqatın nəticələri

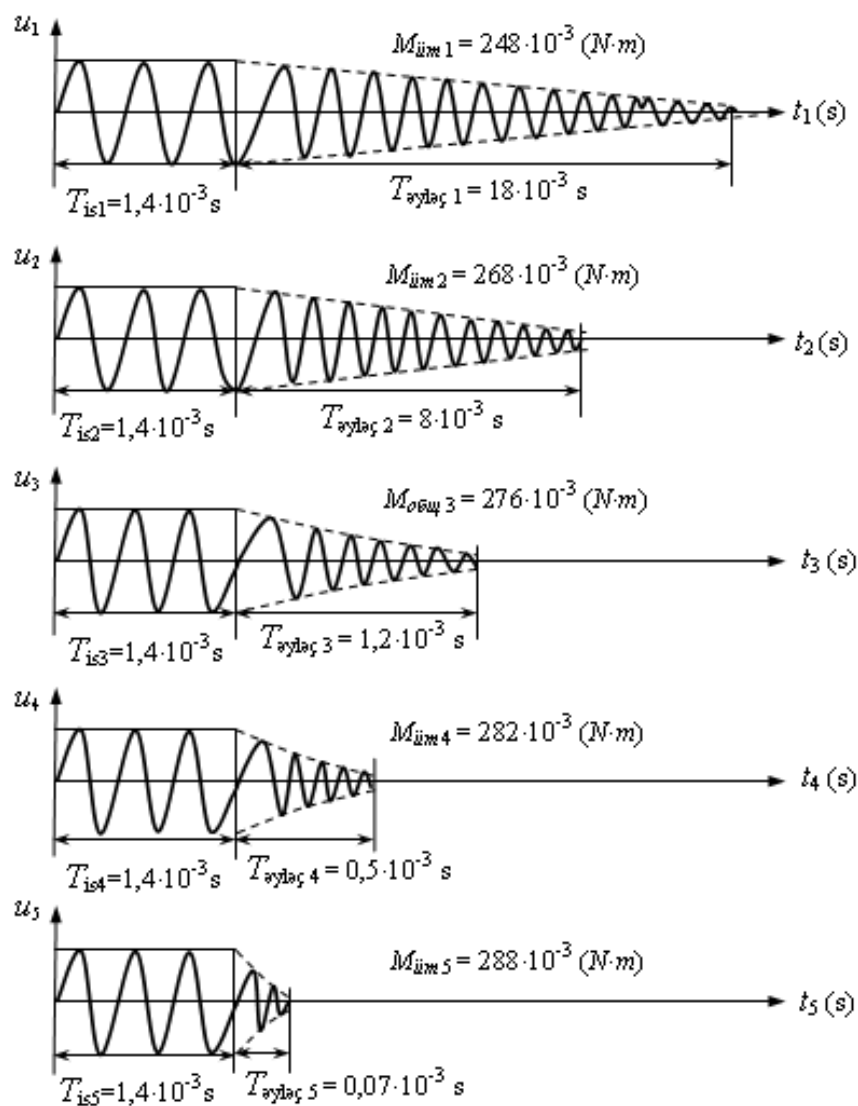
Pyezoelektrik addım mühərrikinin valının qida gərginliyinin işəsalma və əyləcləmə müddətindən asılılığının qurulması üçün valın fırlanma sürətinin $5 \cdot 10^{-3} \dots 88 \cdot 10^{-3} m/s$ diapazonunda və işçi orqana sıxma qüvvəsinin 1,3...4,1N həddində (uyğun olaraq sıxma momentinin 0,248...0,288N/m həddində) dəyişməsindən istifadə olunmuşdur. Bu halda valın dəqiq dayandırılması binokulyar stereoskopik mikroskop (MBS-2) vasitəsi ilə qeyd olunmuşdur. Aparılmış eksperimentin nəticələrinə görə pyezoelektrik addım mühərrikinin dayandırılmasından sonra dəyişmə 1...3mkm, yaranan xəta isə 0,13...0,71% təşkil etmişdir. Birmodlu optik lifin diametri 8...10 mkm təşkil etdiyi üçün güzgüdən əks olunaraq skan olunan signalın 70...80%-ni əhatə edir ki, bu da pyezoelektrik addım mühərrikinin valının lazımi dayandırılma dəqiqliyini təmin edir və bu aralığın olmaması, eləcə də yayın sıxma qüvvəsinin və pyezoelektrik elementinin gərginliyinin tənzimlənməsi ilə əldə olunur [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.; 36, s.78-83; 69, p.226-233; 70, p.20-25].

Pyezoelementin histerezisi ilə bağlı itkilər hiss olunmayacaq dərəcədə kiçikdir və pyezoelektrik addım mühərrikinin işi minimal yerdəyişmə sürətində dayandırılmaqla addım rejimində həyata keçirilir. Aparılmış eksperimentlərin nəticələrinə görə pyezoelektrik addım mühərrikinin tədqiq olunan xarakteristikalarının ədədi qiymətləri alınmış və cədvəl 4.5.1-də verilmişdir.

