

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI
SUMQAYIT DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

BÖYÜK YERDƏYİŞMƏLİ TUTUM VERİCİSİNİN ÖLÇMƏ DƏQİQLİYİNƏ
TƏSİR GÖSTƏRƏN FAKTORLARIN TƏDQIQI VƏ İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3337. 01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri
Elm sahəsi: Texnika elmləri

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilən

DİSSERTASIYA

İddiaçı: _____ Fəridə Şahbaz qızı Ağayeva
Elmi rəhbər: _____ t.e.d., dos. Məzahir Məhəmməd oğlu İsayev

Sumqayıt –2024

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	4
I FƏSİL.TUTUM VERİCİLƏRİNİN ANALİZİ VƏ ONLARA QOYULAN	
TƏLƏBATLAR.....	10
1.1. Tutum vericiləri və onların qurulma prinsipinin analizi.....	10
1.2. Tutum vericilərinin parametrlərinin analizi.....	22
1.3. Diferensial ölçmə prinsipli tutum vericiləri.....	28
1.4. Yaxınlaşmanı ölçən tutum vericisinin analizi.....	31
II FƏSİL.XƏTTİ YERDƏYİŞMƏLİ TUTUM VERİCİLƏRİNİN TƏDQIQI.....	34
2.1. Dəyişən elektrik tutumlu çeviricilərin tədqiqi.....	34
2.2. Xətti yerdəyişməli dəyişən tutum çeviricilərinin tədqiqi.....	38
2.3. Səviyyə və rütubət tutum vericilərinin tədqiqi.....	47
2.4. Tutum vericisinin funksional sxeminin qurulma prinsipi.....	54
2.5. Tutum vericilərinin çevirmə sxemlərinin qurulma prinsipi.....	57
2.6. Tutum çeviricilərinin statik xarakteristikalarının analizi.....	63
III FƏSİL.BÖYÜK YERDƏYİŞMƏLİ TUTUM VERİCİLƏRİNİN NƏZƏRİ	
TƏDQIQI.....	67
3.1. Tutum vericilərinin parametrlərinə təsir göstərən faktorların tədqiqi.....	67
3.2. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin Qraf üsulu ilə tədqiqi.....	72
3.3. Mikroprosessorlu böyük yerdəyişməli tutum vericisinin tədqiqi.....	79
3.4. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin xətasının təyini.....	83
3.5. Böyük yerdəyişmələrin yüksək dəqiqliklə ölçülməsi üçün qurğu.....	95
3.6. Obyektin varlığını təyin edən tutum vericisinin tədqiqi.....	99
IV FƏSİL.VERİCİLƏRİN ÖLÇMƏ DƏQİQLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİNİN	
TEST ÜSULU.....	105
4.1. Ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsinin alqoritmik-test üsulu.....	105
4.2. Tutum vericilərinin ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsinin test üsulu.....	112
4.3. Testləşdirilmiş tutum vericilərinin korrelyasiyasız statik xətasının tədqiqi....	118
4.4. Testləşdirilmiş tutum vericilərinin qeyri-adekvatlıq xətasının tədqiqi.....	122

4.5. Testləşdirilmiş ölçmə sisteminin yekun xətasının tədqiqi.....	126
İŞİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ.....	131
İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI.....	132
ƏLAVƏLƏR.....	144
İXTİSARLARIN SİYAHISI.....	160

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. İnformasiya texnologiyalarının (İT) və elektron qurğuların (EQ) müasir inkişaf səviyyəsi informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemlərinin (İÖ İS) yeni strukturda layihələndirilməsi zərurətini gündəmə gətirmişdir. Əsas hədəf kimi intellektual informasiya-ölçmə sistemlərinin yaradılması, onların funksional modullarının smart texnologiyalarla integrasiyası, bütün qurğu və avadanlıqlarının bir-biri ilə uyğunlaşması və s. amillər qəbul edilir. Məhz bu cür yanaşma, son nəticədə yüksək metroloji xarakteristikaya malik İÖ İS-in yaradılmasına gətirib çıxarır.

SMART texnologiya – yığcam və aydın, ölçülə bilən, kəmiyyət baxımından qiymətləndirilən, mövcud resurslarla əldə edilə bilən, əhəmiyyətli və zamana bağlılıq anlayışlarını özündə integrasiya edir. Göründüyü kimi bu tələblərin ödənilməsi üçün ilkin ölçmə vasitələri üzərinə çox ciddi tələblər qoyulur. Bütün bu səbəblərdən vericilərin (sensorların) yaradılması texnologiyası ölçmə texnikasında müstəsna əhəmiyyət daşıyır və bu sahə yeni istiqamət kimi təşəkkül tapmışdır.

Smart vericilərin layihələndirilməsi və istehsalı zamanı onların metroloji təminatına zəmanət yaradan həssas elementi (sensor) əsas etalon element kimi götürülür, onların miniatürlüyü, qiymətinin aşağı olması, mexaniki təsirlərə davamlılığı, etibarlılığı və s. nəzərə alınır.

Mövcud vericilər layihələndirilərkən smart texnologiyalardan kifayət qədər istifadə olunmadığı üçün metroloji göstəriciləri xeyli aşağı olur və onların əsasında qurulan informasiya-ölçmə sistemləri intellektuallıqdan uzaq olurlar.

Yuxarıda qeyd olunan xüsusiyyətlər tutum vericiləri (TV) üçün də keçərlidir. Qeyd edilən səbəblərlə yanaşı bu növ vericilərdə digər problem - onların çıxışlarında sabit siqnal almaq üçün yüzlərlə kilohers və bəzən də onlarla MHz-ə qədər yüksək tezlikli gərginliklə qidalandırılması tələb olunur. Bu zaman parazit tutumlar, birləşdirici naqillərdə və digər elementlərdə kifayət qədər itgilər yaranır.

TV-nin ölçmə dəqiqliyinin, sabilliyinin, çıxış siqnalının gücünün artırılması və digər göstəricilərinin təmin olunması üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilir. Bu

məqsədlə vericinin ilkin gücləndiricisinin idarəedici dövrəsinə daha böyük yük qoşmaq tətbiq edilirdi. Lakin bu və ya digər vasitələr TV-nin sabitliyinin sxematik yaxşılaşdırılmasına az təsir edir və cihazın konstruksiyasını xeyli mürəkkəbləşdirir.

Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, TV bazasında ölçmə sisteminin işlənməsi zamanı qeyri-sabitliyin yaranmasına səbəb bu vericilərin konstruksiyalarının mükəmməl olmaması, xüsusilə də izolyasiya vasitələrinin yanlış yerləşdirilməsindən irəli gəlir. Eyni zamanda həmin vasitələrin xüsusiyyətlərinin qeyri-sabitliyi elektron qurğuların layihələndirilməsində kifayət qədər böyük qiymətli ölçmə xətlərinə gətirib çıxarır. Bu növ xətləri aradan qaldırılmaq üçün yüksək dəqiqliyi və sabitliyi təmin edən, ağır istismar şəraitinə davamlı, sadə konstruksiyaya və elektron sxemlərə malik olan TV-lərin və onların əsasında ölçmə sistemlərinin yaradılmasını tələb edir.

TV-lərin tədqiqi və digər vericilərlə müqayisəsi zamanı onların istehsalının sadəliyi, ucuz materiallardan istifadə, kiçik ölçü, az çəki, aşağı enerji istehlakı, yüksək həssaslıq, mexaniki kontaktların olmaması, uzun müddətli istismar, hərəkətli hissənin yerdəyişməsi üçün olduqca az güc sərfi, formasının və konstruksiyasının müxtəlif qurğularla asanlıqla uyğunlaşması və s. üstünlükləri aşkar görünür.

TV-nin həssas elementi kimi kondensatorun parametrləri yalnız onun həndəsi göstəricilərindən asılıdır və bu materiallar düzgün seçildiyi təqdirdə istifadə olunan materialların xüsusiyyətlərindən asılı olmur. Buna görə də kondensatorun lövhələri üçün metal növünün və onların bərkidilməsində izolyasiyanın düzgün seçimində səthin sahəsinin və lövhələr arasındakı məsafənin dəyişilməsinə temperaturun təsiri minimum olur.

Eyni zamanda, TV-ni ətraf mühitin tozundan, korroziya, rütubət, ionlaşdırıcı radiasiya və digər əngəllərin təsirindən qorumaq mütləqdir. Əks təqdirdə bu təsirlər kondensatorun köynəkləri arasındakı izolyasiyanı korlayırlar.

TV-nin hərəkət edən lövhəsinin yerdəyişməsi üçün çox kiçik qüvvə tələb olunur, çıxış kəmiyyətinin və iş fəaliyyətinin yüksək dəqiqlikli tənzimlənmə imkanı TV-nin ölçmə xətləsinin faizin yüz və hətta mində bir hissəsi qədər azaldılması ilə nəticələnir.

TV-nin əsas çatışmayan cəhətləri onların kiçik ötürmə və ya çevrilmə əmsalı, detalların ekranlanmasına yüksək tələblər və yüksək tezlikdə işləmə zərurətidir. Əksər hallarda vericinin optimal konstruksiyası hesabına kifayət qədər ekranlaşdırmaya nail olmaq olur və 400 Hs tezliyində yaxşı nəticələr alınır.

TV-nin istismarı zamanı atmosfer yağıntıları, texnoloji mayelər və digər səbəblərdən irəli gələn yanlış işə düşmələrdən - qoşulmalardan qorunmaq vacibdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı – böyük yerdəyişməli tutum vericisi, onların elementləri, strukturu, parametrləri, metroloji xarakteristikası (MX), ölçmə xətalrı, onların təshihedici alqoritmləri və s-dir. Tədqiqatın predmeti – böyük yerdəyişməli TV-nin çevirmə xarakteristikalarının nəzəri tədqiqi, identifikasiya üsulları, ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi metodu, ölçmə nəticələrinin riyazi-statistik qiymətləndirilməsi, təsiredici faktorların avtokompensasiyası və digər məsələlərin səmərəli həlli üçün üsul və vasitələrin işlənməsidir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işində əsas məqsəd böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin işlənməsi, onların ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorların tədqiqi, ölçmə xətalrının qiymətləndirilməsi, avtokompensasiyası üçün səmərəli sxem və alqoritmlərin işlənməsindən ibarətdir.

Dissertasiya işində aşağıdakı vəzifələr qarşıya qoyulur:

1. Elektrik tutum vericilərinin tədqiqi, onların ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorların analizi.
2. Hərəkət edən nüvəli - böyük yerdəyişməli (BY) tutum vericisinin işlənməsi və onun informativ parametrlərinə təsir göstərən faktorların tədqiqi.
3. BY TV-nin informativ parametrləri arasındakı korelyasiya əlaqəsinin təyini və onların qiymətləndirilməsi metodikasının işlənməsi.
4. Hərəkət edən nüvəli BY TV-nin parametrlərinə təsir göstərən kənar təsirlərin avtokompensasiyası üçün üsul və vasitələrin işlənməsi.
5. BY TV-nin ölçmə diapazonunun genişləndirilməsi və dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün üsul və vasitələrin işlənməsi.
6. BY TV-nin ölçmə xətalrının tədqiqi, xəta təşkilediciləri üçün təshihedici alqoritmlərin işlənməsi.

Tədqiqat üsulları. Dissertasiya işində fundamental və ənənəvi eksperimental yanaşmalar fonunda nəzəri tədqiqat üsullarından, laboratoriya təcrübələri və real sınaqlara əsaslanan ölçmə və idarəetmə nəzəriyyəsindən, modelləşdirmə, eksperimentlərin planlaşdırılması, ölçmə nəticələrinin qiymətləndirilməsi üsulları, ehtimal nəzəriyyəsi, riyazi-statistika, informasiya texnologiyaları və digər fundamental nəzəri-təcrübi biliklərdən istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

1. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin struktur modelinin və çevirmə xarakteristikasının (çevirmə funksiyasının) identifikasiyası.
2. Tutum vericisinin ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorlar və onların qiymətləndirilməsi.
3. Hərəkət edən nüvəli TV-nin parametrlərinə təsir göstərən kənar təsirlər və onların avtokompensasiyası.
4. BY TV-nin metroloji xarakteristikası, ölçmə dəqiqliyi, hibrid test ölçmə üsulu və alqorimin sintezi.
5. Tutum vericisinin ölçmə diapazonunun genişləndirilməsi üsulu və alqoritm.
6. Böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin test ölçmə dəqiqliyi, xəta təşkilediciləri, təshihedici alqoritmlər və onların sintezi.

Elmi yeniliklər. İşin əsas elmi yenilikləri aşağıdakılardır:

1. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin struktur və alqoritmik modelləri işlənmişdir [1-4].
2. Tutum vericisinin çevirmə funksiyasının identifikasiyası üçün qeyri-xətti aproksimasiya üsulu təklif olunmuşdur [8].
3. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün hibrid test ölçmə üsulu və alqoritm işlənmişdir [8].
4. Testləşdirilmiş tutum vericilərinin korrelyasiyasız statik xətalrı, qeyri-adekvatlıq və yekun xətalrı üçün təshihedici alqoritmlər işlənmişdir.
5. Yekun xətanın paylanma qanunu və yerləşdiyi zonalar təyin edilmiş, ölçmə nəticəsinə təsir göstərən amillər qiymətləndirilmişdir.

İşin nəzəri və praktiki dəyəri. İşdə alınmış nəticələr həm nəzəri, həm də tətbiqi əhəmiyyətə malikdir. Nəzəri əhəmiyyəti – tutum vericilərinin nəzəri tədqiqi, onların çevirmə funksiyalarının hissə-hissə qeyri-xətti aproksimasiyası, ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsinin hibrid test üsulu və xəta təşkilediciləri üçün təshihedici alqoritmlərinin işlənməsindən ibarətdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti – alınmış nəticələr, işlənmiş ölçmə üsulu və vasitələr müvafiq texnoloji proseslərdə yüksək dəqiqliklə ölçmədə, avtomatlaşdırılmış nəzarət və idarəetmə, müxtəlif təyinatlı ölçü cihazlarında, vericilərdə, ölçmə xətlərinin avtokalibrovkasında və digər sahələrdə tətbiqi - praktiki dəyərə malikdir.

İşlənmiş üsullar, alqoritmlər və sxemlər ölçmə texnikasında və cihazqayırmada yüksək səmərəliliyi təmin edə bilər.

Tədqiqatın nəticələrinin realizasiyası.

- Dissertasiya işinin mövzusu üzrə alınmış nəticələr Sumqayıt Dövlət Universitetinin “İnformasiya və kompüter texnikası” kafedrasının 2006-2021-ci illəri əhatə edən Elmi-tədqiqat işlərinin və İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun “İntellektual informasiya-ölçmə sistemləri” laboratoriyasının müvafiq Elmi-tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsi zamanı alınmışdır.

- Tədqiqat işinin nəticələri AMEA “Kibernetika” Xüsusi Konstruktor Bürosunda və “Neftqazavtomat” Elmi İstehsal Müəssisəsində sınaqlardan keçirilmiş və nəticələrin adekvatlığı uyğun aktlarla təsdiqlənmişdir.

İşin aprobasiyası. Tədqiqat işinin əsas nəticələri aşağıdakı konfranslarda müzakirə edilmişdir:

⁴ая Международная научно техническая конференция МЭПП (Баку-Сумгаит, 2003); Azərbaycanca televiziyanın 50, radionun 80 illiyinə həsr edilmiş Beynəlxalq elmi texniki konfrans (Bakı, 2007); Ümummilli lider Heydər Əliyevin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş aspirantların və gənc tədqiqatçıların Respublika elmi konfransı (Bakı, 2008); Международная конференция «Научно-технический прогресс и современная авиация» посвященная 75-летию академика А.М. Пашаева (Баку, 2009); “Energetikanın müasir Elmi-Texniki və Tətbiqi Problemləri” Beynəlxalq elmi konfrans (Sumqayıt, 2015); Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX Respublika Elmi konfransı (Bakı, 2016); Международная конференция «Информационные технологии и математическое моделирование» (Казань, 2017); Докторантов и молодых ученых XXI Respublika elmi konfransı (Bakı,

2017); Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin yaranmasının 100 illiyinə həsr olunmuş professor–müəllim heyətinin, doktorantların və gənc tədqiqatçıların Beynəlxalq Elmi konfransı (Bakı, 2018); “Tətbiqi fizika və energetikanın müasir problemləri” Beynəlxalq elmi konfrans (Sumqayıt, 2018); Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunur. “İnformasiya sistemləri və texnologiyalar, nailiyyətlər və perspektivlər” Beynəlxalq elmi konfrans (Sumqayıt, 2018); “Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri” Respublika elmi konfransı (Sumqayıt, 2019); “Müasir informasiya ölçmə və idarəetmə sistemləri: problem və perspektivlər” 1-ci Beynəlxalq elmi-praktik konfrans (Bakı, 2019); “İnformasiya sistemləri və texnologiyalar: Nailiyyətlər və perspektivlər. II Beynəlxalq elmi konfrans (Sumqayıt, 2020); “Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və yeni informasiya texnologiyaları” IV Respublika elmi konfransı (Sumqayıt, 2021); The International Conference on Energy and Environmental Technologies in Engineering and Architecture (Bakı, 2024); AzMIU-nun 50 illik yubileyinə həsr olunmuş “Metal və ərintilər fizikasının aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi-Praktiki Konfrans, (Bakı, 2025).

Çap olunmuş elmi əsərlər. Dissertasiya işi üzrə 28 elmi iş: onlardan 9 məqalə, o cümlədən 3-ü xarici ölkə jurnallarında (3 məqalə PIIHQ beynəlxalq bazaya daxildir), 19 iş elmi-praktik konfransların materiallarında nəşr olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. İş Sumqayıt Dövlət Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın həcmi və strukturu. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, əsas nəticələrdən, 122 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından, əlavələrdən və ixtisarlardan siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 147 səhifə, əsas həcmi isə 5 cədvəl, 32 şəkil daxil olmaqla 125 (164000 işarə) səhifə təşkil edir. 1-ci fəsil - 42000, 2-ci fəsil - 52000, 3-cü fəsil - 40000, 4-cü fəsil – 30000 işarədən ibarətdir.

I FƏSİL. TUTUM VERİCİLƏRİNİN ANALİZİ VƏ ONLARA QOYULAN TƏLƏBATLAR

1.1. Tutum vericiləri və onların qurulma prinsipinin analizi

Vericilərin yaradılması texnologiyası və tətbiqi üsulları son illər ərzində ölçmə texnikasında müstəqil sahə və ya istiqamət kimi təşəkkül tapmışdır. Sənayedə avtomatlaşdırma inkişaf etdikcə texnoloji proseslərin fiziki parametrlərinin ölçülməsi üçün müxtəlif vericilərə tələb artmışdır. Vericilərin layihələndirilməsi və istehsalı zamanı onların texniki göstəriciləri və təsir prinsipləri əsas kriteri kimi götürülür. Bu zaman sensorun miniatürlüyü (daxili quraşdırma imkanı – mikro-inteqral texnologiya), qiymətinin aşağı olması (seriyalı kütləvi sənaye istehsalı), mexaniki davamlılığı (möhkəmlik), etibarlılığı və digər xüsusiyyətləri nəzərə alınır [37, 60, 68, 105, 108, 110].

Struktur quruluşuna görə avtomatlaşdırılmış qurğular və sistemlər, həmçinin robotlar insanın bioloji orqanlarını xatırladır. Bu sistemlərdə insanın hissiyyat orqanlarının oxşar funksiyalarını icra edən müvafiq vericilər (sensorlar) tətbiq edilir, informativ siqnallar toplanır, ilkin emal və qərarlar qəbul edilir, sonda aktiv orqanların funksiyası icraedici qurğularla yerinə yetirilir. İnformasiya daşıyıcı siqnalların işlənilməsi üçün mərkəzi qurğu qismində mikroprosessor və ya kontrollerlər, kompüterlər və onların yaddaş qurğuları geniş istifadə olunurlar.

Verici anlayışı ümumi halda ucuz, lakin seriya istehsalı üçün yararlı və müəyyən ölçmə dəqiqliyinə malik, ölçülən kəmiyyətin qiymətini özüylə mütənasib olan elektrik çıxış siqnalına çevirən elektron cihazdır (çeviricidir, vericidir). Ümumi şəkildə istifadə edilən terminlər və təriflər müxtəlif vericilər üçün təyinatına uyğun Beynəlxalq mühəndislər (elektiriklər) cəmiyyətinin (VDI/VDE-Richtline 2600) təlimatında dəqiq ifadə edilmişdir [112, 113].

Yaxın vaxtlara qədər mütəxəssislər tutum vericilərinə bir qədər şübhə ilə yanaşaraq düşünürdülər ki, tutum vericiləri elektrik sxemlərində kifayət qədər dəqiq deyillər və bu səbəbdən elektron cihazlarda stabilliyi təmin edə bilməzlər. Tutum

vericinin çıxışında sabit signal əldə etmək üçün onu yüzlərlə kilohers, bəzən isə onlarla meqahersə qədər yüksək tezlikli gərginliklə qidalandırmaq mütləq hesab edilirdi. Belə yüksək tezliklər isə parazit tutumlarda, birləşdirici naqillərdə və s. itkilərə gətirib çıxarırdı. Tutum vericisinin çıxış signalının amplitudasının artırılması və digər göstəricilərinin sabitliyinin təmini üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilirdi. Gücləndiricinin birinci kaskadında idarəedici şəbəkənin dövrəsinə yüzlərlə meqaom yük qoşulmasına imkan verən elektrometrik lampalar tətbiq edilirdi. Lakin bütün bu tədbirlər tutum vericilərinin sabitliyinin sxematik (sistemlə) yaxşılaşdırılmasına az təsir edir və eyni zamanda cihazların konstruksiyasını xeyli mürəkkəbləşdirirdi [21, 35, 54].

Aparılan araşdırmalar göstərdi ki, tutum vericiləri ilə sistemlərin qeyri-sabitliyinin səbəbi vericilərin layihələndirilməsinə konstruktorların yanlış yanaşmalarıdır, xüsusilə, konstruksiyanı izolyasiya edən vasitələrin yanlış yerləşdirilməsindən irəli gəlir ki, bu da həmin vasitələrin xüsusiyyətlərinin qeyri-sabitliyi səbəbindən elektron qurğuların işləməsində xətalara gətirib çıxarır [22, 27, 35, 40, 54, 95, 101, 109].

Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün artıq yüksək dəqiqlik və sabitliyi təmin edən, ağır istismar şəraitinə davam gətirən tutum vericiləri və onların əsasında ölçmə cihazları, vericilər yaradılmışdır. Hazırda müəyyən edilmişdir ki, tutum vericiləri digər vericilərlə müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir: istehsal sadəliyi, istehsal üçün ucuz materiallardan istifadə, kiçik qabaritlər və az çəki, aşağı enerji istehlakı, yüksək həssaslıq, kontaktın olmaması, uzun istismar müddəti, tutum vericisinin hərəkətli hissəsinin yerdəyişməsi üçün olduqca az gücün sərf olunması, vericinin formasının müxtəlif məsələlərə və konstruksiyalara uyğunlaşdırılmasının sadəliyi və s. Eyni zamanda bu vericilər öz sadəliyi, möhkəm və etibarlı konstruksiyalarına görə də digər vericilərdən fərqlənirlər.

Kondensatorun parametrləri onun yalnız həndəsi xüsusiyyətlərindən asılıdır və bu materiallar düzgün seçildiyi təqdirdə istifadə olunan materialların xüsusiyyətlərindən asılı olmur. Buna görə də, elektrodlar üçün metal markasını və onların bərkidilməsi üçün izolyasiyanı düzgün seçərkən, səthin sahəsinin və elektrodlar

arasında məsafənin dəyişilməsinə temperatur təsirini minimal səviyyəyə çatdırmaq olur. Ancaq vericini ətraf mühitin toz, korroziya, rütubət, ionlaşdırıcı radiasiya kimi təsirlərdən qorumaq mütləqdir, çünki bunlar elektrodlar arasındakı izolyasiyanı korlayırlar.

Tutum vericilərinin hərəkətli hissəsinin yerdəyişməsi üçün lazım olan mexaniki qüvvənin kiçik, fəaliyyətdə olan sistemin çıxışının tənzimlənmə imkanı və iş fəaliyyətinin yüksək dəqiqliyi kimi qiymətli keyfiyyətləri tutum vericilərinin xətalarını faizin yüz və hətta mində bir hissəsi qədər azaltmağa imkan verir, bu cihazları əvəzolunmaz edir.

Tutum vericilərinin çatışmayan cəhətləri, onların nisbətən kiçik ötürmə (çevrilmə) əmsalına malik olmaları, detalların ekranlanmasına yüksək tələb, 50 Hz ilə müqayisədə yüksək tezlikdə işləmə zərurətindən ibarətdir [35].

Lakin əksər hallarda vericinin konstruksiyası hesabına kifayət qədər ekranlaşdırmaya nail olmaq mümkündür və təcrübə göstərir ki, tutum vericiləri geniş yayılmış 400 Hz tezliyində yaxşı nəticələr verir. Kondensatorlara xas olan kənar effekt yalnız o zaman əhəmiyyətli olur ki, elektrodlar arasındakı məsafə nəzərdən keçirilən səthlərin xətti ölçüləri ilə müqayisə edilə bilsin. Elektrodların, ölçmədə real istifadə olunan səthinin hüdudlarından kənara çıxarmağa imkan verən qoruyucu halqadan istifadə edərək onun təsirini və bu effekti müəyyən dərəcədə aradan qaldırmaq olur.

Tutum vericilərinin istismarı zamanı, atmosfer yağıntıları (məsələn, qarın yapışması), texnoloji mayelər və s. (operatorun təsadüfən elektrik açarına toxunması da onun işə düşməsinə səbəb ola bilər) kimi səbəblərdən irəli gələn yanlış işə düşmələrdən qorunmaq olduqca vacibdir. Yağıntıların, tozun (tikinti materiallarının istehsalı zamanı), qoruyucu arakəsmələrin və s. təsirini, eyni zamanda elektrik açarının həssaslığını kompensasiya etmək üçün daxilə quraşdırılmış tənzimləyici tətbiq edilir. Tutum vericilərinin işə düşməsinə səbəb olan təsir obyektlərinin müxtəlifliyi, onların geniş sahələrdə tətbiq olunmasına şərait yaradır [95, 101].

İcra üsuluna görə tutum çeviriciləri (TÇ) tək tutumlu və iki tutumlu vericilərə

bölünür. İki tutumlu vericilər diferensial və ya yarı diferensial olurlar. Tək tutumlu vericinin konstruksiyası sadədir və dəyişən tutumlu bir kondensatordan ibarət olur. Onların mənfi cəhətləri rütubət və temperatur kimi xarici amillərə həssas olmalarıdır. İki tutumlu vericilərdə isə qeyd olunan xətlərin kompensasiya edilməsi üçün diferensial konstruksiyalardan istifadə olunur. Tək tutumlu vericilərlə müqayisədə bu növ vericilərin çatışmazlığı parazit tutumların kompensasiya edilməsi üçün verici və ölçü cihazı arasında ən azı üç ekranlaşdırılmış birləşdirici naqillərin tələb olunmasıdır. Lakin, bu çatışmazlıq bu cür qurğuların tətbiqi sahəsində dəqiqlik, sabitlik və genişlənmənin əhəmiyyətli dərəcədə artması ilə ödənilir [6, 101].

Bəzi hallarda diferensial tutum vericilərinin konstruksiyalarının yaradılması baxımından çətinliklər yaranır. Bu, xüsusilə dəyişən boşluğu olan diferensial tutum vericilərinə aiddir. Lakin, bununla belə, nümunəvi kondensatoru işçi kondensatorla bir korpusda yerləşdirmək, onları mümkün qədər konstruksiyaya, ölçülərə, tətbiq olunan materiallara görə yüksək səviyyədə yerinə yetirməklə bu qurğunun sabitliyini pozan xarici təsirlərə qarşı xeyli az həssaslığı təmin ediləcəkdir. Belə hallarda, iki tutumlu vericilərə aid olan yarım diferensial tutum vericiləri tətbiq olunurlar [57- 60].

İki tutumlu vericilərin, iki ölçülü fiziki kəmiyyətlərin (baxılan halda, tutumların) ölçüyəgəlməz nisbəti kimi təsvir edilən çıxış parametrinin spesifikasiyası, onları nisbət vericiləri adlandırmağa əsas verir. İki tutumlu vericilərdən istifadə edərkən ölçü qurğusu, ümumiyyətlə, nümunəvi tutum ölçmələrindən ibarət olmaya bilər ki, bu da ölçmənin dəqiqliyini artırmağa kömək edir.

Qida və kimya sənayesində tutum vericilərinin istifadəsi mümkündür. Bu zaman elektrik açarının aktiv səthinin qida məhsulları ilə və ya kimyəvi aqressiv mühitlərlə bilavasitə təmasda olmasını istisna etmək üçün, müvafiq materiallardan hazırlanmış qoruyucu dielektrik arakəsmədən istifadə etmək tövsiyə olunur. Metal divarın arxasında yerləşən maddələrin və materialların aşkar edilməsi zərurəti yarandıqda, onun qarşısında tutum elektrik açarı quraşdırılan dielektrik arakəsmə ilə bağlı pəncərə düzəldilməlidir. Arakəsmənin qalınlığı elektrik açarının təsir məsafəsindən xeyli az olmalıdır, dielektrik isə (ϵ_r) az elektrik keçiriciliyinə malik olmalıdır.

Tutum çeviricilərinin konstruktiv sxemləri, onların tətbiq sahəsindən asılı olaraq, müxtəlif variantlarda yerinə yetirilir (bax: Əlavə 1, a-d). Maye və dənəvər cismlərin səviyyəsinin ölçülməsi zamanı, həssas element kimi silindrik və ya müstəvi kondensatorlar (Əlavə 1a) istifadə edilir və bu növ vericilərin tutumu səviyyə (x) ilə xarakterizə olunmaqla mayenin, izolyasiyanın və ya havanın dielektrik nüfuzluluğundan asılı olur [115].

Kiçik yerdəyişmələrin (bir mikrometrə qədər) ölçülməsi, həmçinin tezdəyişən gücün və təzyiqin ölçülməsi üçün, dəyişən aralıqla diferensial tutum çeviriciləri istifadə olunur. Kondensatorun orta elektordu çevik elementin üzərində (membran, çevik təbəqə, dartılmalar üzərində), 1 və 2 hərəkətsiz elektrodlar arasında bərkidilir.

Nəzərdən keçirilən sxemlər tarazlaşma prinsipinə əsaslanan cihazlarda, məsələn hərəkət trayektoriyasının kəskin dəyişilməsi zamanı avtomobilin gövdəsinin sabit vəziyyətinə nəzarət sistemində istifadə oluna bilər. Bunun üçün, fazaya həssas detektəlmədən sonra kondensatordan daxil olan gücləndirilmiş signal onun lövhələrinə (köynəklərinə) verilə bilər ki, bunun da nəticəsində orta elektroda, ölçülən gücü tarazlaşdıran elektrostatik güc təsir edəcək. Əlavə 1 -də dəyişən sahə ilə TV-nin lövhələri arasındakı münasibət, funksional asılılıq əsas götürülür. Lövhələr arasındakı mühitdə hərəkət edən obyektin növü və hərəkət tərzini ölçülə bilər. Lövhələr ya sərt bərkidilir, ideal stabil vəziyyətdə saxlanılır, ya da bir lövhə bərkidilir, digəri isə xarici təsirdən yerdəyişmə edir. Bütün hallarda verici obyektin təsiri altında öz elektrik tutumunu dəyişir və bu kəmiyyətlər öz aralarında funksional asılılıq təşkil edirlər.

Məlumdur ki, tutum vericiləri obyektin vəziyyətini, yerdəyişməsini, təcilini ölçməklə yanaşı həm də lövhələrin təsir dairəsində mühitin xüsusiyyətlərini də təyin etməyə qadirdirlər. Tutum vericiləri sadəliyi, yüksək həssaslığı, statik sabilliyi, hərəkətin detektələnməsi, yaxınlaşma, kiçik qiymət, dreyf, aşağı temperatur həssaslığı və enerji tələbi, yüksək keyfiyyət, səs-küyə davamlılığı, asan sxematik realizasiyası və s. xüsusiyyətlərinə görə geniş tətbiq olunurlar.

Tutum akselerometrinin (variable capacitance) hərəkət prinsipi, yeyinləşmə və

ya yavaşma təsiri altında onun tərkib hissəsinin (obyektin) ətalət kütləsinin yerdəyişməsi zamanı həssas elementin tutumunun dəyişilməsinə əsaslanır. Bu növ vericilərin əksəriyyətində köynəklər arasındakı d məsafəsinin və yeyinləşmənin dəyişilməsi prinsipindən istifadə edilir. Bu növ vericilər – akselerometrin ΔC tutum dəyişilməsini elektrik yükünə (q), gərginlik (u) və ya cərəyanı (i) isə güc şəklində çıxış signalına çevirir.

Tipik elektrik tutumlu həssas element iki bərkidilmiş elektrod (lövhələr) arasında ətalət kütləsi ilə yüklənmiş (yük) hərəkətli köynək yerləşdirilir ki, bu da tutumlu yarım körpü sxemini təşkil edir.

Tutum vericiləri – parametrik tipli çevirici olub ölçülən parametrin dəyişilməsi, tutum müqavimətinin dəyişilməsi ilə müəyyən olunur. Bu vericilər qeyri-elektrik parametrlərin (maye səviyyəsi, mexaniki güc, təzyiq, rütubət və s.) qiymətlərinin dəyişməsinə elektrik tutumunun qiymətinin dəyişməsinə çevirir. Tutum vericilərinin konstruksiyaları paralel müstəvi və ya silindrik elektrik kondensatorlardan ibarətdir. Hərəkəti, lövhələr arasındakı hava məsafəsinin və ya lövhələrin qarşılıqlı əhatə sahəsinin dəyişilməsinə, dielektrikin deformasiyasına, onun vəziyyətinin, tərkibinin və ya dielektrik nüfuzluğunun dəyişilməsinə əsaslanan sensorlar tutum sensorlarıdır. Tutum sensorları daha çox maye, dənəvər halında olan maddələrin səviyyəsinin ölçülməsində, mexaniki yerdəyişmələrin dəqiq ölçülməsində tətbiq edirlər [57- 60].

Onların dəqiqliyinin aşağı olması, vaxtaşırı kalibrləmənin tələb olunması, parazit tutuma və ölçü rezistorunun temperatur əmsalına qarşı həssaslığı tutum ölçmə üsulunun çatışmayan cəhətləridir. Parametrik tutum vericiləri çıxış signalının işlənməsi sxemlərinə, həssas elementin tutum dəyişilməsinin analoq gərginliyinə, zaman-impuls modulyatorunun (ZİM) cərəyan çıxışına və ya sızmaya, həm də parazit tutumların minimal itkilərlə tezlik signalına çevrilməsinə əsaslanır.

Tutum vericisindən çıxış signalının alınmasının aşağıdakı müxtəlif üsulları da mövcuddur:

- vericinin tutumunun sabit cərəyanda ölçülməsi üsulu: bu zaman, sabit cərəyan mənbəyindən qidalanan kondensatorun lövhələrində bilavasitə düşən gərginlik

götürülür;

- tək sayda impulsdan və ya bir neçə, məsələn mikrokontrollerdən daxil olan bir neçə impuls ardıcılığından kondensatorun lövhələrinin yüklənməsi zamanı tutum dəyişmələrinin ölçülməsi;

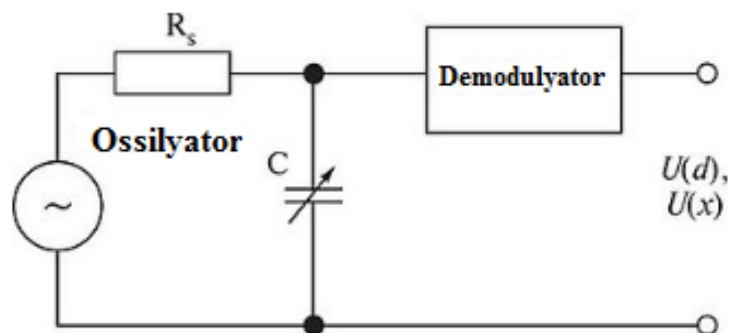
- RC-generatorda zaman vericisi qismində istifadə edilən tutumun ölçülməsi;

- demodulyatorun sxemində, dəyişən cərəyandan qidalanan kondensatorda impedansın ölçülməsi;

- yük gücləndiricisində tutumun ölçülməsi;

- modulyatorun siqma-delta sxemində tutumun ölçülməsi və s.

Vəziyyətin tutum vericisində, avtomobil idarəetmə sistemləri üçün siqnal işlənməsi sxeminin əsas təyinatı (şəkil 1.1.1) tutum kəmiyyətinin dəyişilməsinin analoq gərginliyinə, zaman impuls modulyasiyalı (ZİM) cərəyan çıxışına və ya sızmaya, eyni zamanda parazit tutumların minimal itkilərlə tezlik siqnalına çevrilməsidir [115].



Şəkil 1.1.1. Tutum kəmiyyətinin gərginliyə çevrilməsi sxemi

Qeyd etmək lazımdır ki, tutum vericisinin çıxış müqaviməti yüksək Om -dur ($1...100 MOm$) və bu da gərginliyin ölçülməsi üçün yüksək giriş müqavimətli sxem tələb edir. İlk iki üsul olduqca sadə reallaşır, lakin onlar səs-küyə qarşı yüksək həssaslığa malikdir.

Üçüncü üsulda tutum kəmiyyətinin dəyişilməsi tezlikli və ya ZİM siqnala çevrilməsi ilə həyata keçirilir və həmçinin sadə şəkildə reallaşır. Lövhələr arasında məsafənin dəyişməsi ilə vericilərdə istifadə olunan RC-generatoru məsafəyə

mütənasib olan tezliklə xətti tezlikli çıxış signalı əmələ gətirir. Lövhələrin örtülməsi variantı ilə kondensatorlar, impulsların eninin ölçülməsi ilə xəttiləşdirilir.

Tutum vericiləri və çeviricilərinin kiçik inersiyalı olmaları onlardan sürətlə dəyişən həcmələri ölçməkdə və sürətli prosesləri idarə etməkdə istifadə etməyə imkan verir.

Tutum vericisinin və ya çeviricisinin elektrodları ilə lövhələr arasındakı məsafənin (d) dəyişdirilməsi, aşağı və yüksək təzyiqlərin tutum sayğaclarının, fırlanan cisimlərin, mikrometrlərin və s. vericilərin qurulması üçün istifadə olunur. Xüsusilə, elektrodların elastik deformasiyalarından istifadə edən tutum vericiləri nəzərdə tutulur. Bir halda ki, membran olan verici elektrodları təzyiq ölçən qurğu kimi işləyir, digər halda bimetal elektrodlar temperatur ölçən qurğu kimi işləyir.

Tutum vericilərinin və ya çeviricisinin lövhələrinin sahəsinin (S) dəyişdirilməsi, məsələn, ölçü cihazlarının oxlarının vəziyyətinə nəzarət etmək, qapıların açılma bucağının, yerqazan maşınların oxlarının əyilmə bucağının və s. bucaq yerdəyişmələrini həcm yerdəyişmələrinə çevirmək üçün radiotexnika və avtomatlaşdırmada geniş şəkildə istifadə olunurlar. Eyni vericilər qrupuna mövqeyli nəzarət vericiləri və əşyaların (məhsulların) sayılması üçün tutumlu sayğaclar daxildirlər.

Bir qayda olaraq lövhələr arasındakı dəyişən məsafəni və lövhələrin dəyişən sahəsinə malik olan tutum vericiləri və çeviricilərin elektrodlarının hərəkət etdirilməsi məhdudlaşdırılmalıdır. Bu vəziyyət, ölçmə cihazında hər hansı bir nəzərə cərpacaq yükün yolverilməz olduğu sonrakı sistemlərdə tutumlu ölçü cihazlarından istifadə etməyə imkan verir.

Lövhələr arasındakı mühitin dielektrik keçiriciliyinin dəyişdirilməsi (ϵ), istehsal proseslərində geniş tətbiq edilir. Belə ki, maye halında və dənəvər formada olan maddələrin səviyyəsinə nəzarət etməkdə, eyni zamanda həmin maddələrin növünün təyininə əsas ölçmə vasitəsi kimi tətbiq olunurlar. Son illərdə tutum vericilərinin köməyi ilə iki qarışmayan mayələrin ayrılma sərhəddinə (səviyyəsinə) nəzarət, həmçinin kimya, neft emalı, qida, ağac, kağız və digər sənaye sahələrində maddələrin tərkibinin ekspress-analizi kimi avtomatik nəzarətin ən çətin məsələləri həll olunur.

Tutum vericilərinin əsas fiziki parametrləri arasındakı funksional asılığa baxaq:

Məlumdur ki, kondensatorun lövhələri müstəvi şəkilində olduqda onun elektrik tutumu aşağıdakı düsturla təyin edilir [101]:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (1.1.1)$$

burada, ε_0 – boşluğun dielektrik nüfuzluğu; ε – lövhələr arasındakı mühitin dielektrik nüfuzluğudur; S – kondensatorun lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsi; d – kondensatorun elektrodlarıyla lövhələrin arasında məsafə.

(1.1.1)-dən görünür ki, dəyişən kondensatorun tutumunun dəyişməsi d lövhələrin arasındakı məsafə və ε dielektrik keçiciliyi və S lövhələrinin sahəsinin dəyişməsi vaxtı və ya sadalanan ölçülərin eyni zamanda dəyişməsi zamanı baş verə bilər. Dəyişən həcmli kondensatorların bu xüsusiyyətləri tutum sensorların və çeviricilərin əsasını qoymuşdur.

Buradan aydın olur ki, tutum vericilərin və çeviricilərin konstruksiyası hər şeydən əvvəl ölçülən kəmiyyətin növü və onun tutum və ya çeviricinin tutumuna təsir üsulu ilə müəyyən edilir.

Tutumlu tənzimləyicilərin qurulması üçün istifadə edilən kondensatorların (sensorların) konstruksiyaları, vericinin tutumunun dəyişmə xarakteri və tətbiq sahələri haqqında müfəssəl məlumat Əlavə 2-də təqdim edilmişdir.

Cədvəldə əsasən lövhələr arası məsafəsi (d) dəyişən tutumlar, lövhələrinin qarşılıqlı sahəsi (S) dəyişən tutumlar, d məsafəsi və S lövhələrinin sahəsi dəyişən diferensial sensorlar, ε_0 dəyişən mühitin səviyyəsinin dielektrik nüfuzluğu və lövhələr arasındakı mühitin ε dielektrik nüfuzluğu dəyişən sensorların göstəriciləri verilmişdir.

Cədvəldən göründüyü kimi, kondensatorun tutumunun dəyişmə üsulları tutum sensorlarından və çeviricilərindən istifadənin sahələrini müəyyən edir. Bundan başqa, tutum sensorların xüsusiyyətləri yəni, iş şəraiti ilə yaxşı uzlaşma və yüksək həssaslıq onların əsas üstünlükləridir. Vacib olan isə müəyyən bir tapşırığa ən uyğun şəkildə cavab verən tutum növünü inkişaf etdirməkdir.

Həssas elementlərin korroziyadan qorunmasının mövcudluğundan və bu sxemlərin elektrik parametrlərinin özünəməxsus təhlükəsiz dəyərlərindən asılı olaraq, təhlükəli və ya partlayıcı olan iki mühit arasında səviyyənin və ya interfeysin ölçülməsi zamanı ən

çox üstünlüyə mailik olan metod tutum metodudur [101].

Eyni qrupa müxtəlif növ rütubət ölçənlər, müxtəlif maddələrin dielektrik xassəli vericiləri, mayələrin, qazların tərkibinin və konsentrasiyasının müəyyənəşdirilməsi üçün vericilər və s. daxildir.

Sahə vericisinin ətraf elektrodlarının dielektrik keçiriciliyinin dəyişməsinə əsaslanan tutumlu ötürücülərin xüsusi qrupunu məmulatın sayğacları, mühafizə siqnalizasiyasının xəbərdarediciləri və qalınlığın ölçüləri, müxtəlif örtüklər təşkil edir. Bütün bu hadisələrdə nəzarət edilən mühit dielektrikdir ε_i və onun nisbi dielektrik keçiriciliyi həmişə havanın nisbi dielektrik keçiriciliyindən $\varepsilon_h = 1,00059$ daha çoxdur.

Tutum vericilərinin istifadə xüsusiyyətlərinə baxaq: avtomatik nəzarət və idarəetmə sistemlərində tutum vericilərinin və çeviricilərin istifadəsinin əsas xüsusiyyəti onların kiçik ilkin qabiliyyətidir ki, bu da həssas elementlərin müxtəlif konstruksiyaları üçün ondan bir neçə min pikofarada qədər dəyişir. Bu vəziyyət 50 Hz sənaye tezliyinin gərginliyi ilə tutum vericilərin gücünün mümkünlüyünü məhdudlaşdırır. Buna görə də, məlum tutum cihazlarının müxtəlifliyi $1 \cdot 10^3$ -dən $(1 \div 2) \cdot 10^8$ Hz-ə qədər yüksək tezlikli gərginliyin tətbiqinə əsaslanır.

Tutum vericilərinin və çeviricilərin istehsalı üçün müəyyən materialların istifadəsi tamamilə onların iş şəraiti ilə müəyyən edilir və istehsalın keyfiyyəti tələb olunan ölçü dəqiqliyi ilə müəyyən edilir. Ölçülərdə xüsusi diqqət tutum vericilərinin ölçülərinin dəyişməsinə səbəb olan temperatur dəyişmələrinin təsirinə və buna uyğun onun tutumunun dəyişməsinə yönəldilməlidir.

Tutum vericilərinin digər verici növləri qarşısında mühüm üstünlüyü tutum dəyişməsinin ölçülən kəmiyyətin dəyişməsindən (xətti, logarifmik, eksponensial, dərəcə və s.) asılılığını reallaşdırmaq imkanındır.

Aşağıda, əlaqəsiz və ya kontaktsiz tutum vericiləri üzərinə qoyulan əsas tələblər nəzərdən keçirilmişdir.

Ümumi halda vericilər giriş və çıxış qiymətləri arasında asılılığı rahat formada təmin etməlidirlər. Bu tələb çox çətinlik olmadan belə həyata keçirilir:

- giriş və çıxış qiymətləri arasında asılılığın birmənalı olmasını təmin etmək (bu

tələb yalnız konstruktiv və texnoloji xarakteristikalarla şərtlənir və əksər vericilər üçün yerinə yetirilə bilər);

- onlar konstruksiya baxımından sadə və texnoloji olmalı və bir-birini asanlıqla əvəzetmə, quraşdırma və istismar qabiliyyətinə malik olmalıdırlar (bu tələblər də tam şəkildə təmin edilə bilər).