Cədvəl 4.5.1. Pyezoelektrik addım mühərrikinin xarakteristikalarının ədədi qiymətləri

№	Xarakteristikalar	Ədədi qiymətlər				
1.	Pyezoelementin pyezoelektrik addım mühərrikinin işçi orqanına sıxılma qüvvəsi, $F_{sq} (N)$	1,3	2,7	3,3	3,7	4,1
2.	Tangensial qüvvə vasitəsi ilə yaradılan moment, $M_1 (N \cdot m)$	0,23				
3.	Yayın sıxılma qüvvəsi ilə yaradılan moment, $M_2 (N \cdot m)$	0,018	0,038	0,046	0,052	0,058
4.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin valına təsir edən tangensial qüvvə və yayın sıxılma qüvvəsi ilə yaradılan ümumi moment, $M_{üm} (N \cdot m)$	0,248	0,268	0,276	0,282	0,288
5.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin işəsalınma müddəti, $t_{iş} \cdot 10^{-3} (s)$	1,4				
6.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin əyləcləmə müddəti, $t_{əyləç} \cdot 10^{-3} (s)$	18	8	1,2	0,5	0,07

Aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələrinə görə pyezoelektrik addım mühərrikinin valının vala təsir edən, pyezoelementin işçi orqana sıxılma momentinin müxtəlif qiymətlərində qida gərginliyinin dəyişməsinin valın işəsalma və əyləcləmə müddətindən asılılığı qurulmuş və şəkil 4.5.1-də verilmişdir.

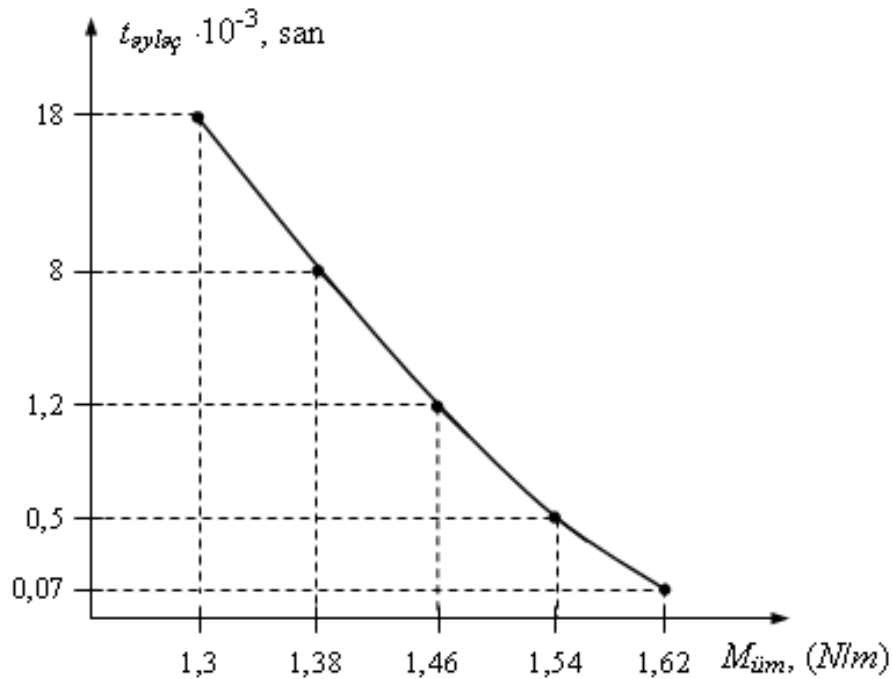


Şəkil 4.5.1. Qida gərginliyinin dəyişməsinin valın işəsalma və əyləcləmə müddətindən asılılığı

Aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələrinə görə kvant selinin istiqamətinin optoelektron aşırıcısının işləmə dəqiqliyini təyin etmək üçün $t_{\text{əyləç}} = f(M_{\text{üm}})$ -pyezoelektrik addım mühərrikinin əyləcləmə müddətinin pyezoelementin işçi orqana ümumi sıxılma momentindən asılılığı qurulmuş və bu asılılıq şəkil 4.5.2-də verilmişdir.

Qurulmuş asılılıqdan görünür ki, pyezoelektrik addım mühərriki işə salındıqdan sonra mühərrikin valının minimal əyləcləmə müddəti $u_5 = f(t_{\text{əyləç}})$ asılılığına uyğun gəlir ki, bu halda da pyezoelementin işçi orqana ümumi sıxılma

momenti $M_{\text{üm}5}=288 \cdot 10^{-3} \text{ (N}\cdot\text{m)}$ qiymətinə uyğun gəlir.



Şəkil 4.5.2. Pyezoelektrik addım mühərrikinin əyləcləmə müddətinin pyezoelementin işçi orqana ümumi sıxılma momentindən asılılığı

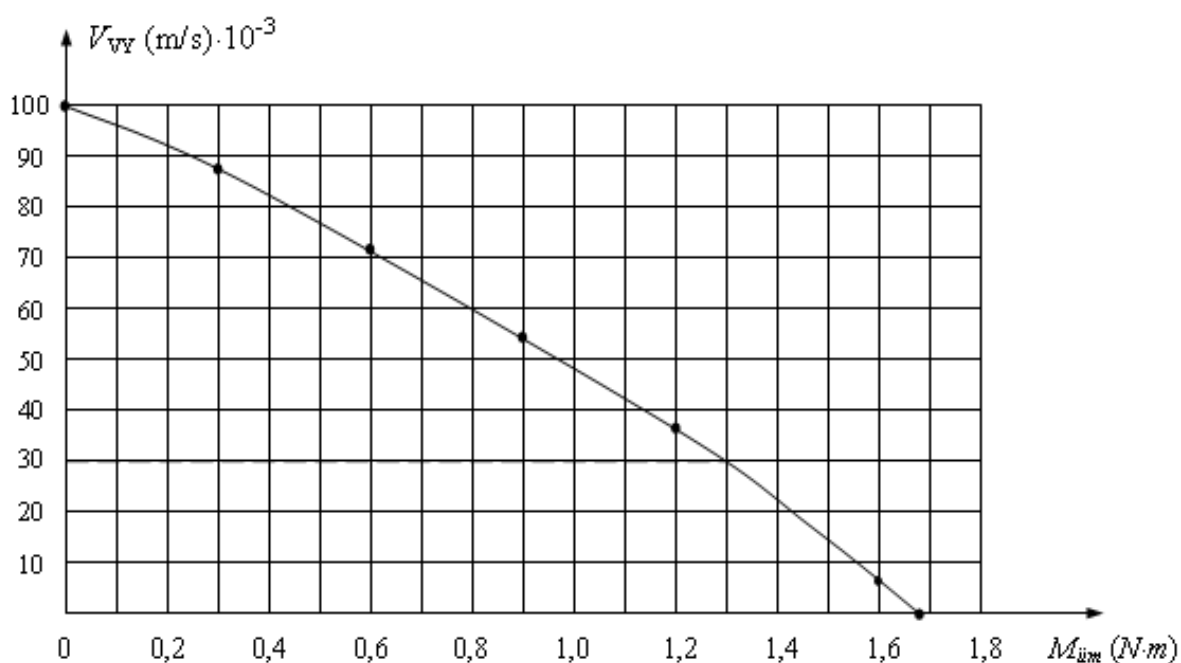
Şəkil 4.5.2-dən görünür ki, pyezoelementi addım mühərrikinin valına sıxma momentinin qiyməti $M_{\text{üm}} = 1,62 \text{ N/m}$ -ə qədər artdıqca mühərrikin valının əyləcləmə müddəti minimal $t_{\text{aylac}} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ qiymətini alır və bundan sonra sıxılma momentinin qiymətinin sonrakı artımı zamanı valın yerdəyişmə sürəti birdən-birə azalır, əyləcləmə müddəti minimal qiymət alır, yəni əyləcləmə və dayandırma rejimində pyezoelement tərəfindən işçi orqana təsir qüvvəsi maksimal qiymət alır.