Vericilər ətraf mühit və insanlar üçün zərərsiz olan qeyri-kafi materiallardan hazırlanmalı, onlar xarici mühitə qarşı dayanıqlığa malik olmalıdırlar (əksər hallarda bu tələblər yerinə yetirilir).

Tutum vericiləri biristiqamətli fəaliyyətə malik olmalıdır, yük parametrlərini dəyişən tutumlu vericilər, ölçülən kəmiyyətin parametrlərinə qətiyyənlə təsir etmir; bundan əlavə, onlar vaxt keçdikcə sabit bir xarakteristikaya malik olmalıdırlar - bu tələb yalnız bir hava dielektriklə işləyən vericilər üçün qənaətbəxşdir.

Tutum vericiləri böyük bir mexaniki və elektrik yüklənmə qabiliyyətinə malik olmalıdır, çox həssas və aşağı ətalətə malik olmalıdır (bu tələblər əsasən konstruktiv xüsusiyyətlərinə əsaslanır və yaxşı qarşılanır).

Beləliklə, tutum vericiləri bütün tələblərə tam cavab verir və avtomatik nəzarət və idarəetmə sistemlərində ölçmə məqsədləri üçün tətbiq oluna bilən tutum vericiləri həndəsi səthin formasından asılı olaraq bir neçə sadə növdən ibarətdirlər [57- 60, 101, 115]. Əlavə 2-də səthlərin sadə həndəsi formaları verilmiş və sərhəd effektlərini nəzərə alaraq hava boşluqlarının sahəsinin fəza xarakteristikalarının hesablanması üzrə tövsiyələr verilmişdir.

Lakin, bütün konstruktiv icra müxtəlifliyinə baxmayaraq, bütün tutumlu vericiər və çeviricilər müxtəlif növlərə bölünə bilərlər. Tutum vericilərinin sxemləri və asılılıqlar əlavə 2-də göstərilmişdir [27, 35].

Bir qayda olaraq, tutum vericiləri və çeviricilər yüksək dəqiqlik dərəcəsi və aşağı xətti genişlənmə əmsalı olan materiallardan hazırlanmalıdır. Vericilərin əksəriyyəti ölçülə bilən parametrlərə aidiyyəti olmayan kənar kütlələrin "yaxınlıq effekti" nin təsirini istisna etmək məqsədilə diqqətlə ekranlaşdırılmalıdır. Tutum vericinin konstruksiyasında əhəmiyyətli (və bəzən birinci dərəcəli) rolu vericinin detallarının

izolyasiyası oynayır, çünki tutumlu vericinin aktiv keçiricilik qabiliyyəti tutumla müqayisə edilən ola bilər. Bu da ölçmə nəticələrinə əhəmiyyətli səhvlər gətirər və ya ölçmələri qeyri-mümkün edər.

Verici və ya çeviricilərin hər biri birdən çox xüsusiyyətə malik ola bilər (Əlavə 2): birüzlü, yəni 1 işçi qabiliyyəti ilə, ikiüzlü, yəni 2 işçi qabiliyyəti ilə, üçüzlü, yəni 3 işçi qabiliyyəti ilə, eyni zamanda dördüzlü, yəni 4 işçi qabiliyyəti ilə və eyni zamanda müxtəlif işçi qabiliyyəti ilə dəyişir.

Çoxbucaqlı tutum vericilərində və çeviricilərində hər şüanın tutumunun dəyişdirilməsi qanunları həm eyni, həm də müxtəlif ola bilər.

Temperaturun, rütubətin, təzyiqin, vibrasiyanın və s. xarici şərtlərin dəyişməsi zamanı ölçmələrin yüksək sabitliyini almaq üçün lazım olduqda iki və n - şüa tutumlu vericilər və çeviricilər istifadə olunur. Bu vəziyyətdə ölçmələrin yüksək sabitliyi verici şüalarının parametrlərinin qarşılıqlı şəkildə kompensasiyası ilə təmin edilir.

Tutum vericilərinin mümkün tətbiq sahələri son dərəcə müxtəlifdir. Onlar sənayenin demək olar ki, bütün sahələrində istehsal proseslərinin tənzimlənməsi və idarə edilməsi sistemlərində istifadə olunur. Tutum vericiləri avtomatlaşdırılmış xətlərdə, konveyerlərdə, robotlarda, emal mərkəzlərində, dəzgahlarda, siqnalizasiya sistemlərində, müxtəlif mexanizmlərin yerləşdirilməsində və s. sahələrdə rezervuarların maye, tozşəkilli və ya dənəvər maddələrlə doldurulmasının nəzarəti üçün istifadə olunur. Hal-hazırda, bir sıra mühüm üstünlüklərə malik olan yaxınlaşma (mövcudluq) vericiləri daha geniş yayılmışdır.

Nisbətən aşağı qiymətə malik olan yaxınlaşma vericiləri, bütün sənaye sahələrində öz tətbiqi üzrə olduqca böyük istiqamət spektrini əhatə edir [109].

Bu tip tutum vericilərinin istifadəsinin səciyyəvi sahələri aşağıdakılardır:

- plastik və ya şüşə tutumların doldurulması siqnalizasiyası;
- şəffaf qablaşdırmaların doldurulması səviyyəsinin nəzarət edilməsi;
- dolama naqilinin qırılması siqnalizasiyası;
- lentin gərilməsinin tənzimlənməsi;
- istənilən növ və s. ədəd üzrə hesabı.

Bu və ya digər vericinin bu sahələrdə tətbiqi ilk növbədə qiymət / effektivlik nisbəti ilə müəyyən edilir. Sənaye tətbiqi zamanı müəyyən edici amil kimi, proseslərin tənzimlənməsi zamanı 1...2%, nəzarət məsələləri üçün isə - 2...3% təşkil edəcək xəta hesab edilir. Bu hallarda vericilərin qiymətləri 100 alman AFR markasından yuxarıdır. Robot texnikası və tibbi texnika sahələrində xüsusi tətbiqlər üçün, vericilərin qiymətləri hətta 10...100 alman AFR markasından yuxarı ola bilər. Yeni istehsal texnologiyalarının (yüksək vakuumlu tozlanma, tozlandırılma, qaz fazasından kimyəvi çökmə, fotolitoqrafiya və s.) və yeni materialların tətbiqi hesabına, əvvəllər yüksək qiymətinə görə əlçatmaz olan vericilərin tətbiq sahələri dayanmadan genişlənir.

1.2. Tutum vericilərinin parametrlərinin analizi

Avtomatik nəzarət və idarəetmə sistemlərində tutumlu qurğular həm sadə ilkin elementlər, həm də bir çox müstəqil qovşaqlardan və elementlərdən (gücləndiricilər, müqayisə sxemləri, generatorlar və s.) ibarət mürəkkəb aralıq sistemlər ola bilər. Lakin strukturların mürəkkəbliyi və tutum vericilərinin istifadə sahəsinə baxmayaraq, onlar aşağıdakı əsas parametrlərlə birmənalı şəkildə xarakterizə edilə bilər [85, 101]:

1) ilkin tutum

$$C_0 = f(\varepsilon, S, d) = f(\varepsilon, g), \varphi; \quad (1.2.1)$$

2) tutumun maksimal dəyişməsi

$$\pm \Delta C = f(\pm \Delta \varepsilon, \pm \Delta S, \pm \Delta d) = f(\pm \Delta \varepsilon, \pm \Delta g), \varphi; \quad (1.2.2)$$

3) reaktiv müqavimət

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_0}, \text{ om}, \quad (1.2.3)$$

burada, $\pi = 3,1416$; f – qidalandırıcı gərginliyin tezliyi, Hz;

4) aktiv müqavimət – R_C ,

5) aktiv itkilər: $tg\delta = f(R_C, C_0, \omega)$, (1.2.4)

burada, $\omega = 2\pi f, \text{ san}^{-1}$ (1.2.5)

6) tutumun elektrik yükünü saxlama vaxtı: $\tau = R_C C_0, \text{ san};$ (1.2.6)

7) elektrodların qarşılıqlı təsirinin gücü:

$$F = f(\varepsilon, S, d, U) = f(\varepsilon, g, U), \text{ n}\cdot\text{m}^{-1}; \quad (1.2.7)$$

8) dəyişikliyin həssaslığı: $\gamma = f(\Delta C, C_0)$. (1.2.8)

Hər bir çevirici və tutum əsas parametrləri ilə yanaşı, funksional xüsusiyyətlərə malikdir - statik və dinamik.

Tutum vericisinin və ya çeviricinin statik xarakteristikası çıxış qiymətinin dəyişməsinin giriş qiymətinin dəyişməsindən analitik və ya qrafik asılılığı adlanır.

Tutum vericisinin və çeviricinin aşağıdakı statik xüsusiyyətləri vardır:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta C = f_1(\varepsilon), \\ \Delta C = f_2(S), \\ \Delta C = f_3(d), \\ \Delta C = f_4(U). \end{array} \right. \quad (1.2.9)$$

Tutum vericisinin və ya çeviricinin statik xarakteristikası həssaslıqla qiymətləndirilir ki, bu da çıxış qiymətinin giriş qiymətinin artımına çevrilməsinə aiddir.

Tutum vericisinin və ya çeviricinin digər eyni dərəcədə əhəmiyyətli xüsusiyyəti dinamik xarakteristikasıdır.

Vericinin dinamik xarakteristikası çıxış qiymətindəki dəyişmənin çıxış qiymətindəki dəyişmə dərəcəsindən asılıdır.

Dinamik xarakteristika keçid prosesinin əyrisi şəklində təqdim edilə bilər, yəni giriş qiymətinin dəyişmələri zamanı $C = f(t)$ asılılığıyla və ya amplitud-faza xarakteristikası, yəni amplitudanın (U və ya I) və φ çıxış siqnalının f giriş tezliyindən asılılığı ilə ifadə olunur.

Qeyri-xətti statik xarakteristikayla tutum vericisinin dinamik xarakteristikası analiz üçün çətindir $\gamma \neq const$; bu halda, vericinin dinamik xüsusiyyətləri xəttləşmə tətbiqi ilə nəzərdən keçirilməlidir.

Son illərdə geniş sənaye tətbiqinə malik yeni cihazlar – vericilər: maililik bucağının nisbətində mütənasib olan elektrik çıxış siqnalı, kiçik qabaritli tutum inklinometrləri yaradılmışdır [101].

İnklinometrlərin ən əsas tətbiq sahələri aşağıdakı sahələr hesab edilə bilər:

- üfüqi platforma sistemlərində istifadə;
- müxtəlif növ dayaq və pərdilərin əyilmə və deformasiyalarının ölçüsünün müəyyən edilməsi;
- avtomobil və dəmir yollarının tikintisi, təmiri və istismarı zamanı onların mailik bucağına nəzarət edilməsi;
- avtomobillərin, gəmilərin və sualtı robotların, yükqaldıranların və kranların, ekskavatorların, kənd təsərrüfatı maşınlarının əyilməsinin müəyyən edilməsi;
- müxtəlif növ fırlanan obyektlərin: valların, təkərlərin, reduktorların mexanizmlərinin həm stasionar, həm də hərəkətli obyektlərdə bucaq yerdəyişməsinin müəyyən edilməsi.

Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin sxemi və vericinin tutumunun giriş siqnalının x yerdəyişməsindən asılılığı Əlavə 3-də, şəkil 1.3.1a, b-də verilmişdir.

Müxtəlif növ ölçülən və nəzarət edilən qeyri-elektrik kəmiyyətləri mövcuddur. Onların əhəmiyyətli bir hissəsini xətti və bucaq yerdəyişmələri əks edirlər. Elektrik sahəsi hava boşluğunda bərabər olan kondensatorun əsasında iki əsas tipli yerdəyişməli tutum vericilərinin konstruksiyası yaradıla bilər: elektrodların dəyişən sahəsi ilə; elektrodlar arasında dəyişən hava məsafəsi ilə. Kifayət qədər aydındır ki, birinci elektrodlar böyük (bir, on və yüzlərlə millimetrlər) yerdəyişmələrin ölçülməsi

üçün, ikinci qeyd edilən elektrodlar isə kiçik və aşırı kiçik (millimetrlin payları, mikrometrlər və daha az) yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün daha rahatdır.

Bucaq yerdəyişməli tutum vericisinin sxemi və vericinin tutumunun giriş signalından - dönmə bucağından asılılığı Əlavə 3-də şəkil 1.3.2 a, b-də verilmişdir. Bu vericidə təbəqə 1 və 2 - iki lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsinin dəyişməsi səbəbindən tutum dəyişir. Təbəqələrdən biri (7) hərəkətsizdir, digəri isə (2) təbəqə (1)-ə nisbətdə ox üzərində dönmə bilər. Təbəqələr arasında məsafə dəyişmir, təbəqə 2-nin dönməsi zamanı 1 və 2 təbəqələr arasında aktiv sahə dəyişir (şəkil 1.3.2, a ştrixləmə ilə qeyd edilib).

Bucaq yerdəyişmələrin ölçülməsində tutum vericiləri iş prinsipinə görə xətti yerdəyişmələrin ölçülməsində tətbiq edilən tutum vericilərinə oxşayırlar. Bu zaman, lövhələrin dəyişən sahələrinə uyğun çox kiçik olmayan ölçü diapazonlarına malik olurlar. Lövhələri arasında hava məsafəsi olan tutum vericiləri kiçik bucaq dəyişmələrində və ya kiçik dönmə bucaq yerdəyişmələrinin ölçülməsində uğurla istifadə edilə bilərlər.

Adətən bucaq yerdəyişmələri üçün kondensatorun lövhələrinin dəyişən sahəsi olan çoxseksiyalı çeviricilərdən istifadə olunur. Bu növ vericilərdə kondensatorun elektrodlarından biri obyektin valına bərkidilir və dönmə zamanı hərəkətsiz elektroda nisbətən yerini dəyişir, yəni kondensatorun lövhələrinin üst-üstə düşən sahəsini dəyişdirir. Bu öz növbəsində, tutumun dəyişməsinə səbəb olur ki, bu da ölçmə sxemi ilə təsbit edilir.

İnclinometr (əyilmə vericisi) kapsula formasında həssas elementi özündə birləşdirən, mailliyin diferensial tutum çeviricisidir (bax: Əlavə 3, şəkil 1.3.3).

Kapsul, izolyasiyaedici qatla örtülmüş 1 iki planar elektrodlu alt qatdan və alt qatda hermetik şəkildə bərkidilmiş 2 korpusdan ibarətdir. Korpusun daxili boşluğu qismən keçirici maye 3 ilə doldurulmuşdur və bu maye, həssas elementin ümumi elektrodudur. Ümumi elektrod planar elektrodlar ilə diferensial kondensator təşkil edir. Vericinin çıxış signalı diferensial kondensatorun tutumunun həcminə mütənasibdir ki, bu da, korpusun şaquli müstəvidə vəziyyətindən xətti asılıdır. İnclinometr elə bir şəkildə layihələndirilmişdir ki, çıxış signalının bir işçi

müstəvisində maillik bucağından xətti asılılığına malikdir və praktiki olaraq başqa (qeyri-işçi) müstəvidə göstəriciləri dəyişmir. Bu zaman onun signalı temperaturun dəyişməsindən zəif asılıdır. Fəzada müstəvinin mövqeyini müəyyən etmək üçün iki, bir-birinə qarşı 90 dərəcə bucaq altında yerləşən inklinometrdən istifadə olunur.

Vericinin maillik bucağına mütənasib olan elektrik çıxış signalı ilə kiçik qabaritli inklinometrlər, nisbətən yeni cihazlardır. Onların yüksək dəqiqliyi, miniatür ölçüləri, hərəkətli mexaniki qovşaqların olmaması, obyekt üzərində bərkitmənin sadəliyi və aşağı qiyməti hesabına, onları nəinki əyilmə vericiləri kimi istifadə etmək məqsədəuyğun olur, həm də onları yalnız stasionar obyektlərdə deyil, eləcə də hərəkətli obyektlərdə bucaq vericilərinin əvəzinə istifadə etmək mümkün olur.

Şəkil 1.3.4-də (bax: Əlavə 3) maye səviyyəsinin tutum vericisi vasitəsi ilə ölçülməsinin təsviri verilmişdir. Bu vericidə tutum, mayenin səviyyəsindən asılı olaraq dəyişir, çünki hərəkətsiz təbəqələr arasında mühitin dielektrik nüfuzluğu dəyişir.

Qida, əczaçılıq, kimya, neft emalı sənayesində istehsal proseslərinin nəzarəti, tənzimlənməsi və idarə edilməsi sistemlərində tətbiq olunur. Onlar mayelərlə, səpilən materiallarla, pulpa ilə, özlü maddələrlə (keçirici və keçirməyən), həmçinin kondensatın yaranması, tozlanma şəraitində iş zamanı effektiv istifadə edilir. Keçirməyən maye səviyyəsinin ölçülməsi üçün tutum çeviricisi, iki paralel birləşdirilmiş kondensatordur.

Tutum çeviricisi ilə təzyiqin ölçülməsinin əsas konstruksiyalarından biri, mütləq təzyiqin ölçülməsi üçün istifadə olunan tək statorlu konstruksiyadır.

Tutum sensorlu təzyiq vericisində (bax: Əlavə 3, şəkil 1.3.5) kondensatorun lövhələrindən biri, təzyiq P -i qəbul edən yastı dairəvi membrandır 1. Vericinin digər lövhəsi 2 hərəkətsizdir və onun radiusu R membran 1 kimidir. Kondensatorun lövhələri arasında ilkin hava aralığı $d_{baş.}$ var. Ölçülən təzyiq P -nin təsiri altında membran əyilir – deformasiya olunur və qiymətcə ən böyük əyilmə, maksimal yerdəyişmə membranın mərkəzində baş verir.

Təbəqələr arasında hava məsafəsinin qeyri-bərabər dəyişməsi bu növ vericilərin tutumunun təyini üçün düsturu mürəkkəbləşdirir və bu düstur yekun olaraq aşağıdakı

şəkillədir:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \pi R^2}{2\sqrt{d_{ilkin}d}} \ln \frac{\sqrt{d_{ilkin}} + \sqrt{d}}{\sqrt{d_{ilkin}} - \sqrt{d}}, \quad (1.2.10)$$

Belə verici, bir tərəfindən korpusdan izolyasiya edilmiş hərəkətsiz elektrod yerləşən bərk gərilmiş yastı metal diafraqma ilə iki hissəyə bölünən metal hüceyrədən ibarətdir. Diafraqma ilə elektrod ölçmə sxeminə daxil olan dəyişən bir tutum təşkil edir. Diafraqmanın hər iki tərəfində təzyiq bərabər olduqda, verici balanslaşdırılmışdır. Kameraların birində təzyiq dəyişməsi diafraqmanı deformasiya edir və tutumu dəyişir, bu da ölçmə sxemi ilə qeyd edilir.

İki statorlu (diferensial) konstruksiyada diafraqma iki hərəkətsiz lövhə arasında hərəkət edir, iki kameradan birinə dayaq təzyiqi verilir ki, bu da ən kiçik xəta ilə diferensial (artıq və ya fərqli) təzyiqin birbaşa ölçülməsini təmin edir.

Səviyyənin tutum vericisi ilə ölçülməsi Əlavə 3, şəkil 1.3.6 a və b-də, cərəyan keçirməyən mayenin və ya dənəvər cisimlərin səviyyəsinin ölçülməsi üçün tətbiq edilən silindrik lövhələrə olan tutum vericisi göstərilir. Bir lövhə qismində metal çən və ya daxili radiusu r_1 təşkil edən rezervuar çıxış edə bilər, ikinci lövhə metal mil və ya xarici radiusu r_2 təşkil edən silindr şəklində yerinə yetirilib.

Əgər rezervuar dielektrik nüfuzluluq ε_i ilə x səviyyəsinə qədər doldurulubsa, o zaman vericinin tutumunu, iki paralel birləşdirilmiş kondensatorların tutumu kimi təsvir etmək olar:

$$C = C_x + C_{L-x} \quad (1.2.11)$$

burada:

C_x - rezervuarın maye ilə doldurulmuş aşağı hissəsinin tutumudur;

C_{L-x} - rezervuarın hava ilə doldurulmuş yuxarı hissəsinin tutumudur.

Belə bir vericinin həssaslığının artması səviyyəsi ölçülən materialın dielektrik nüfuzluğunun ε_i artmasından asılıdır.

Silindrik lövhələrə olan kondensatorun tutumu üçün ümumi düstur:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{l}{2 \ln(r_1/r_2)} \quad (1.2.12)$$

burada l – lövhələrin uzunluğudur.

Vericinin aşağı hissəsinin tutumu üçün:

$$C_x = \varepsilon_0 \varepsilon_i \frac{x}{2 \ln(r_1/r_2)} \quad (1.2.13)$$

Vericinin yuxarı hissəsinin tutumu üçün

$$C_{L-x} = \varepsilon_0 \frac{L-x}{2 \ln(r_1/r_2)} \quad (1.2.14)$$

(1.2.13) və (1.2.14)-i (1.2.11)-də nəzərə alsaq, əldə edirik:

$$C = \frac{\varepsilon_0}{2 \ln(r_1/r_2)} [L + (\varepsilon_i - 1)x] \quad (1.2.15)$$

burada L – vericinin lövhələrinin hündürlüyüdür, yəni rezervuarın maksimal doldurulma səviyyəsidir.

Vericinin həssaslığını müəyyən etmək üçün (1.2.15) ifadəsini səviyyə üzrə diferensiasiya edirik:

$$S_d = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon_i - 1)}{2 \ln(r_1/r_2)}, \quad (1.2.16)$$

(1.2.16) tənliyindən görünür ki, vericinin həssaslığı ölçü diapazonu boyunca sabitdir.

Kimyəvi cəhətdən aqressiv olan mayələrin səviyyəsi yoxlanarkən, xarici və daxili lövhələr qoruyucu örtüklə örtülür. Səviyyənin tutum vericilərin köməyi ilə ölçülməsi kosmik və aviasiya texnikasında, kimya, neft kimyası və digər sənaye sahələrində istifadə olunur.

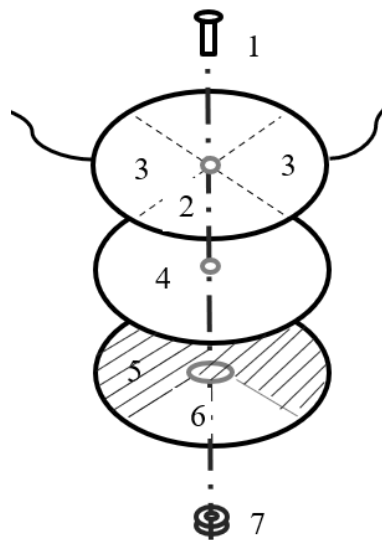
1.3. Diferensial ölçmə prinsipli tutum vericiləri

Diferensial tutumlu yerdəyişmə vericiləri bir sıra cihazlarda giriş elementi funksiyasını yerinə yetirərək ölçülən hər hansı fiziki kəmiyyəti tutuma və sonra da

digər, elektrik (məs. gərginliyə) çıxış kəmiyyətinə çevirmə vasitəsidir. Bu növ vericilər əsasən giroskoplarda, akselerometrlərdə, təzyiq sensorlarında və digər cihazlarda ölçüləcək təsirləri tutum dəyişmələrinə çevirməklə məlumat daşınmasını təmin edir. Tutumlu yerdəyişmə sensorları hal-hazırda əsasən Analog Devices, Inc., Micro Sensors, Inc. və Xemics kimi aparıcı istehsalçılar tərəfindən istehsal olunurlar. Lakin bu vericilərdə köynəklər arasındakı boşluğun ölçülməsi nəzərə alınmamışdır. TV-nin köynəkləri arasındakı boşluqda baş verən dəyişikliklərin təsirini kompensasiya etmək üçün müxtəlif üsullar mövcuddur. Bu boşluq haqqında məlumat almaq üçün diferensial tutum vericisinin (DTV) köynəklərindən keçən cərəyanların cəminin ölçülməsi tələb olunur.