Təsir edən momentdən asılı olaraq pyezoelektrik mühərrikin valının yerdəyişmə sürətini təyin edərkən pyezoelementin mühərrikin valına ümumi sıxma momentinin qiyməti $0,3 \dots 1,6 \text{ N/m}$ diapazonunda dəyişmişdir. Alınmış eksperimental verilənlər əsasında pyezoelektrik mühərrikin valının yerdəyişmə sürətinin qiymətləri alınmış və cədvəl 4.5.2-də verilmişdir.

Cədvəl 4.5.2. Pyezoelektrik mühərrikinin valının yerdəyişmə sürətinin qiymətləri

No	Xarakteristikaların adları	Alınmış ədədi qiymətlər						
1.	Pyezoelementin addım mühərrikinin işçi orqanına ümumi sıxılma momenti, $M_{\text{üm}} (N \cdot m)$	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,6	1,68
2.	Addım mühərrikinin valının yerdəyişmə sürəti, $V_{\text{vy}} \cdot 10^{-3} (m/s)$	100	88	71	55	37	7	0

Alınmış eksperimental verilənlər əsasında pyezoelektrik mühərrikin valının yerdəyişmə sürətinin vala təsir edən ümumi momentdən asılılığı qurulmuş və şəkil 4.5.3-də verilmişdir.



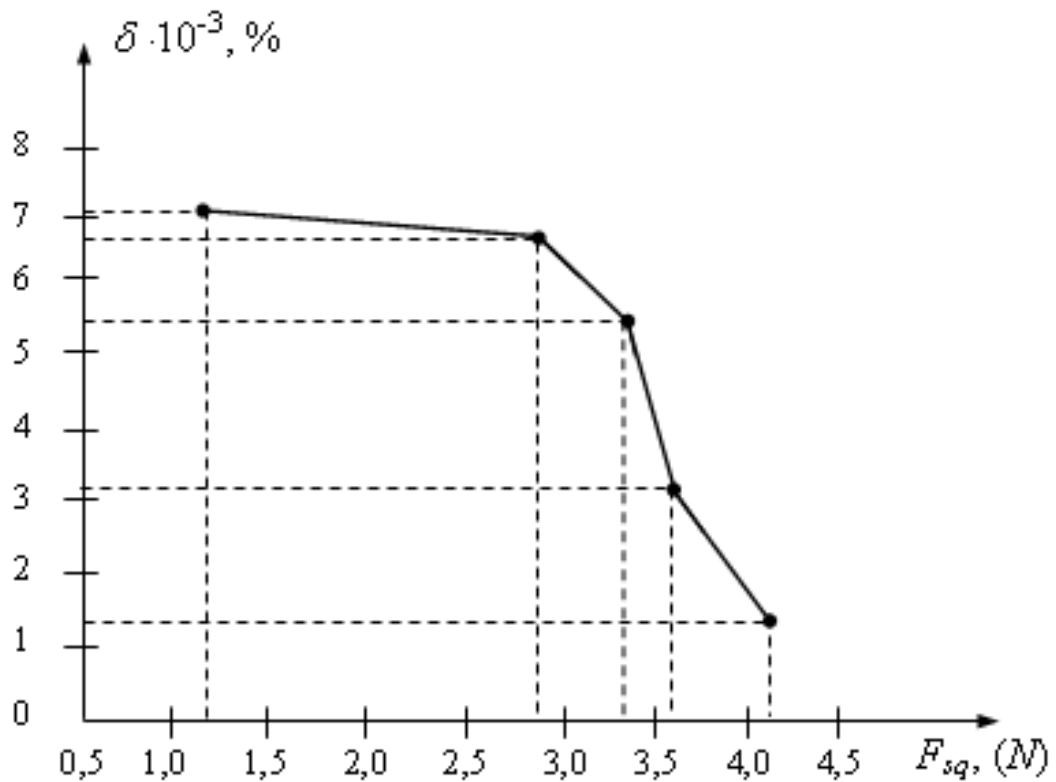
Şəkil 4.5.3. Addım mühərrikinin valının yerdəyişmə sürətinin vala təsir edən ümumi momentdən asılılığı

Aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələri üzrə pyezoelementin addım mühərrikin işçi orqanına sıxılma qüvvəsindən asılı olaraq xətlərin qiymətləri alınmış və nəticələr cədvəl 4.5.3-də verilmişdir.