Dönmə bucağının ölçülməsi üçün TV-nin həssas elementi kimi diferensial kondensatordan istifadə edilir. TV-nin konstruksiyası kifayət qədər ixtiyari ola bilər. Bəzi variantlar şəkil 1.3.1. və 1.3.2-də təsvir edilmişdir. Cınaqlardan hər birinin tutumu kiçik ola bilər – təxminən on pikofarad, lakin tutumların nisbi dəyişilməsi mümkün qədər böyük olması lazımdır.

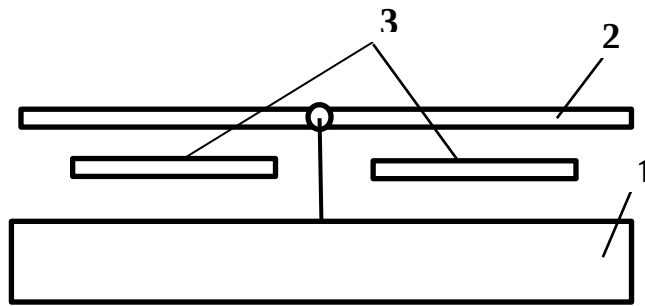
Burada 1 –bərkitmə vint, 2 –stator (şüşə-tekstolit), 3 –statorun lövhələri (mis folqa), 4 –izolyasiya edən ara qat (0,1 mm qalınlığında polietilen təbəqə), 5 –rotorun bəndlərlə birləşdirilmiş lövhələri (mis folqa), 6 –rotor (şüşə-tekstolit), 7 –qayka.



Şəkil 1.3.1. Dönmə bucağının ölçülməsi üçün tutum vericisinin həssas elementinin konstruksiyası

Diferensial tutum vericisi, skaner güzgüsünün sapma bucağının ölçülməsi üçün “Mars-94”, “Mars-96”, “Omega-VIMS” nümunələri üçün REA Kosmik Tədqiqatlar İnstitutunun Xüsusi Kosmik Cihazqayırma Konstruktor Bürosunda işlənmişdir. Həmçinin, maqnit yastıq maketində, elektron inşaat səviyyəölçəndə və dönən platformanın dönmə bucağının vericisi kimi tətbiq edilmişdir. Müvafiq konstruksiyada xətti yerdəyişmələrin ölçülməsi kimi də istifadə oluna bilər [84].

İşıq axınının skan edilməsi üzrə qurğuların (optoskanerlər) maketlərinin hazırlanması və sazlanması zamanı qurğunun güzgüsünün dönmə bucağını müəyyən etmək lazımdır. Dönmə bucağının ölçüsü, bir qayda kimi, bir neçə dərəcə və ya hətta bir dərəcənin paylarını təşkil edir, həm də onu əksər hallarda 1 ... 2%-dən zəif olmayan dəqiqliklə müəyyən etmək lazımdır.



Şəkil 1.3.2. Skanerin güzgüsünün sapma bucağının tutum vericisinin həssas elementinin konstruksiyası

burada 1 – skanerin bünövrəsi, 2 – torsionun üstündə skanerin güzgüsü (ümumi naqıl ilə birləşdirilib), 3 – diferensial kondensatorun lövhələri (bünövrədən və güzgüdən izolyasiya olunub).

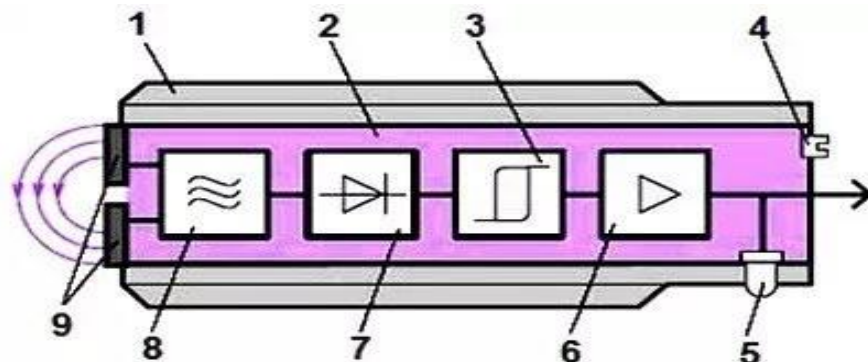
Ölçüləri dinamikada, yəni güzgünün hərəkəti zamanı keçirmək zərurəti əlavə çətinlik törədir. Skan edilmənin tezliyi bu zaman bir neçə on hersə çatır. Mexaniki və ya optik mikrometr tipli qurğular kifayət qədər dəqiqliyə malikdir, lakin hərəkət edən obyekt üzərində ölçüləri aparmaq imkanı vermir. Onlar yalnız kalibrləmə üçün istifadə edilə bilər. Həmçinin, dönmə bucağının induktiv vericiləri əsasında ölçü cihazları uyğun deyil, çünki onların kifayət qədər sabitliyi yoxdur.

Ölçülərin aparılması şərtlərinə daha çox uyğun gələn dönmə bucağının tutum vericiləridir, amma onların elektron sxemləri adətən mürəkkəb olurlar. Hazırlanmış dönmə bucağının tutum vericisi, dəqiqlik, sabitlik və ölçülərin sürəti şərtlərinin qane edilməsi zamanı sadə və mükəmməl elektron sxemə malikdir. Bundan başqa, onun ilkin çeviricisi (həssas element) skan edən qurğunun güzgüsünün hərəkətinə təsir göstərmir.

1.4. Obyektə yaxınlaşmanı ölçən tutum vericisinin analizi

Kontaktsiz tutum vericisi (TV) iki metal elektroddan hazırlanaraq onları “açılmış” aktiv səthi kondensatorun lövhələri kimi təsvir edirlər. Elektrodlar əks əlaqəli yüksək tezlikli avtogeneratorun dövrəsinə qoşulur, avtogenerator isə elə bir şəkildə köklənir ki, aktiv səthin yaxınlığında obyekt olmadıqda o, siqnal generasiya etmir. Kontaktsiz tutum vericinin aktiv səthinə obyektin yaxınlaşması zamanı o elektrik sahəsinə düşür və əks-əlaqə dövrəsi vasitəsilə tutumun qiyməti dəyişir. Generator bu təsirləri hiss etməyə başlayır və obyektin yaxınlaşması ilə təsir siqnalının amplitudası artaraq çıxış siqnalını formalaşdırır [21, 109].

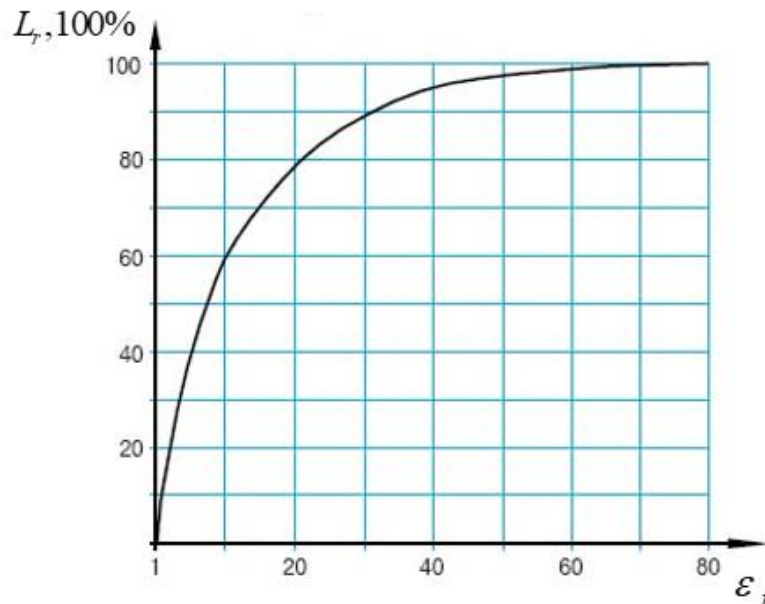
Aşağıdakı şəkildə müasir texnologiyalarla hazırlanmış kontaktsiz (şəkil 1.4.1) yaxınlaşmanı “hiss edən” və ya yaxınlaşma məsafəsini ölçən tutum vericisinin struktur sxemi təqdim olunmuşdur:



Şəkil 1.4.1. Yaxınlaşma ilə məsafə ölçən tutum vericisi

burada: 1 –vericinin gövdəsi, aktiv elementləri müxtəlif xarici təsirlərdən qoruyur. Gövdənin materialı adətən poliamid və ya bürüncdən olur, daxilində məmulatlar bərkidilir; 2 –xüsusi qətran maddə, vericinin hissələrini rütubətdən və ya digər kənar təsirlərdən qoruyur; 3 –vericinin çıxış siqnalını kommutasiya edən, lazımi qiymətini və histerezisi yaradan trigger; 4 –tıxac; 5 –ışığ diodu - kökləmənin operativliyini təmin edir, qoşulmanın vəziyyətini göstərir; 6 –gücləndirici, çıxış siqnalını tələb olunan qiymətə qədər yüksəldir; 7 –demodulyator, yüksək tezlikli rəqslərin dəyişilməsini gərginlik dəyişilməsinə modifikasiya edir; 8 –obyektə təsir etmək üçün elektrik sahəsi yaradan generator; 9 –elektrodlar, tutum vericisinin lövhələri.

Kontaktsiz tutum vericiləri həm elektrik keçirən obyektlərin, həm də dielektriklərin təsir sahəsinə daxil olması ilə işə düşür. Elektrik keçirən materiallardan olan obyektlərin təsiri zamanı, işə düşmənin real məsafəsi L_r maksimal qiymət alır, dielektrik materiallardan olan obyektlərin təsiri zamanı isə L_r məsafəsi materialının ϵ_r dielektrik nüfuzluluğundan asılı olaraq azalır. Bu asılılıq şəkl. 1.4.2-də, bəzi materialların dielektrik nüfuzluğu isə Əlavə 5-də əks olunmuşdur.



Şəkil 1.4.2. Obyektin materialının ϵ_r dielektrik nüfuzluluğunun L_r real yaxınlaşma məsafəsindən asılılığı qrafiki

Tutum vericisinin tədqiqi zamanı müxtəlif dielektrik nüfuzluğuna malik materiallardan hazırlanmış obyektlərin seçilməsində bu funksional asılılığın qrafikindən istifadə edilir. Vericinin işə düşməsinin L_n nominal və sönmələrin L_s məsafələri texniki xarakteristikalardan müəyyən olunur. Vericiyə təsirlərin qiymətlərinin zamanətli intervalları torpağa birləşdirilmiş metal obyektə ($L_r=100\%$) nəzərən təyin edilir. İşə düşmənin (L_r) real məsafəsinin müəyyən edilməsi üçün nisbət intervalı: $0,9 L_n < L_r < 1,1 L_n$ müəyyən edilmişdir [101].

Beləliklə, dissertasiya işinin birinci fəslində TV-lər tədqiqata cəlb olunmuş, onların qurulma prinsipi, tətbiqi imkanları, üstünlükləri, çatışmazlıqları, qarşıya qoyulan tələblər analiz edilmiş, böyük xətti yerdəyişmələrin ölçülməsində onların tətbiqi imkanları müəyyən edilmişdir.

Sonrakı bölmələrdə böyük xətti yerdəyişməli TV-nin alqoritmik-test üsulları bazasında işlənməsi, ÇX-nin yaxşılaşdırılması məsələləri həll edilmiş, alınmış nəticələrin adekvatlığı real sınaqlarla təsdiqlənmişdir.

Nəticə

1. Tutum vericiləri, onların qurulma prinsipləri, müasir tətbiq sahələri və onlara qoyulan tələblər analiz edilmişdir.

2. Tutum vericiləri təsnifatlaşdırılmış, parametrik tutum vericiləri qurulma prinsipinə və təyinatına görə tədqiq edilmişdir.

3. Tutum vericilərinin parametrləri, əsas xüsusiyyətləri və çevirmə xarakteristikaları analiz edilmişdir.

4. Diferensial tutum vericiləri və tətbiqi imkanları araşdırılmış, əsas üstün cəhətləri və müasir imkanları araşdırılmışdır.

Nəticə olaraq tutum vericilərinin böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün digər vericilərdən üstünlükləri qeyd olunmuş və testləşdirməklə yüksək ölçmə dəqiqliyinin imkanları vurğulanmışdır.

II FƏSİL. XƏTTİ YERDƏYİŞMƏLİ TUTUM VERİCİLƏRİNİN TƏDQIQI

2.1. Dəyişən elektrik tutumlu çeviricilərin tədqiqi

Dəyişən elektrik tutumlu ölçmə çeviriciləri əsasən qeyri-elektrik kəmiyyətləri (yerdəyişmə, səviyyə, güc, rütubət, maddənin tərkibini və s.) elektrik tutumunun dəyişməsinə çevirən çeviricilərdir və bunlar ümumi olaraq tutum çeviriciləri adlanır. Bu tip çeviricilər geniş tətbiq sahəsinə və sərbəst şəkildə müxtəlif fiziki kəmiyyətləri elektrik tutumuna çevirmə qabiliyyətinə malikdirlər. Onlar hətta digər çeviricilərin tərkibində istifadə olunurlar və bu zaman müxtəlif amillərin təsirindən onların ayrı-ayrı elementlərində yerdəyişmə yaranır. Tutum çeviricilərinin geniş tətbiq sahəsinə malik olmaları onların bir sıra əhəmiyyətli üstünlükləri ilə müəyyən edilir: yüksək həssaslıq, konstruksiyasının sadəliyi, aşağı inersiya, kiçik ölçülər və çəki, çevirici lövhələr arasında qarşılıqlı elektrik təsirinin olduqca kiçik gücə malik olması. Tutum çeviriciləri konstruksiyalarına görə elektrik kondensatorlarını təmsil edirlər. Sadə şəkildə elektrik kondensatoru elektrik yükünü özündə saxlamağa qadir olan elektrik keçirici materialdan hazırlanmış iki lövhədən ibarət olur və bu növ elektrik kondensatoru cədvəl 2.1.1-də birinci sırada təsvir edilmişdir.

Kondensatorun tutumu onun lövhələrindəki q yükünün miqdarının onların arasındakı U potensiallar fərqi ilə nisbəti ilə müəyyən edilir [6].

$$C = \frac{q}{U}, \frac{K}{V}, \quad (2.1.1)$$

Kondensatorun tutumunun qiyməti onun lövhələrinin formasından, onların bir-birinə nəzərən vəziyyətlərindən və arasındakı mühitin xüsusiyyətlərindən asılıdır. Kondensatorun lövhələri arasında yerləşən mühitin əsas xarakteristikası onun dielektrik nüfuzluğu adlanır və ε ilə işarə olunur. Kondensatorun tutumu onun lövhələri arasındakı mühitin dielektrik nüfuzluğu və lövhələri arasındakı məsafədən asılıdır:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (2.1.2)$$

burada C – elektrik kondensatorunun tutumu, S – lövhələrin qarşılıqlı əhatə sahəsi, d – lövhələr arasındakı məsafə, ε – lövhələr arasındakı nisbi dielektrik nüfuzluğu, ε_0 – dielektrik sabitidir.

Ölçülən qeyri-elektrik kəmiyyətin tutum çeviricisinin hansı parametrinə təsir etməsindən asılı olaraq, aşağıdakı fərqli cəhətlər mövcuddur:

a) lövhələr arasındakı məsafənin (d) dəyişməsinə əsaslanan tutumlu yerdəyişmə çeviriciləri;

b) lövhələrin qarşılıqlı əhatə sahəsinin (S) dəyişməsinə əsaslanan tutumlu yerdəyişmə çeviriciləri;

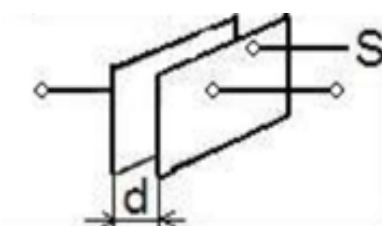
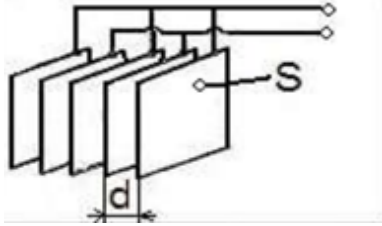
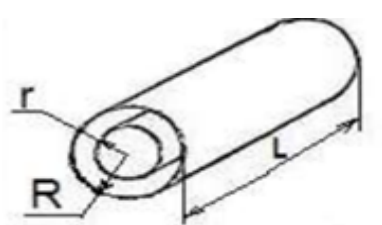
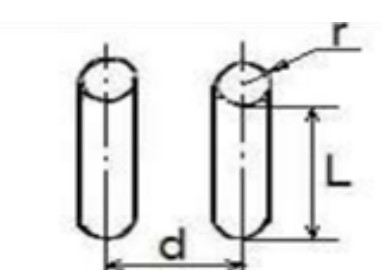
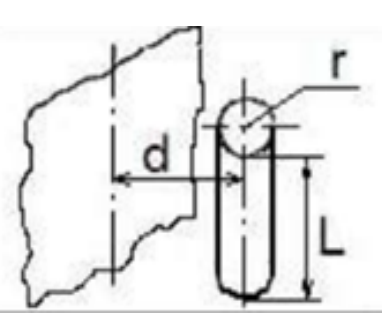
c) mühitin nisbi dielektrik nüfuzluğunun (ε) dəyişməsinə əsaslanan səviyyə, rütubət, maddənin tərkibinin və s. tutumlu ölçü çeviriciləri.

Tutum çeviricilərinin geniş çeşidli konstruktiv realizasiyasını nəzərə alaraq onların lövhələrinin fəaliyyətindən asılı olaraq, hesablamaların sadəliyini təmin etmək üçün kondensatorun həndəsi göstəricisi (λ) anlayışı daxil olunur ki, bu da kondensatorun tutumunun (C) təyini ifadələrində istifadə olunur. Məsələn, lövhələri paralel və müstəvi şəklində olan kondensatorlar üçün $\lambda = \frac{S}{d}$ şəklində olur və kondensatorun tutumu $C = \varepsilon_0 \varepsilon \lambda$ ifadəsi ilə təyin edilir. Lövhələrinin konstruksiyasına görə geniş tətbiq olunan kondensatorların həndəsi göstəriciləri cədvəl 2.1.1-də verilmişdir.

Beynəlxalq vahidlər sistemində elektrik tutumunun ölçü vahidi Farad qəbul edilir:

$$F = 1 \frac{Kl}{V} = \frac{A^2 \cdot \text{san}^4}{kq \cdot m^2}$$

Lövhələrinin konstruksiyasına görə kondensatorların həndəsi göstəricisi [70].

	Elektrodların konstruktiv sxemi	λ
1		$\frac{S}{d}$
2		$\frac{S(n-1)}{d}$ n-lövhlərin sayı
3		$\frac{2\pi L}{\ln \frac{R}{r}}$
4		$\frac{\pi L}{\ln(\frac{d}{2r} + \sqrt{\frac{d^2}{4r^2} - 1})}$ $\frac{2\pi L}{\ln \frac{d + \sqrt{d^2 - 4r^2}}{2r}}$
5		$\frac{2\pi L}{\ln(\frac{d}{r} + \sqrt{\frac{d^2}{r^2} - 1})}$ $\frac{\pi L}{\ln \frac{d + \sqrt{d^2 - 4r^2}}{r}}$

Kondensatorun tutumu mühitin dielektrik nüfuzluğu ilə düz mütənasibdir:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_0 \varepsilon, \quad (2.1.3)$$

burada ε_m – mühitin mütləq dielektrik nüfuzluğu; ε – mühitin nisbi dielektrik nüfuzluğu; ε_0 – ölçülü elektrik sabitidir, $\left[\frac{Kl}{m \cdot V}\right]$. Nisbi dielektrik nüfuzluğu (ε) müxtəlif materiallar üçün ölçüsüz kəmiyyət kimi sorğu kitablarında verilir. Elektrik sabitinin qiyməti $\varepsilon_0 = \frac{1}{\pi c^2} \cdot 10^7$ ifadəsindən tapılır:

$$\varepsilon_0 = \frac{1 \cdot 10^7}{4\pi 9 \cdot 10^{16}} = 8,84642 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]. \quad (2.1.4)$$

burada c – işığın boşluqdakı sürətidir.

Farad çox böyük kəmiyyət olduğu üçün praktiki hesabatlarda onun daha kiçik qiymətli vahidləri olan mikrofard və pikofaraddan istifadə olunur: $1 \text{ mKf} = 10^{-6} [F]$; $1 \text{ pF} = 10^{-12} [F]$.

Hesabatlarda tam qiymətlik və metr və ya sm-dən istifadə nəzərə alındığı üçün elektrik sabiti uyğun olaraq 8,85 pF/m və ya 0,0855 pF/sm qiymət alır. Tutum çeviricilərində tutumun qiyməti adətən 10 - 500 pF diapazonunda olduğu üçün onların tam qiymətli hesabatı rahat olur.

Tutum çeviriciləri bir çevirici elementli – kondensatorlu birpolyar, iki çevirici elementli – kondensatorlu diferensial və körpülü olurlar. Diferensial və ya körpülü çeviricilər olan halda bir və ya iki kondensator ya sabit tutumlu, ya da bir-biri ilə qarşılıqlı qoşulan dəyişən tutumlar ola bilər. Tutum vericiləri aşağı tutumlu olduqları üçün adətən yüksək tezlikli dəyişən cərəyan dövrlərində istifadə olunurlar. Körpü sxeminin qida tezliyi (f) yük müqaviməti (R_y) ilə müqayisə edilməklə aşağıdakı ifadə ilə hesablamaqdan alınan tutum müqavimətinin (X_C) qiymətinə görə seçilir:

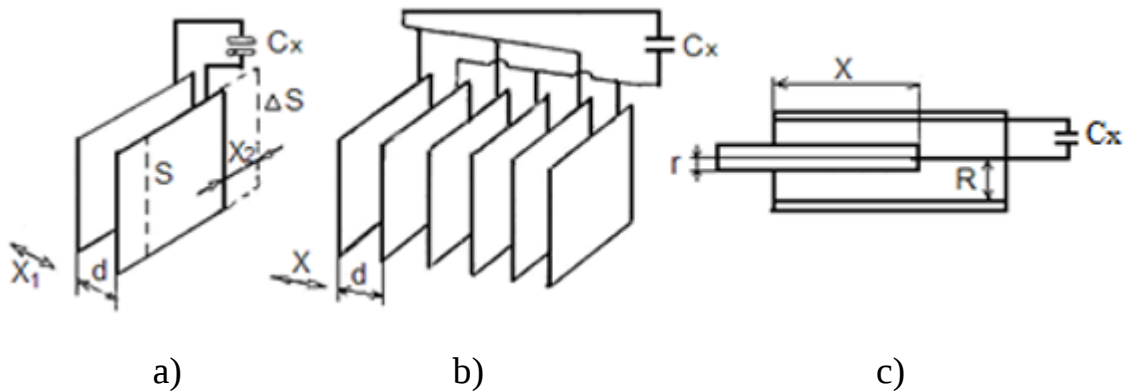
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (2.1.5)$$

Tutum çeviricilərinin lövhələri (elektrodları) istənilən elektrik keçirici materialdan hazırlanır. Elektrodların səthləri nisbi keçiriciliyi aşağı olan və dəyişən ətraf mühit amillərinə həssas olmayan nazik təbəqəli izolyasiya materialı ilə örtülür. Elektrodları örtmək üçün əsasən polietilen $\varepsilon = 2,26$ və floroplastik $\varepsilon = 2,2$ istifadə olunurlar. Ölçmə çeviricisinin tutumunu artırmaq üçün onun elektrodları arasındakı boşluq kifayət qədər yüksək nisbi dielektrik nüfuzluğuna malik və dəyişən ətraf mühit amillərinə dözümlü dielektrik maye ilə doldurulur. Adətən, bu məqsədlə metanol $\varepsilon = 32,63$ istifadə olunur.