Cədvəl 4.5.3. Xətaların pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı

№	Xarakteristikaların adları	Alınmış ədədi qiymətlər				
1.	Pyezoelementin pyezoelektrik mühərrikin işçi orqanına sıxılma qüvvəsi, $F_{sq} (N)$	1,3	2,7	3,3	3,7	4,1
2.	Kvant selinin istiqamətinin optoelektron aşırıcısının yaratdığı xətlər, $\delta(\%)$	0,0071	0,0067	0,0054	0,0031	0,0013

Optik şüanın mövqeləşdirmə prosesinin dəqiqliyini qiymətləndirmək üçün aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələri üzrə $\delta = f(F_{sq})$ – nisbi xətlərin pyezoelementin pyezoelektrik mühərrikin işçi orqanına sıxılma qüvvəsindən asılılığı qurulmuş və həmin asılılıq şəkil 4.5.4-də verilmişdir.



Şəkil 4.5.4. Mövqeləşdirmə prosesində yaranan nisbi xətlərin pyezoelementin pyezoelektrik mühərrikin işçi orqanına sıxılma qüvvəsindən asılılığı

Şəkil 4.5.4-dən görünür ki, pyezoelementin pyezoelektrik mühərrikin işçi orqanına sıxılma qüvvəsi $F_{sq} = 4,1N$ -a qədər artan zaman mövqeləşdirmə prosesində yaranan nisbi xəta $\delta = 0,13\%$ – ə bərabər minimal qiymət alır, sıxılma qüvvəsinin qiymətinin sonrakı artımı zamanı valın yerdəyişmə sürəti birdən-birə azalır, aşırma prosesinin dəqiqliyi maksimal qiymət alır, yəni işəsalma və əyləcləmə və dayandırma rejimində pyezoelement tərəfindən işçi orqana təsir qüvvəsi maksimal qiymət alır.

Alınmış nəticələrdən görünür ki, addım mühərrikinin əsas xarakteristikaları, yəni yerdəyişmənin amplitudası, işçi orqanının ucunun yerdəyişmə sürəti, sıxılma qüvvəsi, ümumi sıxma momenti, valın yerdəyişmə sürəti, əyləcləmə və dayandırma müddəti və yaranan xətlər nəzəri nəticələrlə uzlaşır və eksperimentlə fərqlənmə minimal qiymət alır [2, s.9; 3, s.16,17; 4,13s.; 36, s.78-83; 69, p.226-233; 70, p.20-25].

Beləliklə, aparılmış tədqiqatlar nəticəsində optik şüanın prezision

mövqələşdirici qurğusu işlənmişdir ki, bu da pyezoelektrik addım mühərrikinin valına təsiq edən tangensial qüvvə və yayın sıxılma qüvvəsi ilə yaradılan ümumi momentin müxtəlif qiymətlərində mühərrikinin işəsalınma müddətini sabit saxlamaqla mühərrikinin əyləcləmə və dayandırılma müddəti və optik şüanın istiqamətinin optoelektron aşırıcısının yaratdığı xətalara minimallaşdırmağa imkan verir.

Nəticə

Dissertasiya işində aparılmış nəzəri analizlərin, eksperimental tədqiqatların və verilmiş təkliflərin nəticələri real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini, yəni xətti təcil və sürətlərini ölçmək üçün istifadə olunan akselerometrlerin və optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi ilə əlaqədar müstəqil elmi-texniki problemin həllinə həsr olunmuş və özündə aşağıdakıları birləşdirir:

1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini təyin edən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlerin işlənməsi ilə əlaqədar meyarlar seçilmiş və məqsəd funksiyası formalaşdırılmışdır.

2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə sisteminin yeni struktur sxemi işlənmişdir.

3. Akselerometrlerin işçi orqanları kimi pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə olunmasının təklif olunması və akselerometrlərn həssaslıq oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi hesabına akselerometrlerin həssaslığının artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomatik rejimdə xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlər işlənmişdir.

4. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini təyin edən akselerometrlər və onların işçi orqanlarının parametrlərinin analitik hesabat metodları və riyazi modelləri işlənmişdir.

5. Optik şüanın mövqeləşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına imkan verən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu işlənmişdir;

Hərəkətdə olan obyektlərin parametrlərini ölçən akselerometrlerin işçi orqanının eksperimental tədqiqi aparılmış və alınan nəticələrin analizi verilmişdir.

Azərbaycan dilində

1. Mansurov, T.M. Elektrik ölçmələri və vasitələri. Ali məktəblər üçün dərslik / T.M.Mansurov, Ч.П.Алиев, G.İ.Quliyeva. -Bakı, Xəzər Universitetinin nəşriyyatı, 2018. -332s.
2. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu (azərb. dilində) // Azərbaycan Respublikasının Azərbaycan Respublikasının Əqli Mülkiyyət Agentliyinin Rəsmi bülleteni. -Bakı, 2018, №3, 30.03.2018. -s.9.
3. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu (rus dilində) // Azərbaycan Respublikasının Əqli Mülkiyyət Agentliyinin Rəsmi bülleteni. -Bakı, 2018, № 3, 30.03.2018. -s. 16,17.
4. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu // Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. İxtira Patenti № İ 2019 0100. -Bakı, 2019, 29.12.2019. -13s.
5. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akseleometr (azərb. dilində) / Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyinin Rəsmi bülleteni № 8. -Bakı, 2019, 31.10.2019. -s.11.
6. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akseleometr (rus dilində) / Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyinin Rəsmi bülleteni № 8. -Bakı, 2019, 31.10.2019. -s.44,45.
7. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akseleometr // Azərbaycan Respublikasının Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə Dövlət Komitəsi. İxtira Patenti № İ 2020 0027. -Bakı, 2020, 15.07.2020. -13s.
8. Əliyev Ç.P. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrin riyazi modeli // “Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar” mövzusunda Beynəlxalq ETK-ın materialları. -Bakı, AzTU, 2019. -s.163,164.