2.2. Xətti yerdəyişməli dəyişən tutumlu çeviricilərin tədqiqi

Qeyd etdiyimiz kimi böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün tutum çeviriciləri kondensator lövhələri arasındakı məsafənin (d) və ya kondensator lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsinin (S) dəyişməsi prinsipinə əsaslanır. Ən sadə tutum yerdəyişmə çeviricisi şəkil 2.2.1.a-da verilmişdir [13].

Müstəvi elektrodlu yerdəyişmə çeviriciləri lövhələr arasındakı X_1 məsafəsinin dəyişməsi və ya lövhələrin qarşılıqlı əhatə X_2 sahəsinin dəyişməsi prinsipi əsasında işləyir. Çeviricinin tutumunu artırmaq üçün bir neçə əks yüklü lövhələrdən istifadə olunur (şəkil 2.2.1.b). Koaksial elektrodlu yerdəyişmə çeviriciləri (şəkil 2.2.1.c) xarici və daxili silindrlər arasında qarşılıqlı əhatə zonasının dəyişdirilməsi prinsipi əsasında işləyir.



Şəkil 2.2.1. Tutum yerdəyişmə çeviricisi

Yerdəyişmə çeviricilərinin elektrik tutumu aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur:

Şəkil 2.2.1.a üçün:

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d \pm x_1} \quad \text{və ya} \quad C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot (S \pm \Delta S)}{d}, \quad (2.2.1)$$

Şəkil 2.2.1.b üçün:

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S(n-1)}{d \pm x_1} \quad \text{və ya} \quad C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot (S \pm \Delta S)(n-1)}{d}, \quad (2.2.2)$$

Şəkil 2.2.1.c üçün:

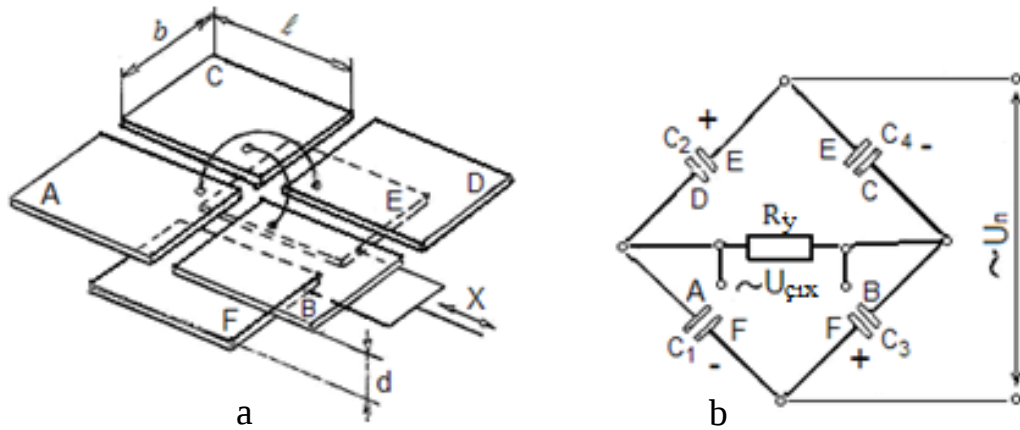
$$C_x = \frac{2\tilde{n} X}{\ln \frac{R}{r}}. \quad (2.2.3)$$

Kondensator lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsini dəyişdirmək prinsipi ilə işləyən yerdəyişmə çeviriciləri yerdəyişməli körpü tutum ölçmə çeviricilərində ən çox istifadə olunur. Çevirici (şəkil 2.2.2) d kiçik qiymətə malik qeyd edilmiş məsafədə paralel yerləşən iki qrup müstəvi elektrodan ibarətdir. Stasionar elektrodlar qrupu dörd düzbucaqlı elementdən, iki hərəkətli elektrod isə sabit elektrodlar qrupuna nisbətən ciddi şəkildə simmetrik olaraq yerləşən iki elementdən ibarətdir. Çeviricinin bütün elementləri eyni ölçülərə malikdir, uzunluğu l və eni b . Stasionar qrupun elektrodları bir-biri ilə elektrik keçidləri ilə çarpaz şəkildə bağlanır, bu da tutum körpü tipli sxemin formalaşmasını təmin edir. Qeyd edilmiş d məsafədə yerləşən iki paralel lövhə ilə formalaşmış kondensatorun tutumu, stasionar lövhənin müvafiq sahəsinin qarşısında yerləşən hərəkətli lövhənin sahəsinə mütənasibdir. Körpü sxeminin körpü qolundakı tutumun qiyməti aşağıdakı ifadədən müəyyən edilir:

$$C_n = \frac{\varepsilon_0 b}{d} \left(\frac{l}{2} \pm x \right) \quad \text{və ya} \quad C \pm \Delta C = \frac{\varepsilon_0 b \cdot l}{2d} \pm \frac{\varepsilon_0 b x}{d}. \quad (2.2.4)$$

Körpünün əks qollarının kondensatorlarının tutumları təxminən bir-birinə bərabərdir $C_2 = C_3$ və $C_1 = C_4$. Çeviricinin simmetriya müstəvisinə görə hərəkətli

lövhlərinin X istiqamətində yerdəyişməsi körpünün tarazlığının pozulmasına və körpünün diaqonalında hərəkətsiz lövhələr qrupunun simmetriya oxuna görə hərəkətli lövhələrin yerdəyişmə istiqamətindən asılı olaraq müəyyən qütblü U_{cix} çıxış signalının yaranmasına səbəb olur.



Şəkil 2.2.2. Tutum yerdəyişmə çeviricisi [70]

Qeyri-tarazlıq vəziyyətində olan körpü sxemini ölçmə sxemi kimi istifadə edərkən nəzərə almaq lazımdır ki, dəyişən cərəyan körpü sxeminin qoluna aktiv və reaktiv komponentlərdən ibarət kompleks müqavimətlər daxildir və qeyri-tarazlıq vəziyyətində olan körpünün iş şəraiti üç şərtədən biri yerinə yetirildikdə təmin edilə bilər: birincisi, körpünün bütün qolları yalnız reaktiv müqavimətə malikdir; ikincisi, körpünün qolları yalnız aktiv müqavimətə malikdir; üçüncüsü, iki qonşu qollar yalnız reaktiv müqavimətə, digər ikisi isə yalnız aktiv müqavimətə malikdir (yəni istənilən qonşu qollar). Baxdığımız halda körpünün bütün qolları yalnız reaktiv müqavimətə malikdir. Qeyri-tarazlıq vəziyyətində olan bir körpünün iş şəraitindən belə alınır:

$$U_{cix} = \frac{U_m (X_1 X_4 - X_2 X_3) \cdot R_y}{(X_1 + X_2)(X_3 + X_4) \cdot R_y + X_1 X_2 (X_3 + X_4) + X_3 X_4 (X_1 + X_2)}, \quad (2.2.5)$$

burada, $X_1 = \frac{1}{\omega C_1}$, $X_2 = \frac{1}{\omega C_2}$, $X_3 = \frac{1}{\omega C_3}$, $X_4 = \frac{1}{\omega C_4}$, uyğun tutum müqavimətləri körpü sxeminin mənbə, U_m – gərginliyi; R_y – körpünün diaqonalında yük

müqaviməti; ω – təchizat cərəyanının dairəvi tezliyi $\text{san}^{-1} = \frac{1}{2\pi \cdot f}$ və $U_{\text{çlx}}$ – yük müqavimətində düşən çıxış gərginliyidir.

$X_1 = X_4 = \frac{1}{\omega(C-\Delta C)}$ və $X_2 = X_3 = \frac{1}{\omega(C+\Delta C)}$ olduğunu fərz edib, bir sıra çevirmələrdən sonra $U_{\text{çlx}}$ ifadəsində yerinə yazsaq aşağıdakı düsturu alarıq:

$$U_{\text{çlx}} = \frac{U_m \Delta C \cdot R_y}{C \left(R_y + \frac{1}{\omega C} \right)}. \quad (2.2.6)$$

Öz növbəsində

$$\Delta C = \frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot (\pm X)}{d} \quad \text{və} \quad C = \frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot l}{2d}, \quad (2.2.7)$$

Onda tutum çeviricisinin həndəsi ölçüləri ilə ifadə olunan $U_{\text{çlx}}$ aşağıdakı formaya malik olacaq:

$$U_{\text{çlx}} = \frac{U_m \frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot (\pm X)}{d} R_y}{\frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot l}{2d} \left(R_y + \frac{1}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot b \cdot l} \right)} = \frac{U_m (\pm X) R_y}{\frac{l}{2} \left(R_y + \frac{2d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot b \cdot l} \right)}, \quad (2.2.8)$$

və ya

$$\frac{U_m (\pm X) R_y}{\frac{l}{2} R_y + X_c}, \quad \text{burada} \quad X_c = \frac{2d}{\omega \varepsilon_0 b l}. \quad (2.2.9)$$

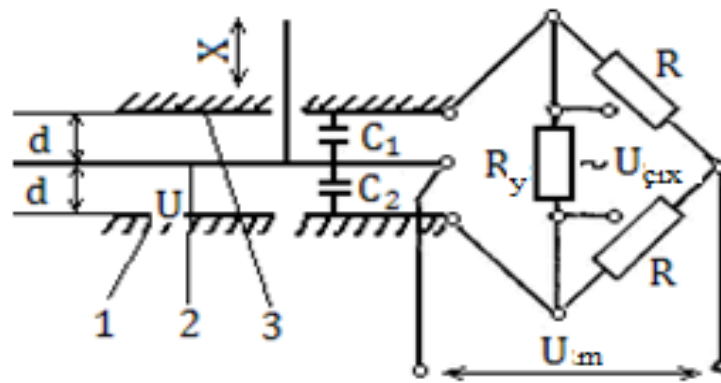
Alınan ifadə körpü sxeminə uyğun qurulmuş və kondensator lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsinin dəyişməsinə əsaslanan yerdəyişməli tutum çeviricisinin statik xarakteristikasıdır.

Belə yerdəyişməli tutum çeviriciləri təkcə müstəvi elektrodlarla deyil, həm də istənilən simmetrik konfigurasiyalarda tətbiq oluna bilərlər, nümunə olaraq bucaq yerdəyişməli tutum çeviricilərin qurulmasını və s. göstərmək olar. Körpü sxemli

yerdəyişməli tutum ölçmə çeviriciləri yüksək həssaslığa, xətti statik xarakteristikaya, küylərə qarşı yüksək davamlığa malikdir və ətraf mühit parametrlərindəki dəyişikliklərin təsirinə məruz qalmır.

Dəqiqliyi, həssaslığı artırmaq və tutum ölçmə çeviricisinin lövhələrinə təsir edən elektrostatik qüvvələrin təsirini azaltmaq üçün onların körpü sxeminə daxil edilməsi ilə diferensial tutumlu yerdəyişmə ölçmə çeviriciləri istifadə olunur.

Lövhələr arasında d məsafəsinin dəyişməsinə əsaslanan yerdəyişməli diferensial tutum ölçmə çeviricisi (şəkil 2.2.3) disk metal elektrodları 1, 2 və 3 olan müstəvi kondensatordur.



Şəkil 2.2.3. Elektrodlar arasındakı məsafənin dəyişməsinə əsaslanan diferensial yerdəyişmə tutum çeviricisi [70]

Elektrod 2 ölçmə çeviricisinin nüvəsidir, 1 və 3 elektrodları isə tərpənməz bərkidilmişdir. Elektrod 2 ölçmə çeviricisinin orta hissəsində olduqda, C_1 və C_2 tutumları bir-birinə bərabərdir. 1 və 3 elektrodlarına nəzərən 2 elektrodu X qədər yerdəyişmə etdikdə, C_1 və C_2 kondensatorlarının tutumu dəyişəcəkdir. C_1 və C_2 kondensatorları ardıcıl qoşulub və qeyri-tarazlıq vəziyyətində körpünün iki qonşu qolunda yerləşir. Qeyri-tarazlıq halında olan körpünün digər iki qolunda R müqavimətləri bir-birinə bərabər seçilir. Elektrodun 2 orta vəziyyətində körpü tarazlıq vəziyyətində olur və gərginlik 0-dır. Tutum ölçmə çeviricisinin körpü sxemi C_1 və C_2 tutumlarının yaratdığı iki reaktiv müqavimətdən və körpünün əks qollarında yerləşən iki aktiv müqavimətdən R ibarətdir.

Daha doğrusu, iki qonşu qolda yalnız reaktiv müqavimət, digər ikisində isə yalnız aktiv müqavimət var. Qeyri-tarazlıq vəziyyətindəki körpünün iş şəraitinin ifadəsindən yazıla bilər:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m(X_1 R - R X_2) \cdot R_y}{(X_1 + R)(X_2 + R) \cdot R_y + X_1 R(X_2 + R) + X_2 R(X_1 + R)}, \quad (2.2.10)$$

burada $X_1 = \frac{1}{\omega C_1}$, $X_2 = \frac{1}{\omega C_2}$.

İkinci elektrodun yerdəyişmə istiqamətindən asılı olaraq C_1 və C_2 tutumları $\frac{\varepsilon_0 S}{d \pm X}$ qiymətini ala bilər. Burada S – çeviricinin elektrodlarının sahəsi, d – elektrodlar arasındakı məsafədir.

Fərz edək ki, elektrod 2 X qədər aşağı istiqamətdə yerdəyişmə edir, onda C_1 tutumu azalacaq və $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d+X}$ bərabər olacaq. C_2 tutumu isə artacaq və $C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d-X}$ qiymət alacaq. C_1 və C_2 tutumlarının yaratdığı müqavimətlər müvafiq olaraq $X_1 = \frac{d+X}{\omega \varepsilon_0 S}$ və $X_2 = \frac{d-X}{\omega \varepsilon_0 S}$ bərabər olacaq. Müqavimətlərin qiymətini $U_{\text{çix}}$ ifadəsində yerinə yazsaq. Bir sıra çevrilmələrdən sonra diferensial tutumlu yerdəyişməli ölçmə çeviricisinin çıxış gərginliyinin çeviricinin həndəsi parametrlərindən asılılığını əldə edərik:

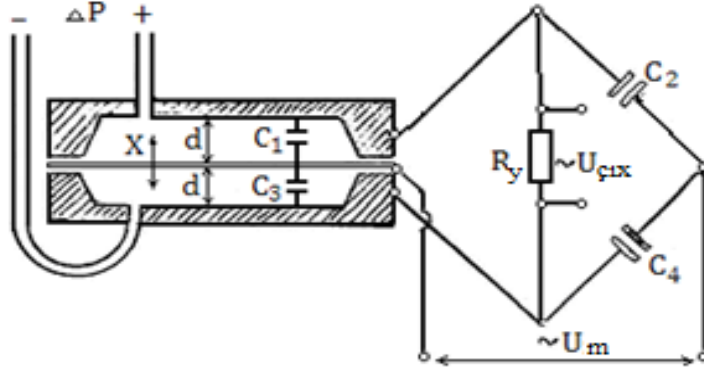
$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m 2(\pm X) \cdot R_y}{\frac{d^2 - X^2}{\omega \varepsilon_0 S} \left(\frac{R_y}{R} + 2 \right) + 2d(R_y + R) + \omega \varepsilon_0 S R_y R}. \quad (2.2.11)$$

$U_{\text{çix}}$ ifadəsində $X \ll d$ olduğunu nəzərə alsaq X^2 -in qiymətini nəzərə almamaq olar, onda çeviricinin çıxış gərginliyinin təyini üçün aşağıdakı düstur alınacaq:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m 2(\pm X) \cdot R_y}{\frac{d^2}{\omega \varepsilon_0 S} \left(\frac{R_y}{R} + 2 \right) + 2d(R_y + R) + \omega \varepsilon_0 S R_y R}, \quad (2.2.12)$$

və X yerdəyişmənin qiymətinə mütənasib olacaq. $U_{çix}$ ifadəsi diferensial tutumlu yerdəyişməli ölçmə çeviricisinin statik xarakteristikasıdır.

Təzyiq və ya təzyiq düşgüsünü ölçmək üçün yerdəyişməli diferensial tutum çeviricisi istifadə edilə bilər. Belə bir çevirici üç lövhədən ibarət olan tutum yuvası şəklində hazırlanır (şəkil 2.2.4).



Şəkil 2.2.4. Üç lövhədən ibarət tutum çeviricisi [70]

İki lövhə yuvarın gövdəsidir və orta lövhə korpusdan təcrid olunmuş çevik bir membrandır. Həlledici xüsusiyyəti artırmaq üçün yuva nisbi dielektrik nüfuzluğu $\epsilon = 32,63$ olan metanolla doldurulur.

Belə bir çeviricinin statik xarakteristikasının həndəsi parametrlərdən asılı ifadəsində körpünün əks qollarında aktiv müqavimətləri R reaktiv müqavimətlərlə $C_2 = C_4$ şərtində $X_2 = X_4 = \frac{1}{\omega C}$ və X_2 – ni $X_3 = \frac{d \cdot x}{\omega \epsilon_0 \epsilon}$ əvəz etməklə aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$U_{çix} = \frac{U_m \cdot 2 \cdot (\pm X) R_y}{\frac{d^2 - X^2}{\omega \epsilon_0 S} \omega C R_y + 2 + 2d \left(R_y + \frac{1}{\omega C} \right) + \frac{\omega \epsilon_0 S}{\omega C} R_y}, \quad (2.2.13)$$

C_2 və C_4 tutumları tutum yuvalarındakı C_1 və C_3 tutumlarına bərabər seçilərsə, onları $C_2 = C_4 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ kimi təqdim etmək olar. Onda $X_2 = X_4 = \frac{d}{\omega \epsilon_0 S}$ halda statik xarakteristikanın ifadəsi aşağıdakı asılılığa malik olacaqdır:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m \cdot 2 \cdot (\pm X) R_y}{(4d^2 - X^2) R_y + \frac{d}{\omega \varepsilon_0 S} (4d^2 - 2X^2)}, \quad (2.2.14)$$

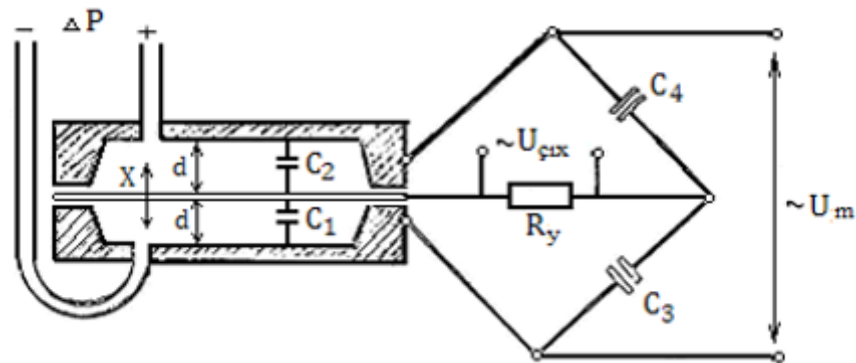
Əgər $C_2 = C_4 = n \frac{\varepsilon_0 S}{d}$, statik xarakteristikanın ifadəsi belə olacaq:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m \cdot 2 \cdot (\pm X) R_y}{\left[((n+3)d^2 - nX^2) R_y + \frac{d}{n\omega \varepsilon_0 S} [2(n+1)d^2 - 2nX^2] \right]}. \quad (2.2.15)$$

Tutum yuvaları şəklində olan yerdəyişməli diferensial tutum ölçmə çeviricisi digər sxem həllərinə və müvafiq statik xarakteristikalara malik ola bilər. Təzyiqlər fərqi ölçən tutum çeviricisinin qoşulma sxeminə (şəkil 2.2.5) uyğun olaraq onun $U_{\text{çix}}$ gərginliyi C_1 və C_2 yuva tutumlarının dəyişməsindən asılı olacaqdır:

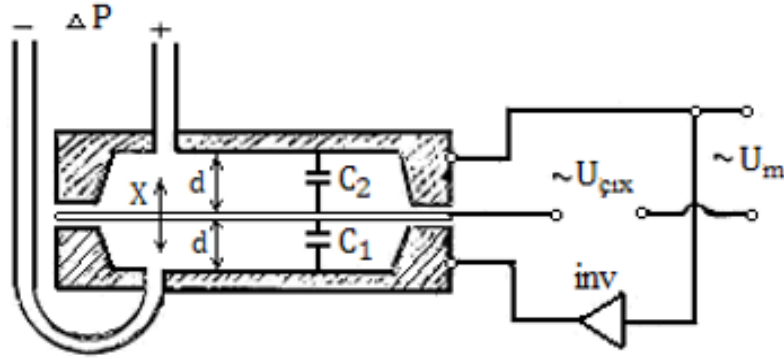
$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m \cdot (\pm X) R_y}{2dR_y + \frac{d^2 - X^2}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon S} + \frac{d}{\omega c}}, \quad (2.2.16)$$

burada $\frac{1}{\omega c} - C_3 = C_4 = C$ şərtində C_3 və C_4 kondensatorlarının yaratdığı reaktiv müqavimətlər.



Şəkil 2.2.5. Təzyiqlər fərqi ölçən tutum çeviricisinin qoşulma sxemi [70]

Şəkil 2.2.6 -da göstərilən sxemə uyğun olaraq təzyiq fərqi ölçən tutum ölçmə çeviricisini həyata keçirərkən, iki kənar lövhəyə eyni amplituda U_0 , lakin 180° faza fərqiə malik sinusoidal gərginlik verilir.



Şəkil 2.2.6. Təzyiqlər fərqi ölçən tutum çeviricisinin qoşulma sxemi [70]

Üst lövhə qida mənbəyinə birbaşa, alt lövhə isə qida gərginliyinin fazasını 180° dərəcə dəyişən inversləyici "inv" vasitəsilə birləşdirilir. Təzyiq düşməsi olmadıqda və $C_1 = C_2$ şərtində C_1 və C_2 kondensatorlarından keçən cərəyanlar qarşılıqlı kompensasiya edilir və mərkəzi lövhədən götürülən çıxış gərginliyi praktiki olaraq 0-a bərabər olacaqdır. Təzyiq fərqi, C_1 və C_2 tutumları dəyişdikdə, mərkəzi lövhədəki gərginlik membranın X yerdəyişmə qiymətinə mütənasib olaraq dəyişəcək və faza yerdəyişmə istiqamətinə uyğun olacaq. Çeviricinin çıxış siqnalının amplitudu təzyiq düşgüsünü ölçən tutum ölçmə çeviricisinin statik xarakteristikasıdır. Çıxış siqnalının amplitudası aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir [70]:

$$U_{cix} = U_0 \left(-\frac{X}{d+X} + \frac{\Delta C}{C} \right), \quad (2.2.17)$$

burada $\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d-X} - \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d+X} = \frac{2\epsilon_0 \epsilon SX}{d^2 - X^2}$,

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{2d} \text{ - yuvanın tutumudur.}$$

ΔC və C ifadələrini U_{cix} asılılığında yerinə yazıb bəzi çevirmələr apardıqdan sonra aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$U_{\text{çix}} = U_0 \left(\frac{3dX + X^2}{d^2 - X^2} \right). \quad (2.2.18)$$

$X \ll d$ olduğunu nəzərə alaraq, $U_{\text{çix}}$ ifadəsindəki X^2 qiymətləri praktiki ölçmələrdə kifayət qədər dəqiqliklə nəzərə alınə bilər, onda $U_{\text{çix}} = U_0 \left(\frac{3X}{d} \right)$, yəni, çıxış signalının amplitudası yalnız membranın X yerdəyişməsindən asılıdır.

Müstəvi lövhəli kondensator şəklində dəyişən elektrik tutumlu yerdəyişməli ölçmə çeviricilərini layihələndirərkən, kondensator lövhələrinin cazibə qüvvəsini kompensasiya edən çeviricinin qəbul edən (hərəkət edən) orqanına verilən gücün böyüklüyünü nəzərə almaq lazımdır. Kondensator lövhələrinin cazibə qüvvəsinin qiyməti aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir:

$$F = \frac{U^2}{2} \cdot \frac{\Delta C}{d \pm X}, \quad (2.2.19)$$

burada d – kondensator lövhələri arasındakı başlanğıc məsafə, X – kondensatorun hərəkətli lövhələrinin yerdəyişmə qiymətidir.

2.3. Səviyyə və rütubət tutum çeviricilərinin tədqiqi

Kondensatorun elektrodları arasında hər hansı bir maddə olduqda, eləcə də kondensatorun izolyasiya edilmiş elektrodları arasında keçirici maddə olduqda onun tutumu bu maddənin dielektrik nüfuzluğu əmsalı (ε) qədər artır. Kondensatorun tutumunun artması elektrodlar arasında yerləşdirilən maddənin molekullarının polyarizasiya effekti ilə izah olunur. Bəzi maddələrin molekulları daimi dipol momentinə malikdirlər, məsələn, suyu nümunə göstərə bilərik. Dipol momentinə malik olmayan maddənin molekulları xarici elektrik sahəsinin təsiri altına düşdükdən sonra polyarlaşır. Belə polyarlaşma induksiyalanmış adlanır və polyarlaşma prosesi zamanı hər bir dipol xarici elektrik sahəsinə qarşı yönəlmiş öz elektrik sahəsinə yaradır. Kondensatorun içərisində yaranan sahə elektrodlar arasında maddə olmayan bir kondensatorla müqayisədə daha zəif olur və kondensatorda gərginliyin ε qədər azalmasına səbəb olur [6]. Əksər maddələr üçün nisbi dielektrik nüfuzluğu - ε sabit

qiymətə malikdir. Bəzi maddələr üçün bu, ətraf mühit faktorlarındakı dəyişikliklərdən və qidalandırıcı cərəyanının tezliyindən asılı olaraq dəyişə bilər. Məsələn, suyun nisbi dielektrik nüfuzluğu temperaturdan asılıdır (şəkil 2.3.1). Bu da maddənin rütubətini ölçmək üçün dəyişən tutumlu ölçmə çeviricilərindən istifadə edərkən nəzərə alınmalı və kompensasiya elementi kimi temperatur ölçmə çeviricilərinin konstruksiyasına daxil edilməlidir.

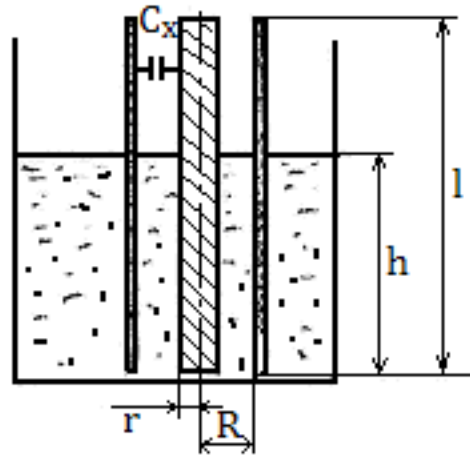
Elektrodlar arasında müəyyən nisbi dielektrik nüfuzluğu ε olan bir maddənin miqdarının dəyişməsi səbəbindən kondensatorun tutumunun dəyişdirilməsi prinsipinə əsaslanan maye və dənəvər cisimlərin səviyyəsini ölçən tutum ölçmə çeviriciləri qurulur. Onlar biriçlikli kondensator, qabın yuxarı divarının səthini ikinci elektrod kimi istifadə edən təkçilikli kondensator və koaksial kondensator əsasında hazırlana bilər. Belə çeviricilərin elektrodlarının səthləri nisbi dielektrik nüfuzluğu aşağı olan və ətraf mühitin dəyişən faktorlarına məruz qalmayan nazik izolyasiya materialı ilə örtülür. Bu materiallar, nisbi dielektrik nüfuzluğu $\varepsilon = 2,26$ olan polietilen və $\varepsilon = 2,2$ olan ftoroplastdır.



Şəkil 2.3.1. Suyun nisbi dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığı

Maye mühit üçün səviyyəni ölçən tutum çeviricisi biri digərinə nisbətən koaksial olaraq yerləşdirilən və səviyyəsi ölçülən maye ilə doldurulmuş bir qabda yerləşdirilən

iki silindr şəklində hazırlanır (şəkil 2.3.2).



Şəkil 2.3.2. Maye mühit üçün səviyyəni ölçən tutum çeviricisi

Mayenin h səviyyəsi artdıqca, maye koaksial silindrlər arasında getdikcə daha böyük bir həcmi doldurur və bu zaman çeviricinin tutumu dəyişir. Burada, maye səviyyəsini ölçən çeviricinin ümumi tutumu bir hissəsi sərbəst halda olan çeviricinin tutumu - C_{l-h} , digər hissəsi isə maye ilə doldurulmuş çeviricinin tutumunun - C_h cəminə bərabər olacaqdır:

$$C_x = C_h + C_{l-h}, \quad (2.3.1)$$

C_h səviyyəsi ölçülən mayenin nisbi dielektrik nüfuzluğu ϵ_m ilə, C_{l-h} isə vahidə bərabər olan havanın nisbi dielektrik nüfuzluğu ϵ_h ilə və ya buxarların nisbi dielektrik nüfuzluğuna bərabər alınan ölçülən mayenin havanın nisbi dielektrik nüfuzluğundan əhəmiyyətli dərəcədə fərqi olduqda müəyyən edilir. Koaksial kondensatorlar üçün həndəsi faktor kimi λ -dan istifadə etdikdə aşağıdakı düstur alınır:

$$\begin{aligned} C_x &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_m \cdot h}{\ln \frac{R}{r}} + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_h \cdot (l-h)}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{R}{r}} (\epsilon_m h + \epsilon_h l - \epsilon_h h) = \\ &= \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{R}{r}} [\epsilon_h l + h(\epsilon_m - \epsilon_h)]. \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

burada r - daxili silindrin xarici radiusu;

R - xarici silindrin daxili radiusu;

C_x - asılılığı koaksial tipli tutum çeviricisinin statik xarakteristikasıdır.

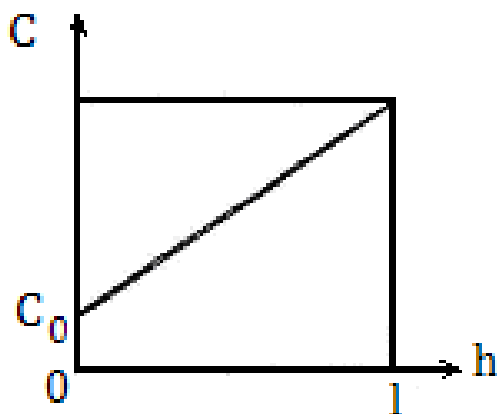
Qabda maye l olmadıqda, ölçmə çeviricisinin tutumu aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$C_0 = \frac{2\tilde{n}\varepsilon_0\varepsilon_h \cdot l}{\ln \frac{R}{r}}, \quad (2.3.3)$$

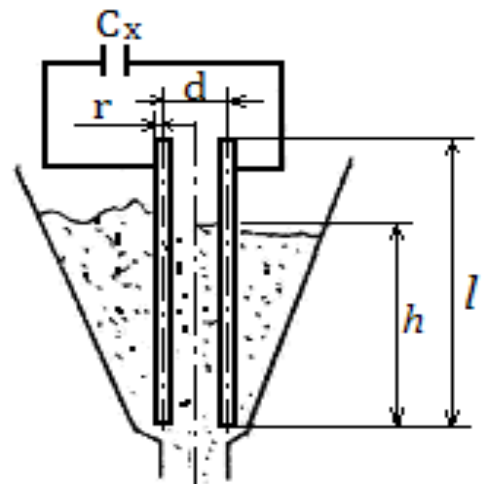
Çəndə maye səviyyəsi yarandıqda çeviricisinin C_x tutumu mayenin h səviyyəsinin dəyişməsinə mütənasib olaraq dəyişəcəkdir (şəkil 2.3.3) və bu dəyişmə aşağıdakı düsturla təyin olunacaqdır:

$$C_x = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon_m - \varepsilon_h) \cdot h}{\ln \frac{R}{r}}. \quad (2.3.4)$$

Dənəvər cisimlər üçün səviyyə ölçən tutum çeviriciləri iki içlikli kondensator şəklində hazırlanır (şəkil 2.3.4) və iki içlikli kondensator üçün həndəsi faktor λ istifadə edərək C_x aşağıdakı düsturla təyin olunacaqdır:



Şəkil 2.3.3. Çəndə maye səviyyəsinin çeviricinin tutumundan asılılığı qrafiki



Şəkil 2.3.4. Dənəvər cisimlər üçün tutum çeviricili səviyyə ölçən

İki içlikli kondensator üçün həndəsi faktor λ istifadə edərək, əldə edirik:

$$C_x = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon_m - \varepsilon_h) \cdot h}{\ln \frac{d + \sqrt{d^2 - 4r^2}}{2r}}, \quad (2.3.5)$$

burada C_0 –dənəvər material olmadıqda çeviricinin ilkin tutumu olub aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$C_0 = \frac{\pi\varepsilon_0\varepsilon_h \cdot l}{\ln \frac{d + \sqrt{d^2 - 4r^2}}{2r}}, \quad (2.3.6)$$

burada ε_d – dənəvər materialın nisbi dielektrik nüfuzluğu, d – elektrodlar arasındakı məsafə, r – elektrodun radiusudur.

Dənəvər cisimlərin səviyyəsini tutum ölçmə çeviriciləri ilə ölçərkən bəzən (onların nəmliyinin səviyyənin ölçülməsinin düzgünlüyünə təsir edən müəyyən hədd daxilində dəyişməsi halında) kompensasiya elementi kimi nəmlik ölçən tutum ölçmə çeviricilərinin nəzərə alınması zəruri olur. İki içlikli tutum ölçmə çeviricisinin statik xarakteristikası koaksial ölçmə çeviricisinə bənzəyir. Səviyyə ölçən biriçlikli tutum çeviriciləri (Əlavə 4, şəkil 2.3.5) maye və dənəvər cisimlərin səviyyəsini ölçmək üçün istifadə edilə bilər. Çeviricinin içliyi ftoroplast plynka ilə izolyasiya edilmişdir. Biriçlikli kondensator üçün həndəsi faktor λ istifadə edərək, əldə edirik:

$$C_x = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon_m - \varepsilon_h) \cdot h}{\ln \frac{d + \sqrt{d^2 - r^2}}{2r}}, \quad (2.3.7)$$

burada C_0 – maye olmadıqda çeviricinin tutumudur və aşağıdakına bərabərdir:

$$C_0 = \frac{\pi\varepsilon_0\varepsilon_h \cdot l}{\ln \frac{d + \sqrt{d^2 - r^2}}{r}}; \quad (2.3.8)$$

burada d – qabın divarı və elektrodlar arasındakı məsafə, r – elektrodun radiusu.

Biriçlikli çeviricilər 10-20 metrlik maddə səviyyələri olan böyük qablarda səviyyəni ölçmək üçün istifadə olunur. Bu çeviricilər, elektrodun qabın divarına paralel olaraq dartılması üçün, aşağı ucuna yük asılmış elastik elektrodla yerinə yetirilir.

Dəyişən elektrik tutumlu çeviriciləri materialların qalınlığını və nəmliyini ölçmək üçün geniş istifadə olunurlar. Tutum çeviricisi 1 və 2 lövhələrə malik kondensatordan ibarətdir (Əlavə 4, şəkil 2.3.6) və bu lövhələr arasından qalınlığı və ya nəmliyi ölçülən lent materialı keçir. Lent materiallarının qalınlığının tutum çeviricisi ilə ölçülməsi kiçik hiqroskopik materiallar üçün tətbiq edilir.

Tutum çeviricisi ilə nəmliyin ölçülməsi lent materiallarının və dənəvər materialların nəmliyini ölçmək üçün tətbiq olunur. Sonuncu halda, çeviricinin lövhələri lentin altında və üstündə yerləşdirilir. Belə bir çeviricinin elektrik tutumu qalınlığı və ya nəmliyi ölçülən mövcud C_x materialın tutumu, hava boşluğunun tutumu C_h və dənəvər materialların nəmliyini ölçərkən daşıyıcı tərəfindən yaranan C_d tutum ilə müəyyən edilir.

Çox qatlı dielektrikə malik kondensatorun tutumu aşağıdakı asılılıqdan müəyyən edilir:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \dots + \frac{d_n}{\varepsilon_n}}, \quad (2.3.9)$$

burada S – kondensatorun lövhələrinin sahəsi, $d_1, \dots, d_n$ – dielektriklərin qalınlığı, $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ – nisbi dielektrik nüfuzluğudur.

Lent materialının qalınlığının ölçülməsi halı üçün: $d_1 = X$, $\varepsilon_1 = \varepsilon_x$, $d_2 = d - X$, $\varepsilon_2 = \varepsilon_h$.

ε_h -1 vahid qəbul etsək, çeviricinin tutumu aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{X}{\varepsilon_0} + (d + X)} \quad \text{və ya} \quad C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_x S}{\varepsilon_x (d - X) + X}. \quad (2.3.10)$$

Alınan ifadədən göründüyü kimi $(d - X)$ qiyməti nə qədər kiçik olarsa, materialın X qalınlığının ölçülməsi bir o qədər dəqiq olar. Bəzi hallarda tutum çeviricisinin 1 lövhəsi izolyasiya edən nazik ftoroplastik plyonka ilə örtülür və bir qədər yaylı hazırlanır. Bu halda $(d - X) = 0$ və tutumun ifadəsi aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_x S}{X}. \quad (2.3.11)$$

Yəni, çeviricinin tutumu materialın qalınlığı ilə tərs mütənasibdir.

Materialların nəmliyini ölçən tutum ölçmə çeviricilərində materialın növündən asılı olaraq müxtəlif konstruksiyalar istifadə edilə bilər. Məsələn, lent materiallarının nəmliyini ölçmək üçün, tutum ölçmə çeviricisinin həlletmə qabiliyyətini artırmaq üçün tutum daraqları adlanan (Əlavə 4, şəkil 2.3.7) çeviricidən istifadə edilə bilər. Belə bir çevirici aşağı nisbi dielektrik nüfuzluğuna malik izolyasiya materialı ilə bir-birindən izolyasiya edilmiş elektrik keçirici materialından olan bir cərgə nazik lövhələrdən ibarətdir.

Dənəvər materialların nəmliyini ölçmək üçün kənar effektin təsirini istisna edən, əlavə lövhələri olan koaksial tipli tutum çeviriciləri daha geniş yayılmışdır (Əlavə 4, şəkil 2.3.8). Bu növ çevirici daxili silindrik 1 elektrodundan, xarici silindrik 2 elektrodundan və bu elektrod ilə eyni potensiala malik olan, lakin C_x tutumunun ölçmə dövrəsinə daxil edilməyən qoruyucu 3 və 4 elektrodlarından ibarətdir.

Yüksək həssaslıq əldə etmək üçün rezonans kontur dövrəsinə nəmlik ölçən tutum çeviricisi daxil edilir (Əlavə 4, şəkil 2.3.9).

Yüksək tezlikli generator G dolaqda L_k rezonans tezliyinin rəqslərini induksiya edir və rəqs konturunda U_r rezonans gərginliyi əmələ gəlir. Rezonans vəziyyətində rəqs konturunun f_r tezliyini tənzimləmək üçün tənzimləyici C_r kondensatoru daxil edilir. Rəqs konturunun rezonans tezliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_r + C_0 + C_x)}}, \quad (2.3.12)$$

burada C_0 – quru materialrın nəmliyinin ölçülməsi zamanı çeviricinin tutumu,

C_x – nəm materialrın nəmliyinin ölçülməsi zamanı çeviricinin tutumudur.

Rəqs konturunun parametrləri, eləcə də rezonans tezliyi f_r elə seçilir ki, çeviricinin C_0 tutumu $\frac{1}{2} U_r$ hədd daxilində rezonans əyrisinin ənən qollarından birinə düşsün. Bu halda, rezonans konturundan götürülən U_k gərginliyi təxminən rezonans gərginliyinin yarısına bərabər olacaqdır. Materialın nəmliyi və müvafiq olaraq çeviricinin C_x tutumu dəyişdikdə, U_k konturunun çıxış gərginliyi dəyişəcək. Rezonans əyrisinin sol qolunu seçərkən, C_x artımı ilə çıxış gərginliyi artacaq və əksinə azalma ilə azalacaq. Materialın nəmliyinin və müvafiq olaraq çeviricinin tutumunun kiçik bir dəyişməsi çeviricinin çıxışında gərginliyin kəskin artmasına və ya azalmasına səbəb olur. Bununla çeviricinin 0,001%-ə qədər yüksək həssaslığı təmin edilir [70].

Havanın nisbi rütubətini ölçmək üçün nəmlik ölçən tutum çeviricisindən istifadə edilə bilər. Havanın nisbi rütubəti φ atmosferdəki su buxarının miqdarından asılıdır. Kondensator lövhələri arasında həssaslığı artırmaq üçün bu cür çeviricilər hiqroskopik polimer plyonkaya malikdir və lövhələrin özləri isə plyonkanın hava ilə düzgün təması təmin etmək üçün perforasiya ilə hazırlanır.

2.4. Tutum vericisinin funksional sxeminin qurulma prinsipi

İlkin ölçmə cihazı $x(t)$ giriş siqnalının $y(t)$ çıxış siqnalına çevrilməsini həyata keçirir [7,9,11,15-18]:

$$y = F[x(t)], \quad (2.4.1)$$

burada $x(t)$ və $y(t)$ – vektor kəmiyyətlərdir; $F(x)$ – çevrilmənin tələb olunan funksiyasıdır.

(2.4.1) funksiyasını, giriş informasiyasının çıxış informasiyasına çevrilməsini həyata keçirən cihazın modeli kimi nəzərdən keçirmək olar. Daha ümumi ifadə ilə desək, cihaz, $x \in X$ girişdə siqnallar çoxluğunun, $y \in Y$ çıxışda siqnallar çoxluğuna

təsvir edilməsi əməliyyatını həyata keçirir, bu zaman, qeyd edilən təsvir birqiymətli olmalıdır. Real cihazlarda çevrilmə funksiyası təkcə $x(t)$ signalından deyil, həmçinin də, $x(t)$ signalının $h(t)$ signalına müdaxiləsindən, $q(t)$ cihazın parametrlərinə təsir edən $g(t)$ -in müdaxiləsindən, $n(t)$ cihazın hazırlanma texnologiyasının qeyri-dəqiqliyindən və cihazın özündə yaranan $v(t)$ səs-küydən (sürtünmə, parazit EQ – elektron hərəkət qüvvəsi və s.), yəni,

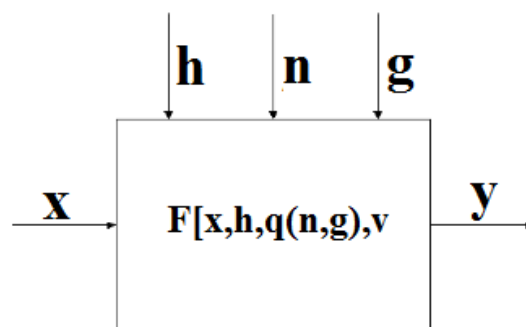
$$y(t) = F[x, h, q(g, n), v] \quad (2.4.2)$$

burada x, h, q, g, n, v - vektorlardır.

Şəkil 2.4.1-də (2.4.2) asılılığını əks etdirən funksional sxem göstərilir.

$x(t)$ faydalı signalı ilə ölçülən kəmiyyətlər mayelərin təzyiqi, temperaturu, miqdarı və xərci, xətti və bucaq ölçüləri, məsafələr, sürətlər, sürətlənmələr, deformasiyalar, gərginliklər, vibrasiyalar, daxili çatlar, materiallarda qeyri-həmcinslik və s. kimi ilkin informasiya parametrləridir. Zərərli müdaxilələrə aşırı yüklənmələr, vibrasiyalar, elektrik və maqnit sahələri, ətraf mühitin idarə olunmayan temperatur, təzyiq, rütubət variasiyaları və s. aiddir. Bütün bu müdaxilələr cihazların göstəricilərinə xətlər yetirir.

Cihaz, yolverilən xətlərlə birlikdə ölçülə bilən kəmiyyətləri yerinə yetirməlidir. Bu zaman “yerinə yetirilmə” sözü bu təsvirdə “əks etdirilmə” sözünə ekvivalent olaraq, ən geniş mənada başa düşülür [1,5]:



Şəkil 2.4.1. Cihazın funksional sxemi

Yəni ilkin ölçmə cihazının (İÖC):

- çıxışında, giriş kəmiyyətlərinə mütənasib olan kəmiyyətlərin əldə edilməsi;
- verilmiş funksiyaların giriş kəmiyyətlərindən formalaşması (kvadratik və loqarifmik şkalalar və s.);
- giriş kəmiyyətlərindən törəmələrin və integralların əldə edilməsi;
- çıxışda, giriş informasiyanın xüsusiyyətlərini əks etdirən, səsli və ya vizual obrazların formalaşması;
- nəzarətin idarə edilməsi üçün istifadə olunan idarəedici siqnalların formalaşması;
- çıxış siqnallarının yadda saxlanılması və qeydiyyatı.