Rus dilində

9. Алиев Ч.П. Анализ методов управления направлением оптического излучения в многоканальных телекоммуникационных системах // Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” adlı Respublika ETK-nın materialları / Ч.П. Алиев, С.И. Халилов. -Bakı, AzTU, 2016. - s.192-196.

10. Алиев Ч.П. Метод расчета величины механических колебаний пьезоэлемента трехкомпонентного акселерометра // Материалы XXII Международной НТК студентов, магистрантов и аспирантов «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи». -Минск, БГАС, 2022. -с.49,50.

11. Алиев Ч.П. Оценка эффективности функционирования акселерометров измерения динамических параметров движущихся объектов // Материалы 2-ой Международной НПК «Современные информационные, измерительные и управляющие системы: проблемы и перспективы (СИИУС ' 2020)», посвященной 100-летию АГУНП. -Баку, АГУНП, 2020. -с.268-270.

12. Базыкин, С.Н. Информационно-измерительные системы для измерения линейных перемещений / Научный журнал «Современные наукоемкие технологии». - 2016. - № 9 (часть 3). -С. 373-377.

13. Блокин-Мечталин, Ю.К. Информационно-измерительные управляющие системы экспериментальной аэродинамики / Ю.К. Блокин-Мечталин. -М.: Наука, 2015. -261с.

14. Богуш, М.В. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации / Пьезоэлектрическое приборостроение / М.В. Богуш. -Ростов на Дону: Издательство СКНЦВШ, 2006, Т. 3. -346с.

15. Бусурин, В.И. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы / В.И. Бусурин, Б.Г. Горшков, В.В. Коробков. -М.: Изд-во МАИ, 2012. -

167с.

16. Виглеб, Г. Датчики. Устройство и применение / Пер. с нем. Г.Виглеб. -М.: Мир, 1989. -196с.

17. Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Датчики и системы - 2012): Труды Международной НТК с элементами научной школы для молодых ученых (г. Пенза, 22-26 октября 2012 г.) / под ред. Е. А. Ломтева, А. Г. Дмитриенко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. - 330с.

18. Датчики теплофизических и механических параметров: Справочник в трех томах. Т. II / Под общ. ред. Ю.Н. Коптева. -М.: ИПРЖР, 1999. -688с.

19. Ден-Гартог, Дж.П. Механические колебания / Дж.П. Ден-Гартог. -М.: Физматгиз, 1960. - 580 с.

20. Дмитриев А. В., Красивская М. И., Юрин А. И. Исследование волоконно-оптических датчиков с внешней модуляцией / Датчики и системы, 2013. № 5. -с. 34-37.

21. Дмитриев А. В., Юрин А. И., Злодеев Г. Ю., Волоконно-оптический акселерометр / Датчики и системы, 2015, № 3. -с.33-35.

22. Дмитриев А. В., Юрин А. И., Красивская М. И. Волоконно-оптический датчик виброускорений. -М.: Приборы, 2014. № 2. -с.7-9.

23. Зиновьев, В.А. Курс теорий механизмов машин / В.А. Зиновьев. -М.: Наука, 1975. -384с.

24. Информационные системы и технологии / Под ред. Ю.Ф. Тельнова. – М.: Юнити, 2017. -544с.

25. Иориш, Ю.И. Виброметрия. Издание второе, переработанное и дополненное / Ю.И. Иориш. -М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. -771с.

26. Иориш, Ю.И. Виброметрия. Измерение вибрации и ударов. Общая теория, методы и приборы / Ю.И. Иориш. -М.: ГОСНТИМЛ, 1963. -772с.

27. Кирпичев, А.А. Пьезоэлектрический акселерометр. Патент РФ №2400760. -М., 2010 [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

<http://www.findpatent.ru/patent/2400760.html>. © FindPatent.ru - патентный поиск, 2012 - 2015.

28. Клюев, В. В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: справочник в 2 кн. Книга 1 / под ред. В.В. Клюева. -М.: Машиностроение, 1978. -448 с.

29. Коновалов, С.Ф. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Ч. III. Акселерометры, датчики угловой скорости, интегрирующие гироскопы и гироинтеграторы / С.Ф.Коновалов, Е.А.Никитин, Л.М. Селиванова. -М.: Высшая школа, 1980. -128 с.

30. Мансуров Т.М. Акселерометр для измерения параметров движущихся объектов / Научный журнал «Проблемы инфокоммуникаций» Белорусской Государственной Академии Связи / Т.М.Мансуров, Ч.П.Алиев. -Минск, 2017, №2 (6). -с.37-46.

31. Мансуров Т.М. Трехмерный пьезоэлектрический акселерометр измерения динамических параметров движущихся объектов / Научный журнал “Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт” / Т.М.Мансуров, Ч.П.Алиев. -М.: Издательский дом «Медиа Паблишер», 2020, Том 14, №7. -с.29-35.

32. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Акселерометр для измерения ускорения и скорости движущихся объектов в автоматическом режиме // Материалы 1-ой Международной НПК «Современные информационные, измерительные и управляющие системы: проблемы и перспективы (СИИУС'2020)».-Баку, АГУПН, 2020. -с.159.

33. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Трехкоординатный акселерометр для измерения ускорения и скорости объекта измерений в автоматическом режиме // Бюллетень Евразийского Патентного Ведомства Евразийской Патентной Организации. -М, 2018, № 9 от 28.09.2018. -с.125.

34. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Трехкоординатный акселерометр для измерения ускорения и скорости объекта измерений в автоматическом режиме // Евразийское Патентное Ведомство Евразийской Патентной Организации. Евразийский Патент № 036355. -М, 2020 от 29.10.2020. -8с.

35. Мансуров, Т.М. Акселерометр для измерения ускорения и скорости движущихся объектов // Материалы XXI Международной НТК «Современные средства связи» / Т.М. Mansurov, Ч.П. Алиев. - Минск: БГАС, 2016. -с.22-25.

36. Мансуров, Т.М. Акселерометр для измерения ускорений и скоростей движущихся объектов в автоматическом режиме / Научный журнал «Вестник Хмельницкого Национального Университета» / Т.М. Мансуров, Ч.П. Алиев. - Харьков, ХНУ, №5, 2018. -с.78-83.

37. Мансуров, Т.М. Анализ параметров оптоэлектронных переключателей оптических систем телекоммуникации // Материалы XX Международной НТК «Современные средства связи» // Т.М. Мансуров, Б.И. Гусейнов, Ч.П. Алиев. - Минск: БГКС, 2015. -с.28-31.

38. Мансуров, Т.М. Задачи разработки и моделирование оптоэлектронных компонентов оптической связи / Сборник научных трудов Одесской национальной академии связи им. А.С. Попова / Т.М. Мансуров, Ч.П. Алиев, С.А. Джебраилова. -Одесса. 2016, № 2. -с.88-98.

39. Мансуров, Т.М. Задачи разработки и моделирование устройства позиционирования многомодовых оптических волокон кабеля связи // Материалы X Международной отраслевой НТК «Технологии современного общества», посвященная 95-летию Московского технического университета связи и информатики (МЭИС-МТУСИ) / Т.М. Мансуров, Ч.П. Алиев, С.А. Джебраилова. -М., МТУСИ, 2016. -с.45,46.

40. Мансуров, Т.М. Классификация акселерометров для измерения скорости и ускорения движущихся объектов в автоматическом режиме // “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” adlı Beynəlxalq ETK-nın materialları / Т.М. Мансуров, Ч.П. Алиев. - Bakı, AzTU, 2016. -s.38-41.

41. Мансуров, Т.М. Методы и средства управления направлением оптического излучения в оптических системах // Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” adlı Respublika ETK-

inmaterialları / Т.М.Мансуров, Ч.П.Алиев, С.И.Халилов. -Bakı, AzTU, 2017. - s.159-164.

42. Мансуров, Т.М. Пьезоэлектрический вибрационный акселерометр измерения линейных ускорений и скоростей движущихся объектов // Материалы XXII Международной НТК «Современные средства связи» / Т.М.Мансуров, Ч.П.Алиев. -Минск: БГАС, 2017. -с.61-63.

43. Мансуров, Т.М. Устройство прецизионного позиционирования направления оптического излучения // Материалы XXI Международной НТК «Современные средства связи» / Т.М.Mansurov, Ч.П.Алиев, С.А.Джебраилова. - Минск: УО БГАС, 2016. -с.27-30.

44. Мансуров, Т.М. Формализованное описание функционирования интеллектуального центра обслуживания вызовов на базе IP-технологии на сетях нового поколения NGN / AzTU-nun “Elmi Əsərləri” Elmi-texniki jurnalı / Т.М.Mansurov, Ç.P.Əliyev. -Bakı, AzTU, 2016, № 1. s.27-34.

45. Мансуров, Т.М. Фотонный коммутатор передачи информации и оптического шума по квантовому каналу связи / Научный журнал «Вестник Хмельницкого Национального Университета» / Т.М. Мансуров, Ч.П. Алиев. - Харьков, ХНУ, №6, 2018. -с.157-165.

46. Мигаль, Ю.Ф. Об определении рабочего диапазона частот пьезоэлектрического измерительного вибропреобразователя // Пьезоэлектрические материалы и преобразователи / Ю.Ф. Мигаль, В.В. Янчич, В.И. Донсковидр. -Ростов-на-Дону: Ростовскийун-т, 1976.-с.4-9.

47. Новиков, Н.Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем / Н.Ю. Новиков. –М.: Издательство: Физматлит, 2022. - 560с.

48. Панич, А.Е. Пьезоэлектрические материалы и датчики для измерения параметров вибрации // Сборник трудов Международной НПК «Фундаментальные проблемы функционального материаловедения, пьезоэлектрического приборостроения и нанотехнологий» / А.Е.Панич, В.В.Янчич, А.А.Иванов, С.Н.Ковалев, С.А.Синютин. -Ростов-на-Дону: Изд-во

Ростовского государственного педагогического института, 2005.-с.20-26.

49. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. В.В. Ключева. -М.: Машиностроение, 1978.-448 с.

50. Пустовая, О.А., Информационно-измерительные системы и АСУ ТП / О.А. Пустовая, Е.А. Пустовой. -М.: Изд-во Инфра-Инженерия, 2022. -104с.

51. Раннев, Г.Г. Измерительные информационные системы / Г.Г. Раннев. -М.: Издательский центр «Академия», 2010. -336с.

52. Рубичев Н.А. Измерительные информационные системы / Н.А. Рубичев. -М.: Издательство: Дрофа Год: 2010. 334с.

53. Рубичев, Н.А. Измерительные информационные системы / Н.А. Рубичев. -М.: Дрофа, 2010. - 334с.

54. Селиванова, З.М. Информационно-измерительные системы / З. М. Селиванова. -Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. -81 с.

55. Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности / Л.А. Сена. -М.: Высшая школа, 1977. - 288 с.

56. Смагин, А.Г. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы / А.Г. Смагин, М.И. Ярославский. -М.: Энергия, 1970. -488 с.

57. Смажевская, В.Г. Пьезоэлектрическая керамика / В.Г.Смажевская, Н.В. Фельдман. -М.: Сов. радио, 1971. -200 с.

58. Солопченко, Г.Н. Измерительные информационные системы / Г.Н. Солопченко. -Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2014. -199с.

59. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У.Уивер. -М.: Наука, 1985. -472 с.

60. Физическая акустика. Под ред. У. Мэзона. Том 1. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Часть А. / Пер. с англ. под ред. Л.Д. Розенберга. -М.: Мир, 1966. -588с.

61. Фрейдин, Я. Современные датчики. Справочник / Я.Фрейдин. -М.: Техносфера, 2021. -800 с.

62. Чиликин, М.Г. Дискетный электропривод с шаговыми двигателями / М.Г. Чиликин, И.А. Ивоботенко, В.П. Рубцов, Л.А. Садовский, В.К. Цаценкин / Под общей ред. Чиликина М. Г. -М.: Энергия, 1971. -624 с.

63. Шарапов, В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В.Шарапова. -М.: Техносфера, 2006. -632с.

64. Энциклопедиум Датчики: Справочное пособие/ 301-350 “Трехкоординатный пьезоэлектрический акселерометр”. Интернет: http://enc.biblioclub.ru/termin/27030481_310.

65. Янчич, В.В. Преобразователи пьезоэлектрических датчиков механических величин / В.В. Янчич. -Германия: Издатель LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. -144с.

66. Янчич, В.В. Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры) / В.В. Янчич. -Ростов на Дону: Изд. ЮФУ, 2010. -304с.

67. Янчич, В.В. Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи для контрольно-диагностических систем энергетического оборудования // Труды Международной НПК «Фундаментальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения» / В.В. Янчич, В.Н. Кустов. -Ростов-на-Дону, 1999. Т.2. -с.221-226.

68. Янчич, В.В. Пьезоэлектрические датчики вибрационного и ударного ускорения / В.В. Янчич. -Ростов-на-Дону, 2008. -77с.

İngilis dilində

69. Mansurov T.M., Aliev Ch.P., Dzhebrailova S.A. Design and modeling of passive components of linear path of optical communication / Thomson Reuters ENDNOTE. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Vol. 5, Iss. 11, 6th November 2016. ISSN 2277-9655. -pp.226-233.

70. Mansurov T.M., Mamedov I.A., Zenevich A.O., Aliev Ch.P. Mathematic model of direction control system of optical radiation / Thomson Reuters

ENDNOTE. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM), Volume 6, Issue 2, February 2017. -p.20-25.

71. Mansurov T.M., Aliev Ch.P., Mansurov E.T. Criteria for evaluation of characteristics of photon switchboards of optical signals and optical fibers for the quantum systems of transfer of confidential information // IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S & T ' 2018).-Kharkov (Ukraine), 9 - 12 October 2018. -pp.378-392.

72. Mansurov T.M., Aliev Ch.P. Development of an information-measuring system for measuring the dynamic parameters of moving objects // Proceedings of the IEEE 2020 International Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PIC S & T ' 2021). -Kharkov, Ukraine, 2021. -p.23-27.

73. Aliev Ch.P. Method for determining the magnitude of mechanical oscillations of piezoelectric bimorph elements of a three-dimensional piezoelectric accelerometer // Proceedings of the IEEE 2020 International Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PIC S&T ' 2022). -Kharkov, Ukraine, 2022. -p.117-122.

74. Allen, FR; Ambikairajah, E; Lovell, NH; Celler, BG. Classification of a known sequence of motions and postures from accelerometry data using adapted Gaussian mixture models. *Physiol. Meas* 2006, 27, 935-951.

75. Chen, KY, Bassett, DR, Jr. The technology of accelerometry - based activity monitors: Current and future. *Med. Sci. Sports. Exerc* 2005, 37, 490-500.

76. Crouter, SE; Churilla, JR; Bassett, DR. Estimating energy expenditure using accelerometers. *Eur. J. Appl. Physiol* 2006, 98, 601-612.

77. Foster, RC; Lanningham-Foster, LM; Manohar, C; Mc Crady, SK; Nysse, L; Kaufman, KR; Padgett, DJ; Levine, JA. Precision and accuracy of an ankle-worn accelerometer-based pedometer in step counting and energy expenditure. *Prev. Med* 2005, 41, 778-783.

78. Godfrey, A; Conway, R; Meagher, D; O. Laighin, G. Direct measurement of human movement by accelerometry. *Med. Eng. Phys* 2008, 30, 1364-1386.

79. Godfrey, A; Culhane, KM; Lyons, GM. Comparison of the performance of the active PAL Professional physical activity logger to a discrete accelerometer-based activity monitor. *Med. Eng. Phys.* 2007, 29, 930-934.
80. Huynh, T; Schiele, B. Towards less supervision in activity recognition from wearable sensors. *Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, Montreux, Switzerland, 11-14 October 2006; pp. 3-10.
81. Jin, GH; Lee, SB; Lee, TS. Context awareness of human motion states using accelerometer. *J. Med. Syst* 2008, 32, 93-100.
82. Karantonis, DM; Narayanan, MR; Mathie, M; Lovell, NH; Celler, BG. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. *IEEE. Trans. Inf. Technol. Biomed* 2006, 10, 156-167.
83. Kawada, T; Shimizu, T; Fujii, A; Kuratomi, Y; Suto, S; Kanai, T; Nishime, A; Sato, K; Otsuka, Y. Activity and sleeping time monitored by an accelerometer in rotating shift workers. *Work* 2008, 30, 157-160.
84. Lau, HY; Tong, KY; Zhu, H. Support vector machine for classification of walking conditions of persons after stroke with dropped foot. *Hum. Mov. Sci* 2009, 28, 504-514.
85. Lindemann, U; Hock, A; Stuber, M; Keck, W; Becker, C. Evaluation of a fall detector based on accelerometers: A pilot study. *Med. Biol. Eng. Comput* 2005, 43, 548-551.
86. Liszka-Hackzell, JJ; Martin, DP. Analysis of nighttime activity and daytime pain in patients with chronic back pain using a self-organizing map neural network. *J. Clin. Monit. Comput* 2005, 19, 411-414.
87. Long, X; Yin, B; Aarts, RM. Single-accelerometer-based daily physical activity classification. *Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Minneapolis, MN, USA, 2-6 September 2009; pp. 6107-6110.
88. Lord, SR; Menz, HB; Tiedemann, A. A physiological profile approach to fall risk assessment and prevention. *Phys. Ther* 2003, 83, 237-252.
89. Lyons, GM; Culhane, KM; Hilton, D; Grace, PA; Lyons, D. A description