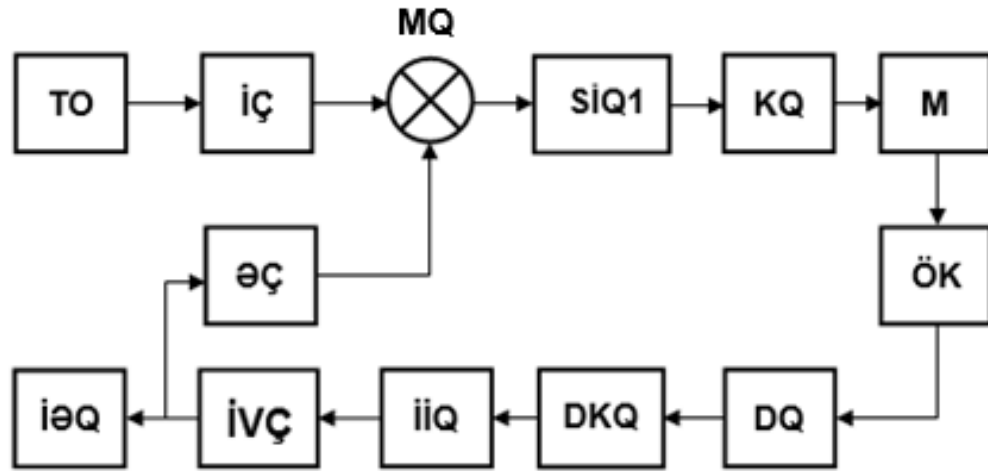
Nəzarət edilən obyektədən əldə edilən ölçülən siqnal, hər hansı enerji növünün impulsu şəklində ölçü cihazına ötürülür. Siqnallar haqqında belə demək olar: ilkin siqnallar – bilavasitə nəzarət olunan prosesi xarakterizə edir; cihazın həssas elementi tərəfindən qəbul edilir; ölçü sxeminə ötürülür və s. İnformasiyanın, nəzarət olunan obyektədən cihazın göstəricisinə ötürülən zaman, siqnallar səviyyə və spektrdə bir sıra dəyişikliklərə məruz qalırlar və bir enerji növündən digər enerji növünə çevrilirlər.

Belə bir çevrilmədə zərurət bununla bağlıdır ki, ilkin siqnallar ötürülmə, işlənmə, sonradan çevrilmə və yerinə yetirilmə üçün hər zaman rahat olmur. Məsələn, həssas elementi nəzarət edilən mühitə yerləşdirilən cihazla temperaturun ölçülməsi zamanı, qəbul edilən istilik axınını ötürmək, xüsusən də cihazın göstəricisində onu yerinə yetirmək çətindir. Bu xüsusiyyətə demək olar ki, ilkin informasiyanın bütün siqnalları malikdir, buna görə də, həssas elementlər tərəfindən qəbul edilən siqnallar, demək olar ki, həmişə universal olan elektrik siqnallara çevrilirlər.

Cihazın, ilkin siqnalın, məsələn ilkin siqnala çevrildiyi hissəsi, ilkin çevirici adlandırılır.

Şəkil 2.4.2-də cihazın funksional sxemi göstərilmişdir, burada TO -tədqiq olunan obyekt; İÇ -ilkin çevirici; MQ -müqayisə qurğusu; SİQ -siqnalların işlənməsi qurğusu; KQ -kodlaşdırıcı qurğu; M -modulyator; ÖK -ötürmə kanalı; DQ – detektəlmə qurğusu; DKQ -dekodlaşdırma qurğusu; İİQ -xətalərin funksional çevrilməsini, korreksiyasını, çevrilmə funksiyasının formalaşdırılmasını (1) və s.

təmin edən informasiyanın işlənməsi qurğusu; İƏQ –informasiya əksətdirmə qurğusu; ƏÇ -əks çevirici; İVÇ -informasiya verən çevirici.



Şəkil 2.4.2 Cihazın funksional sxemi

Çox vaxt bu çevirici həssas elementlə birləşdirilir. İlk çeviricinin çıxışından siqnallar ölçü cihazının növbəti çeviricilərinə daxil olunur. Buradan siqnalların işlənməsi qurğusu xətlərin seleksiyası, gücləndirilməsi, korreksiyası, filtrasiyası və s. yerinə yetirilir. Əks çevirici (ƏÇ) və informasiya verən çeviricidən (İVÇ) siqnallar müqayisə qurğusuna (MQ) daxil olur. Bu sxem ümumdür və daha sadə cihazlarda olmayan bir sıra elementləri əhatə edir.

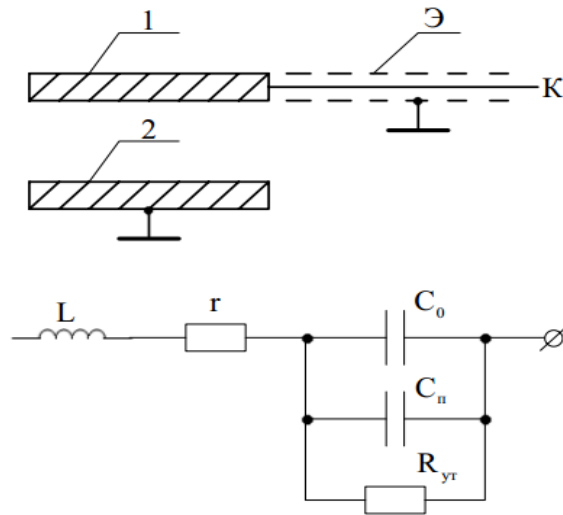
2.5. Tutum vericilərinin çevirmə sxemlərinin qurulma prinsipi

Ən sadə tutum çeviricisinin tərkibində, dielektrik nüfuzluğu ε ilə mühitdə d məsafədə paralel şəkildə yerləşən sahəsi S olan iki elektrod vardır. Elektrik tərəfindən çevirici lövhələr arasında gərginlik U , yük $q=CU$ ilə xarakterizə olunur, burada C – cərəyan $I = \frac{dq}{dt}$, elektrik sahəsinin enerjisi $W_e = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2}$ olmaqla, lövhələrin müstəvi paralel yerləşməsi $C = \varepsilon \frac{S}{d}$ -a bərabər olan (kənardan olan effektlər nəzərə alınmır) tutumdur [6].

Çox vaxt, tutum çeviricisinin çıxış kəmiyyəti, boşluğu və ya sahəni dəyişən

mexaniki yerdəyişmə ilə bağlı olan və yaxud temperatur və ya dielektrikin tərkibinin dəyişməsinin təsiri altında dielektrik nüfuzluğun ε dəyişməsi ilə bağlı tutum dəyişməsidir.

Tutum çeviriciləri, ω aparıcı tezliyin dəyişən cərəyanında işləyir ki, bu tezlik, ölçülən kəmiyyəin təsiri altında tutum dəyişməsinin Ω ən böyük tezliyindən xeyli üstün olmalıdır. Tutum çeviricisinin tam sxemi şəkil 2.5.1-də təsvir edilib [3].



Şəkil 2.5.1 Tutum çeviricisinin ekvivalent sxemi

Bu ekvivalent sxemdə 1 və 2 elektrodlar arasında C_0 tutum, elektrodlar arasında izolyasiyanın R_{ym} müqaviməti, müqavimət r və kabelin induktivliyi L , həmçinin, elektrodlar və konstruksiyanın torpaqlanmış detalları ilə K kabelin damarı və onun torpaqlanmış elektrodu E arasında C_n parazit tutumu nəzərə alınır.

Sxemin ayrı-ayrı elementlərinin təsiri konkret hallardan asılı olaraq nəzərə alınır. Belə ki, aşağı tezlikdə işləmə zamanı kondensatorun müqaviməti çox böyükdür və girişin induktivliyinin təsiri və müqaviməti əks olunmur. Yüksək tezliklərdə işləmə zamanı, kondensatorun müqaviməti düşür və girişin induktivliyi və müqaviməti böyük rol oynamağa başlayır, lakin sızmanın müqavimətinin şuntlaşdırıcı təsiri artıq ifadə olunmur.

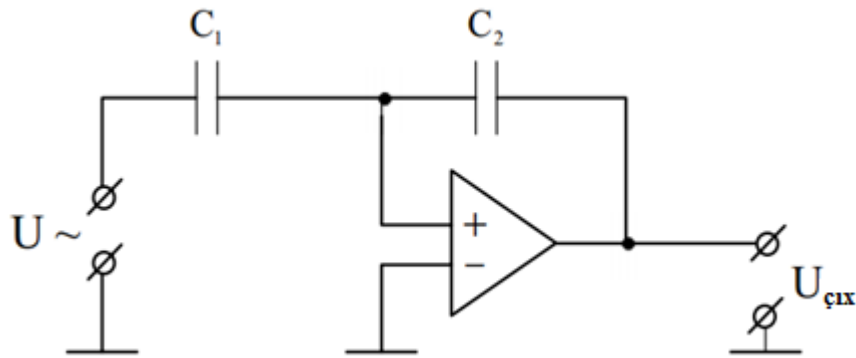
Əksər çeviricilərin tutumu $10 - 100$ pF təşkil edir və bu səbəbdən də hətta qidalanma gərginliyinin nisbətən yüksək tezlikləri zamanı ($10^5 - 10^7$ Hz) onların çıxış

müqavimətləri böyük və bərabərdir.

Tutum çeviricilərini iş prosesində tətbiq edərkən, müxtəlif strukturlar daxil edilən (gərginlik bölücüləri, ölçü körpüləri, tutum-diod dövrələri, rezonans konturlar) ölçü dövrələri istifadə edilir.

Çox hallarda ölçü dövrələrin tərkibinə həmçinin əməliyyat gücləndiriciləri (ƏG) də daxil edilir.

Şəkil 2.5.2-də gərginlik bölücüsü prinsipi üzrə qurulmuş ƏG ilə dövrənin sxemi təsvir edilmişdir [3].



Şəkil 2.5.2. ƏG ilə tutum çeviricisi üçün ölçü sxemi

Bu halda,

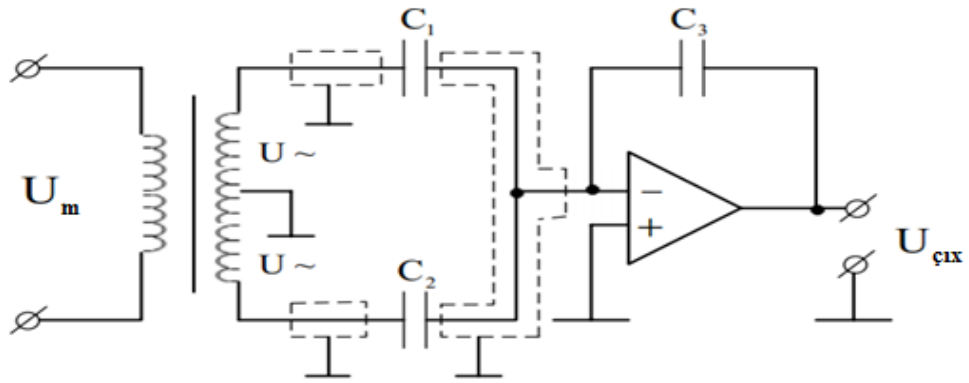
$$U_{cix} = U \frac{C_1}{C_2}; \quad (2.5.1)$$

Gördüyümüz kimi, belə bir dövrənin köməyi ilə, C_2 kondensatorun köynəkləri arasında boşluğun dəyişməsinə və ya C_1 kondensatorun sahəsinin dəyişməsinə gərginliyinə çevirmək rahatdır. Hər iki halda çıxış gərginliyinin ölçülən kəmiyyətdən asılılığı xətti olacaq.

Diferensial tutum çeviriciləri əsasən körpü ölçü dövrələrə qoşulur. Şəkil 2.5.3-də tərkibində, induktiv-bağlı cinaqlı körpü olan dövrənin misalı gətirilib. Bu sxemdə, körpünün çıxış siqnalı ƏG invertor girişinə qoşulub [3].

Bir halda ki, gücləndiricinin invertor girişində potensial sıfıra çox yaxındır, o zaman bu girişə birləşdirilmiş naqıl ilə onu əhatə edən ekran arasındakı cərəyan

praktiki olaraq sifıra bərabər olacaq.



Şəkil 2.5.3. Diferensial tutum çeviricisi üçün körpü ölçü sxemi

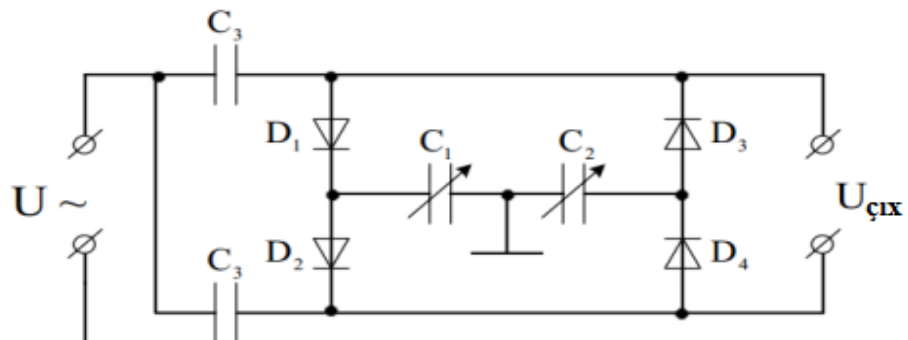
Bu dövrə üçün,

$$U_{cix} = U \frac{C_1 + C_2}{C_3}; \quad (2.5.2)$$

nisbəti doğrudur.

Yuxarıda göstərilən sxemdə tutum çeviricisinin lövhələri korpusdan izolyasiya edilib ki, bunu da konstruktiv şəkildə reallaşdırmaq bəzən çətin olur. Lövhələrdən birinin torpaqlanması zamanı, yaxşı olardı ki, ölçü dövrəsinin elementləri verici ilə bir korpusda yerləşdirilsin.

Şəkil 2.5.4-də diferensial vericinin torpaqlanmış lövhə ilə tutum-diod ölçü dövrəsi təqdim edilib [3].



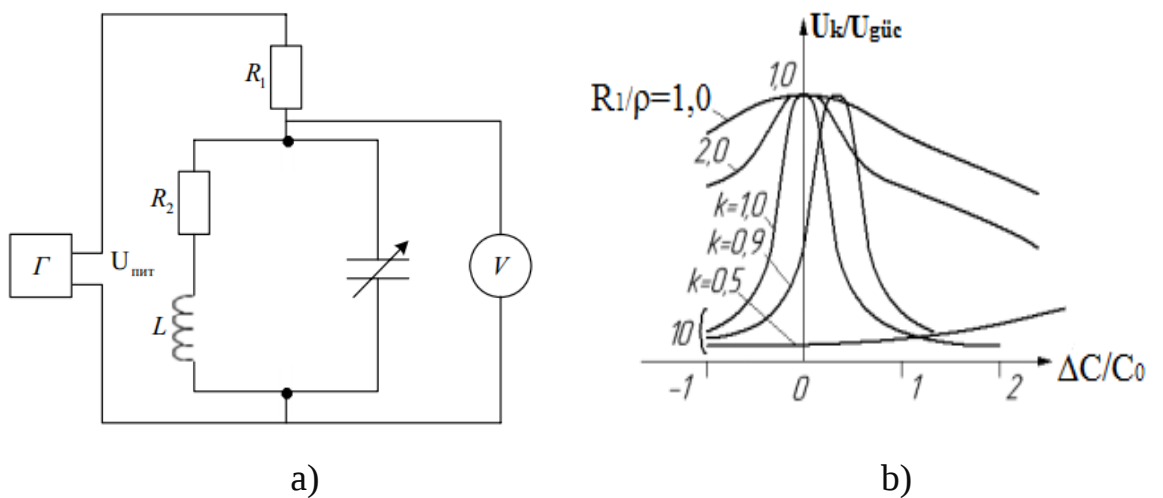
Şəkil 2.5.4. Diod-tutum ölçü sxemi

C_1 və C_2 vericinin tutumları dörd diod və iki əlavə C_3 kondensatoru vasitəsilə dəyişən gərginlik mənbəyinə birləşdirilib. Dəyişən gərginliyin hər yarımdövründə müvafiq diod cütünü açılır (D_1, D_4 və ya D_2, D_3). Bu zaman, C_3 kondensatordan hər biri, ya C_1 tutumu və yaxud da C_2 tutumu ilə ardıcıl olaraq birləşir. C_1 və C_2 tutumlarının qeyri-bərabərliyi zamanı, müsbət və mənfi istiqamətdə C_3 kondensatorları üzərindən axan cərəyanlar öz aralarında bərabər olmayacaq. Bunun nəticəsində C_3 kondensatorlarında daim gərginlik meydana gəlir ki, bu da çıxış gərginliyidir. Əgər diodlar üzərində gərginliyin düşməsi nəzərə alınmazsa, o zaman $U_{\text{çix}}$ qiyməti təxmini nisbətlə müəyyən ediləcək [3].

$$U_{\text{çix}} \approx 2U \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2 + 2C_1C_2 / C_3}, \quad (2.5.3)$$

Rezonans konturlar ilə dövrələr aşağıdakı şəkil 2.5.5, ab-də verilmişdir.

Dövrələr ω_0 sabit tezlikli mənbədən qidalanır. Çeviricinin C tutumunun dəyişməsi zamanı, konturun müqaviməti rezonans əyrisi üzrə dəyişir və ω_0 olduqda $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ maksimuma çatır. Rezonans əyrisinin meyillərində az və ya çox dərəcədə xətti sahəyə yaxınlaşan bir sahə seçilə bilər.



Şəkil 2.5.5. Rezonans-ölçü sxemi

R_2 müqaviməti $\omega_0 L$ və R_1 müqavimətləri ilə müqayisədə nəzərə alınmazsa və aşağıdakı bərabərliklər ehtimal edilərsə:

$$C = C_0 \pm \Delta C, \quad \omega_0 = k / \sqrt{1/LC}, \quad Q = \omega_0 L / R_1, \quad \rho = \sqrt{L/C} \quad (2.5.4)$$

o zaman konturun üzərində gərginliklərin nisbətini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\frac{U_k}{U_{güc}} = \frac{1}{1 + 1/Q^2 [1 + k^2 (1 + \Delta C / C_0)]^2} \quad (2.5.5)$$

burada $U_k / U_{güc}$ asılılıqları 2.5.5, b şəklində təqdim edilmişdir.

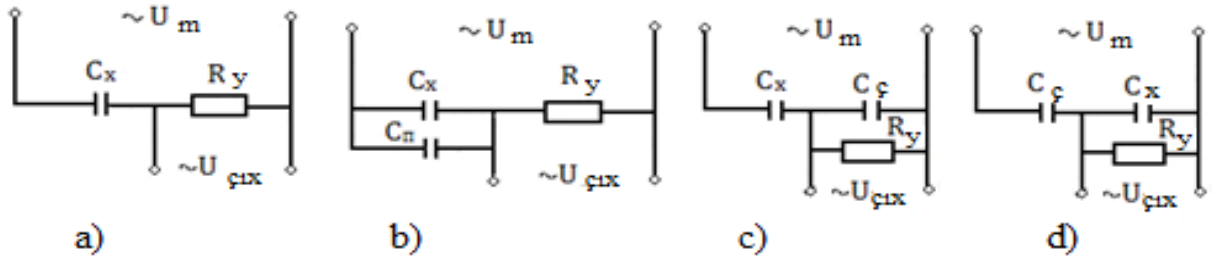
Qrafiklərdən göründüyü kimi rezonans sxemində bu vəziyyət $U_k / U_{güc}$ nisbətinin maksimum qiymət alması, tutum $\Delta C / C_0$ nisbətinin sıfıra bərabər olduğu anda baş verir.

2.6. Tutum çeviricilərinin statik xarakteristikalarının analizi

Konstruktiv xüsusiyyətlərindən, iş prinsipindən və elektrik dövrə həllərindən asılı olaraq elektrik tutumları dəyişdirilə bilən çeviricilər müxtəlif növ statik xarakteristikalara malik olurlar. Parametrləri dəyişdirilə bilən elektrik tutum çeviriciləri layihələndirilən zaman onların elektrik dövrlərini və dövrənin parametrlərini seçərkən xətti asılılığa yaxın statik xarakteristika əldə etməyə cəhd edilir. Buna nail olmaq üçün tutum çeviricinin istifadə edilən sxemindən asılı olaraq aktiv və reaktiv müqavimətlərin balans qiymətlərinə yaxın, çevirici dövrənin parametrlərini seçməklə əldə edilir [70].

Tək tutumlu çeviricilər üçün şəkil 2.6.1-də təqdim olunmuş dövrlərin sxematik həllərindən istifadə edilə bilər. Bu dövrlərin statik xarakteristikalarını təmin etmək üçün seçilmiş sxematik həllərə uyğun olaraq ardıcıl qoşulma zamanı aktiv və reaktiv müqavimətlərin həndəsi olaraq toplanması $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, paralel qoşulmada isə aktiv və reaktiv keçiriciliklərin həndəsi toplanması $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$, ya da keçiricilik

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R} + \frac{1}{X}} \text{ nəzərə alınmalıdır.}$$



Şəkil 2.6.1. Tək tutumlu çeviricilər üçün elektrik dövrələrin sxemləri

Təqdim olunan sxemlər üçün tutum çeviricilərinin statik xarakteristikaları dövrə parametrlərinin qiymətlərindən asılı olaraq aşağıdakı ifadələrlə təyin olunacaqdır:

a) sxemi üçün:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 C_x^2 R_y^2}}}; \quad (1.4.1)$$

b) sxemi üçün:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 (C_x + C_{\text{ç}})^2 R_y^2}}}; \quad (1.4.1)$$

c) sxemi üçün:

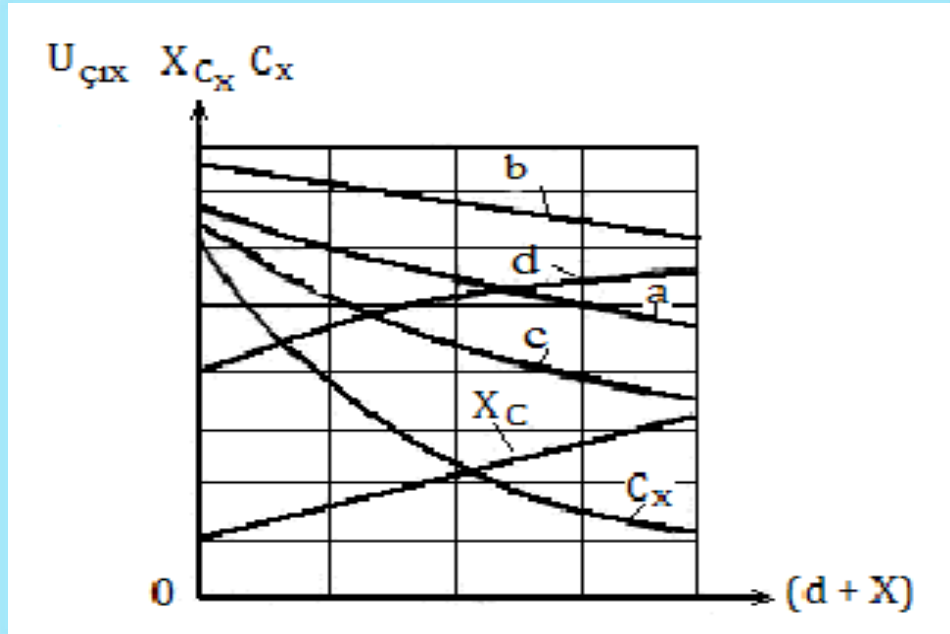
$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m}{\sqrt{1 + \frac{1}{C_x^2} \left(C_{\text{ç}}^2 + \frac{1}{\omega^2 R_y^2} \right)}}; \quad (1.4.1)$$

d) sxemi üçün:

$$U_{\text{çix}} = \frac{U_m}{\sqrt{1 + \frac{1}{C_{\text{ç}}^2} \left(C_x^2 + \frac{1}{\omega^2 R_y^2} \right)}}. \quad (1.4.1)$$

Şəkil 2.6.1-də təqdim olunan sxemlərin elektrik dövrə parametrlərinin seçilməsi ilə reallaşan müstəvi lövhəli tutum çeviriciləri üçün statik xarakteristikalar şəkil 2.6.2-də göstərildiyi kimi olacaqdır [70].