of an accelerometer-based mobility monitoring technique. *Med. Eng. Phys* 2005, 27, 497-504.

90. Mannini, A; Sabatini, AM. Machine learning methods for classifying human physical activity from On-Body Accelerometers. *Sensors* 2010, 10, 1154-1175.

91. Mathie, M.J; Celler, B.G; Lovell, N.H; Coster, ACF. Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer. *Med. Biol. Eng. Comput* 2004, 42, 679-687.

92. Mathie, MJ; Coster, ACF; Lovell, NH; Celler, BG. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiol. Meas* 2004, 25, 1-20.

93. Mayagoitia, RE; Lötters, JC; Veltink, PH; Hermens, H. Standing balance evaluation using a triaxial accelerometer. *Gait Posture* 2002, 16, 55-59.

94. Moe-Nilssen, R; Helbostad, JL. Estimation of gait cycle characteristics by trunk accelerometry. *J. Biomech* 2004, 37, 121-126.

95. Morillo, DS; Ojeda, JLR; Foix, LFC; Jiménez, AL. An Accelerometer-based device for sleep apnea screening. *IEEE. Trans. Inf. Technol. Biomed* 2010, 14, 491-499.

96. Najafi, B; Aminian, K; Loew, F; Blanc, Y; Robert, PA. Measurement of stand-sit and sit-stand transitions using a miniature gyroscope and its application in fall risk evaluation in the elderly. *IEEE. Trans. Biomed. Eng* 2002, 49, 843-851.

97. Najafi, B; Aminian, K; Paraschiv-Ionescu, A; Loew, F; Büla, CJ; Robert, P. Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: Monitoring of daily physical activity in the elderly. *IEEE. Trans. Biomed. Eng* 2003, 50, 711-723.

98. Oberg, PA; Togawa, T; Spelman, FA. *Sensors in Medicine and Health Care*; Wiley-VCH. Weinheim: Berlin, Germany, 2004; Volume 1, pp. 245-252.

99. Ohtaki, Y; Susumago, M; Suzuki, A; Sagawa, K; Nagatomi, R; Inooka, H. Automatic classification of ambulatory movements and evaluation of energy consumptions utilizing accelerometers and a barometer. *Microsyst. Technol* 2005, 11,

1034-1040.

100. Plasqui, G; Westerterp, KR. Physical activity assessment with accelerometers: An evaluation against doubly labeled water. *Obesity* 2007, 15, 2371-2379.

101. Pober, DM; Staudenmayer, J; Raphael, C; Freedson, PS. Development of novel techniques to classify physical activity mode using accelerometers. *Med. Sci. Sports Exerc* 2006, 38, 1626-1634.

102. Rowlands, AV; Thomas, PW; Eston, RG; Topping, R. Validation of the RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Med. Sci. Sports. Exerc* 2004, 36, 518-524.

103. Sekine, M; Tamura, T; Togawa, T; Fukui, Y. Classification of waist-acceleration signals in a continuous walking record. *Med. Eng. Phys* 2000, 22, 285-291.

104. Steele, BG; Holt, RNL; Belza, B; Ferris, S; Lakshminaryan, S; Buchner, DM. Quantitating physical activity in COPD using a triaxial accelerometer. *Chest* 2000, 117, 1359-1367.

105. Vanhees, L; Lefevre, J; Philippaerts, R; Martens, M; Huygens, W; Troosters, T; Beunen, G. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil* 2005, 12, 102-114.

106. Yang, CC; Hsu, YL. Development of a wearable motion detector for telemonitoring and real-time identification of physical activity. *Telemed. J. E. Health* 2009, 15, 62-72.

107. Zhang, T; Wang, J; Xu, L; Liu, P. Fall detection by wearable sensor and one-class SVM algorithm. *Intel. Comput. Signal Process. Pattern Recognit* 2006, 345, 858-863.

İxtisarlara və şərti işarələrin siyahısı

ATX -	amplitud-tezlik xarakteristikası
AX -	amplitud xarakteristikası
ANS -	avtomatik nəzarət sistemləri
BÖS -	bilavasitə ölçmə sistemləri
ÇOK -	ikikoordinatlı çoxkanallı kommutator
İÖS -	informasiya-ölçmə sistemi
İOK -	informasiya-ölçmə kompleksi
MEMS -	mikro elektromexaniki sistemlər
OTS -	optik telekommunikasiya sistemi
OTŞ -	optik telekommunikasiya şəbəkəsi
OLRX -	optik-lifli rabitə xətti
OPMQ -	optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu
OK -	optik kommutator
ORK -	optik rabitə kanalı
PE -	pyezoelement
TDS -	texniki diaqnostika sistemləri
TÖS	teleölçmə sistemi
TTS -	təsvirləri tanıma sistemləri
STBQ-3 -	sirkonat-titanat barium qurğuşundan ibarət pyezosaxsı
ÜPA -	üçkoordinatlı piezoelektrik akselerometr