Şəkildən görüldüyü kimi tutum çeviricilərinin statik xarakteristikaları qeyri-xəttidir və onların yüksək dəqiqliklə identifikasiyası ölçmə nəticələrinin dəqiqliyini şərtləndirir. Buna görə hibrit test alqoritmlərin tətbiqi ilə xarakteristikaların identifikasiyası daha səmərəli hesab olunur [8,10].



Şəkil 2.6.2. Müstəvi lövhəli tutum çeviriciləri üçün statik xarakteristikalar

Tutum vericisinin sxeminin metodik və alət xətlərinin təhlili

Müxtəlif qeyri-elektrik kəmiyyətlərin tutum vericiləri ilə ölçülməsi zamanı, temperatur və rütubətin təsirindən irəli gələn xətlər meydana gələ bilər. Temperatur təsiri altında vericinin həndəsi ölçüləri, həmçinin dielektrik nüfuzluğu dəyişə bilər (bərk və maye dielektrikli vericilərdə). Bu xətlər, vericinin müvafiq konstruksiyasının seçilməsi yolu ilə (detalların genişlənmə temperaturunun əmsalları nəzərə alınmaqla, onların həndəsi ölçülərinin düzgün seçilməsi) minimuma çatdırıla bilər. Temperatur xətası diferensial ölçü sxemlərinin tətbiqi zamanı əhəmiyyətli dərəcədə azalır. Parazit tutumlar və kənar elektrik sahələri çevrilmə dəqiqliyinə güclü təsir göstərir və buna görə də tutum vericilərini olduqca diqqətlə ekranlamaq lazımdır. Vericinin metroloji xarakteristikalarını xeyli artıran ilk təkmilləşdirmə,

ekranlı elektrodların tətbiqidir. Ekranlar, çeviricinin işçi elektrodları ilə əmələ gətirilən sahənin lokallaşdırılmasını əhəmiyyətli dərəcədə təmin edir və nəticədə onun nisbi həssaslığını xeyli artırır. Bundan əlavə, ekranların müsbət effekti, elektromaqnit tuşlamalarının kəskin azaldılması və bir sıra hallarda, işçi tutumun artmasıdır, çünki o, yüksək potensiallı elektrodun bir hissəsidir. Metroloji xarakteristikaların sonrakı yaxşılaşdırılması, qoruyucu elektrodların quraşdırılması yolu ilə əldə edilir ki, bunların köməyi ilə çeviricilərin kənarlarının qıraq sahələrinin təsiri istisna edilir. Bundan başqa, nəzarət edən keçirici bəzən çeviricinin işçi elektrodu olur. Elektrodlar və nəzarət edilən keçirici üzərində uyğun potensialların quraşdırılması çeviricinin işçi zonasında yastı paralel sahə yaratmağa imkan verir ki, bu da onun metroloji xarakteristikalarını yaxşılaşdırır. Bu tipli vericilərin istifadəsi zamanı xətlərin əmələ gəlmə səbəblərindən daha biri ondan ibarətdir ki, sənaye tezliyində vericinin gücü olduqca azdır, bu səbəbdən də, tutumun dəyişməsinin aşkar edilməsi üçün, olduqca həssas aparatdan istifadə etmək lazımdır, onun müqaviməti isə böyükdür və buna görə də parazit sızmalarından irəli gələn böyük xətlər yarana bilər. Bu səbəbdən, yüksək tezlikli (1kHz-dən bir neçə on meqahersə qədər) qidalanma mənbələrindən istifadə edilməlidir [6].

Tutum vericilərinin parametrlərinin hesablanmasına nümunələr

Məsələ 1. Şəkil 2.6.1b-də verilmiş sxemə uyğun olaraq Əlavə 5-də verilmiş cədvəldəki qiymətlərə uyğun hazırlanmış yerdəyişməli tutum çeviricisinin parametrlərini hesablayaq. Hesab edək ki, tutum çeviricisi diametri D, mm olan n ədəd müstəvi disk lövhələrdən ibarətdir.

a) Çeviricinin, lövhələrin yerdəyişməsindən asılı olaraq çıxış gərginliyinin $U_{çix} = f(d \pm x)$ statik xarakteristikasını quraq.

b) Yerdəyişməyə sərf olunan gücün qiymətinin lövhələrin yerdəyişmə qiymətindən asılılığını quraq.

c) Dairəvi tezlikli ω, san^{-1} dəyişən cərəyanın qida gərginliyi $36 V$, lövhələrin yerdəyişmə diapazonu $d \pm x = 0,1 \pm 0,05 mm$.

Məsələ 2. Təmiz mayelərin səviyyəsini ölçmək üçün struktur ölçüləri l , R , r olan koaksial tipli maye səviyyəli tutum çeviricisini hesablayaq (şəkil 2.3.8).

Çevirici tezliyi 36 V gərginlikli sənaye cərəyanında işləyir və sxemə uyğun olaraq hazırlanır (şəkil 2.6.1b). Çeviricinin statik xarakteristikasını $U_{\text{çix}} = f(h)$, çıxış gərginliyinin ($U_{\text{çix}}$) maye səviyyəsinin (h) dəyişməsindən asılılığını quraq.

Mayelərin səviyyəsini ölçmək üçün tutum vericisinin elektrik parametrlərinin qiymətləri Əlavə 5-dəki cədvəldə verilmişdir.

Yuxarıda aparılan analizlərin nəticələrindən belə bir qənaətə gəlmək olur ki, dəyişən tutumlu çeviricilərin çevirmə xarakteristikaları qeyri-xəttidir və onların identifikasiyası zamanı struktur-alqoritmik-test üsullarının və qeyri-xətti apraksimasiyanın tətbiqi daha yüksək səmərə verə bilər [8].

Nəticə

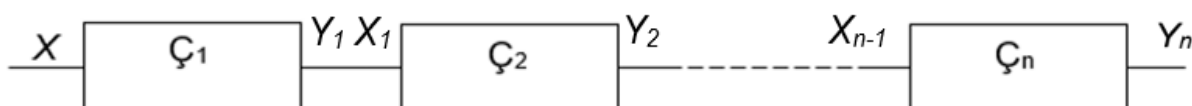
1. Xətti yerdəyişməli tutum vericilərinin nəzəri tədqiqi həyata keçirilmiş, dəyişən tutumlu kondensatorların sxematik birləşmə modelləri verilmişdir.
2. Xətti yerdəyişməli tutum çeviricilərinin işlənməsi üçün onların xarakteristikaları tədqiq edilmişdir.
3. Xətti yerdəyişməli tutum çeviricilərinin səviyyə və rütubətin ölçülməsində imkanları tədqiq edilmiş, nümunələrə baxılmışdır.
4. Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin funksional sxemlərinin qurulma prinsipi müxtəlif variantlarda təqdim edilmişdir.
5. Tutum çeviricilərinin statik xarakteristikaları analiz edilmişdir.

III FƏSİL. BÖYÜK YERDƏYİŞMƏLİ TUTUM VERİCİLƏRİNİN NƏZƏRİ TƏDQIQI

3.1. Tutum vericilərinin parametrlərinə təsir göstərən faktorların tədqiqi

Əvvəlki bölmələrdə tutum vericilərinin böyük xətti yerdəyişmələrin ölçülməsində tətbiqi imkanları və onların dəqiqliyinə təsir göstərən faktorlar analiz edilmişdir. Bu fəsildə TV-nin əsas həssas elementi kimi dəyişən tutumlu sadə kondensatorlar götürülmüş və onların bazasında müxtəlif sxem birləşmələri işlənilmişdir. Eyni zamanda, işlənmiş böyük xətti yerdəyişməli TV-nin çevirmə xarakteristikaları (ÇX), parametrləri, əsasən də həssaslığına təsir göstərən faktorlar tədqiq edilmişdir. Bu zaman müxtəlif fərqli yanaşmalar təqdim olunmuş və onların səmərəlilik dərəcəsi müqayisəli qiymətləndirilmişdir.

Sadə tutum vericilərinin ardıcıl qoşulma sxemindən ibarət düz çevirmə prosesinə baxılmışdır və bu zaman çeviricinin struktur sxemi şəkil 3.1.1-dəki kimi olacaqdır:



Şəkil 3.1.1. Düz çevirmənin struktur sxemi

Sxemdə $\Ç_1, \Ç_2, \dots, \Ç_n$ – tutum çeviriciləri, X – ölçüləcək parametr, $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ – çeviricilərin çıxış parametrləridir [19].

Düz çevirmə sxeminin ümumi həssaslığı ayrı-ayrı tutum çeviricilərinin həssaslıqlarının hasilinə bərabər olacaq və aşağıdakı düsturla təyin ediləcəkdir:

$$S = \frac{\partial Y_n}{\partial X_n} = \frac{\partial Y_1}{\partial X_1} \cdot \frac{\partial Y_2}{\partial X_2} \dots \frac{\partial Y_n}{\partial X_n}, \quad (3.1.1)$$

və ya

$$S = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n. \quad (3.1.2)$$

burada $k_1, k_2, \dots, k_n$ – uyğun olaraq ardıcıl qoşulmuş tutum vericilərinin çevirmə (ötürmə) əmsalları olub vericilərin ayrı-ayrılıqda həssaslıqlarını əks etdirirlər.

Lövhələri paralel və müstəvi şəklində olan kondensatorun tutumu $C = \varepsilon S/d_0$ düsturu ilə təyin edildiyindən, burada ε – kondensatorun lövhələri arasındakı mühitin dielektrik nüfuzluğu, S – lövhələrin qarşılıqlı əhatə sahəsi və d_0 – lövhələr arasındakı məsafə çevirmə xarakteristikasının əsas parametrlərini əks etdirirlər. Göründüyü kimi TV-nin metroloji xarakteristikası (MX) əsasən bu parametrlərin dəqiqliyindən asılıdır.

Əgər ölçüləcək X xətti yerdəyişməni yaradan səbəb kondensatorun lövhələrindən birinə təsir edirsə və digər lövhə tərpənməz qalarsa, onda kondensatorun tutumu aşağıdakı düsturla təyin ediləcəkdir:

$$C_x = \frac{\varepsilon S}{d_0 - X}, \quad (3.1.3)$$

Məlumdur ki, tutum çeviricisinin həssaslığı ümumi halda aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$S_x = \frac{dC_x}{dx}, \quad (3.1.4)$$

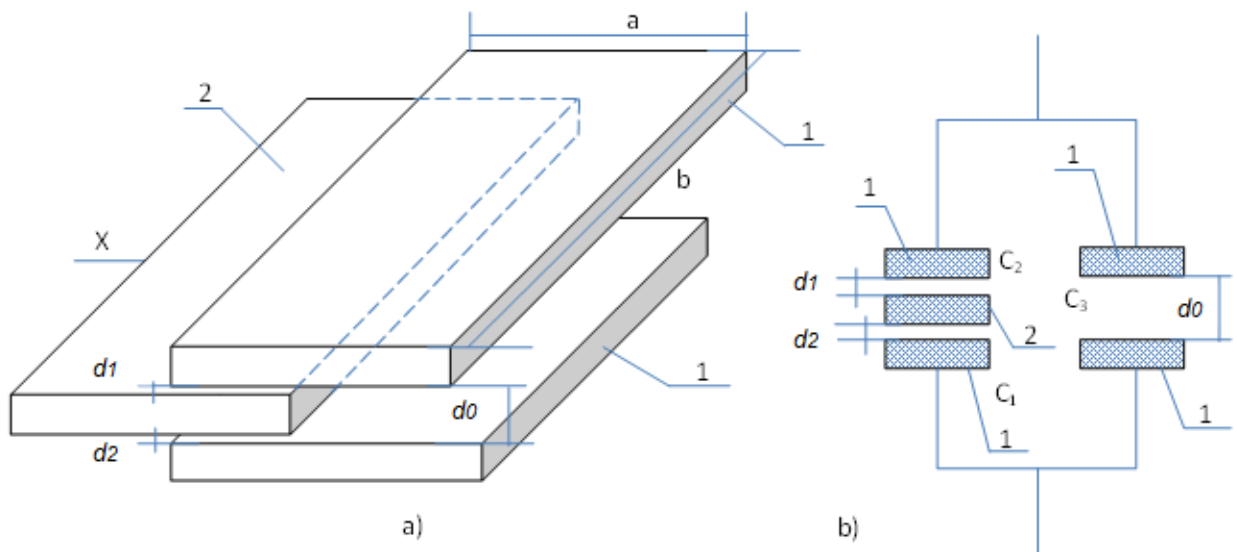
(3.1.3) düsturu əsasında isə aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$S_x = -\frac{\varepsilon S}{(d_0 - X)^2}. \quad (3.1.5)$$

Böyük xətti yerdəyişmələrin ölçülməsi zamanı TV-dən istifadə etdikdə tutum çeviriciləri eyni konstruksiyaya malik olurlar. Ölçüləcək X xətti yerdəyişmə çeviricilərin tərpənməz paralel lövhələri arasında hərəkət edən metal nüvənin təsiri ilə təyin olunur. Nüvənin səthi ölçüləri kondensatorun lövhələrinin ölçüləri ilə eyni, qalınlığı isə paralel lövhələr arasındakı hava məsafəsindən millimetrlə hissələri qədər kiçik, yəni minimum olmalıdır ki, nüvənin hərəkəti normal olsun.

Tutum çeviricisinin (TÇ) həssaslığını təyin etmək üçün ilk öncə bir ədəd tutum çeviricisini tədqiq edək. Baxılan halda TÇ-nin konstruksiyası şəkil 3.1.2.a, ekvivalent sxemi isə şəkil 3.1.2.b-də araşdırılır [19].

Şəkildən göründüyü kimi TÇ tərpənməz paralel birləşmiş 1 lövhələrindən və onların arasında hərəkət edən 2 metal nüvədən ibarətdir. Lövhələrin uzunluğu a , eni b , nüvə və lövhələrin səthləri arasındakı hava məsafələri uyğun olaraq d_1 və d_2 , tərpənməz lövhələr arasındakı hava məsafəsi isə d_0 qəbul edilmişdir.



Şəkil 3.1.2. Tutum vericisinin konstruksiyası (a) və ekvivalent sxemi (b)

Ölçüləcək x xətti yerdəyişməyə uyğun olaraq tutum çeviricisinin lövhələrinin b eni sabit qalır, a uzunluğu isə x qədər azalır, yəni $(a - x)$ olur. Buna uyğun olaraq çeviricini üç ədəd kondensatorun birləşməsi kimi göstərmək olar (şəkil 3.1.2, b). C_1 və C_2 tutumlu kondensatorlar bir-biri ilə ardıcıl, C_3 kondensatoru isə onlara paralel qoşulur. Onda, C_1 , C_2 və C_3 tutumları uyğun olaraq aşağıdakı ifadələrlə təyin olunacaqdır:

$$C_1 = \frac{\varepsilon \cdot x \cdot b}{d_1}, \quad (3.1.6)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon \cdot x \cdot b}{d_2}, \quad (3.1.7)$$

$$C_3 = \frac{\varepsilon (a-x) \cdot b}{d_0}. \quad (3.1.8)$$

Əgər, $d_1 = d_2$ olarsa, onda $C_1 = C_2$ olacaq və tutumun tam qiyməti aşağıdakı ardıcılıqla təyin olunacaqdır:

$$C_x = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3;$$

$$C_x = \frac{\varepsilon \cdot xb}{2d} + \frac{\varepsilon(a-x)b}{d_0}; \quad (3.1.9)$$

$$C_x = \frac{\varepsilon b[d_0x + 2d(a-x)]}{2dd_0}.$$

Beləliklə, tutum çeviricisinin həssaslığı (3.1.9) ifadələrinə uyğun aşağıdakı kimi təyin olunacaqdır:

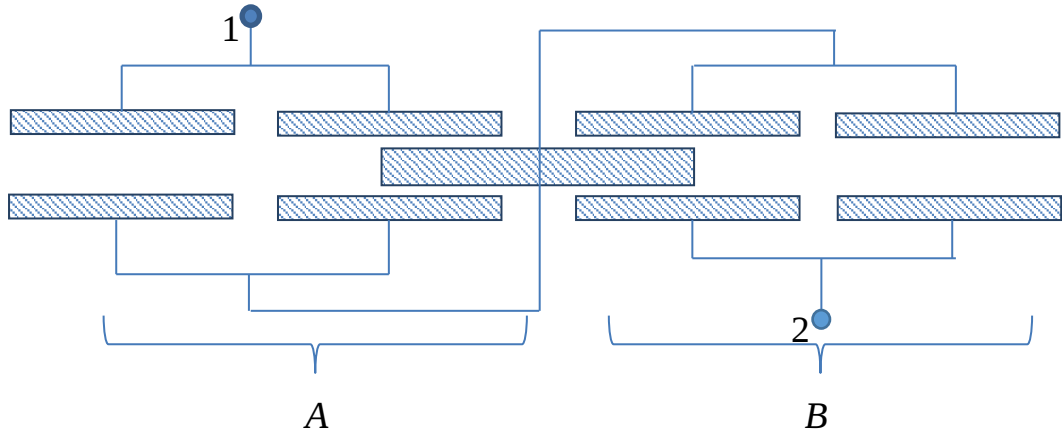
$$S_x = \frac{dC_x}{dx}, \quad (3.1.10)$$

$$S_x = \frac{\varepsilon b(d_0 - 2d)}{2dd_0}. \quad (3.1.11)$$

və ya

$$S_x = \varepsilon b \left(\frac{1}{2d} - \frac{1}{d_0} \right). \quad (3.1.12)$$

Şəkil 3.1.2-də verilmiş konstruksiyanı eynilə təkrarlasaq və onları bir-biri ilə ardıcıl qoşsaq (şəkil 3.1.3), onda hərəkət edən nüvə ardıcıl olaraq qonşu kondensatorların tərpənməz lövhələri arasında hərəkət edərək onların tutumunu mütənasib olaraq dəyişəcəkdir. Əgər, iki qonşu kondensatorun lövhələri arasından nüvə eyni ölçüdə - simmetrik və xətti yerdəyişmə edərsə, onda uyğun olaraq tutum çeviricilərinin ekvivalent sxemi aşağıdakı, şəkil 3.1.3-dəki kimi olacaqdır [19]:



Şəkil 3.1.3. İki kondensator çeviricisinin ardıcıl birləşməsinin sxemi

Birinci çeviricinin tutumunu C_{1x} , ikincinin tutumunu isə C_{2x} qəbul etsək, onda ardıcıl qoşulmuş kondensatorların ümumi tutumu aşağıdakı ifadə ilə təyin olunacaqdır:

$$C_x = \frac{C_{1x} \cdot C_{2x}}{C_{1x} + C_{2x}}. \quad (3.1.13)$$

Yuxarıda təqdim olunan qaydaya uyğun olaraq C_{1x} və C_{2x} tutumlarının qiymətlərini (3.1.13) düsturunda yerinə yazsaq, kondensatorların ümumi tutumu üçün aşağıdakı ifadəni alarıq [19]:

$$C_x = \frac{\left(\frac{\varepsilon \cdot xb}{2d} + \frac{\varepsilon (a-x)b}{d_0}\right) \left(\frac{\varepsilon (a-x)b}{d_0} + \frac{\varepsilon \cdot bx}{2d}\right)}{\frac{\varepsilon \cdot bx}{d} + \frac{2\varepsilon b(a-x)}{d_0}}, \quad (3.1.14)$$

Sadə çevirmədən sonra aşağıdakı ümumi ifadə alınacaqdır:

$$C_x = \frac{\varepsilon b[d_0x + 2d(a-x)]}{4dd_0}. \quad (3.1.15)$$

Uyğun qayda ilə (3.1.15) ifadəsi əsasında həssaslıq aşağıdakı kimi təyin olunacaqdır:

$$S_x \approx \frac{dC_x}{dx}, \quad (3.1.16)$$

$$S_x = \frac{\varepsilon b(d_0 - 2d)}{4dd_0}. \quad (3.1.17)$$

Alınmış (3.1.15) və (3.1.17) ifadələri uyğun olaraq tutum çeviricisinin çevirmə xarakteristikasını və həssaslığını əks etdirirlər. Göründüyü kimi hər iki ifadədə tutum vericisinin parametrləri arasındakı asılılıq aydın görünür. Beləliklə, belə bir nəticəyə gəlmək olur ki, tutum vericisinin paralel müstəvi şəklində olan lövhəsinin enini artırmaqla vericinin həssaslığı artır, lövhələr arasındakı və nüvə ilə lövhələr arasındakı hava məsafəsini dəyişməklə vericinin həssaslığını tənzimləmək olar.

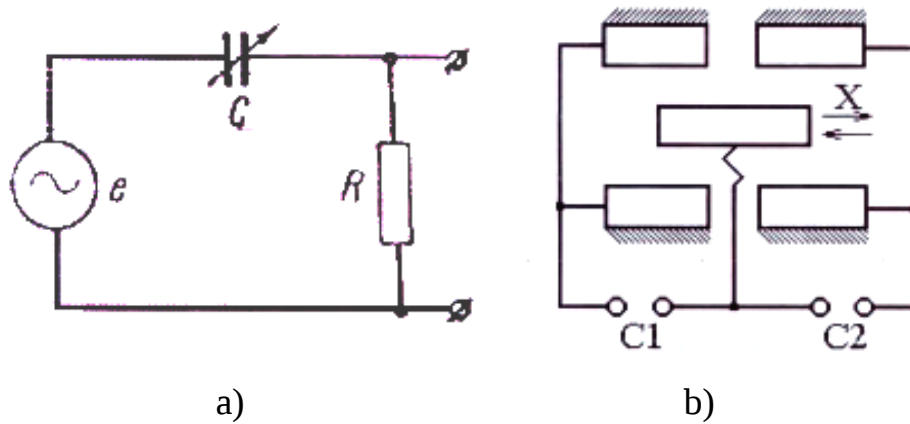
3.2. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin qraf üsulu ilə tədqiqi

Tutum vericilərinin sensor hissəsi yüksək həssaslığa malik kondensatordan ibarət olmaqla avtomatikada və digər sahələrdə tətbiq olunan nəzarət-ölçmə sistemlərinin əsas elementlərindən birini təşkil edir. Onların vasitəsilə nəzarət və idarə olunan proseslər, sistem və ya qurğuların parametrləri haqqında ilkin informasiya əldə olunur. Ölçüləcək istənilən fiziki kəmiyyət həssas elementə, yəni vericinin girişinə təsir etməklə onun çıxışında özünə mütənasib elektrik signalı formalaşdırır. Qeyd olunan üstünlüklərinə və etibarlığına görə tutum çeviriciləri (vericilər) müxtəlif sahələrdə, əsasən sənayenin bütün sahələrində, istehsalın, texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılmasında, robotlarda, dəzgahlarda, signalizasiya və digər qurğularda hərəkəti məhdudlaşdıran dəstək kimi, rezervuarlara müxtəlif maddələrin doldurulması və boşaldılmasına nəzarət edən qurğu kimi və s. istifadə edilirlər.

Aşağıdakı şəkildə müxtəlif TÇ-nin sxematik nümunələri verilmişdir [4].

Şəkil 3.2.1. a)-da parametrik TÇ-nin sadə sxemi təsvir edilmişdir. Bu sxemdə tutumun C qiymətinin dəyişməsi ondan axan cərəyanın dəyişməsi ilə müşayiət olunur

və sxemdə ardıcıl qoşulmuş R yük müqavimətində düşən gərginlik də mütənasib olaraq dəyişir. Göründüyü kimi bu gərginlik sistemin çıxış gərginliyini təşkil edir.

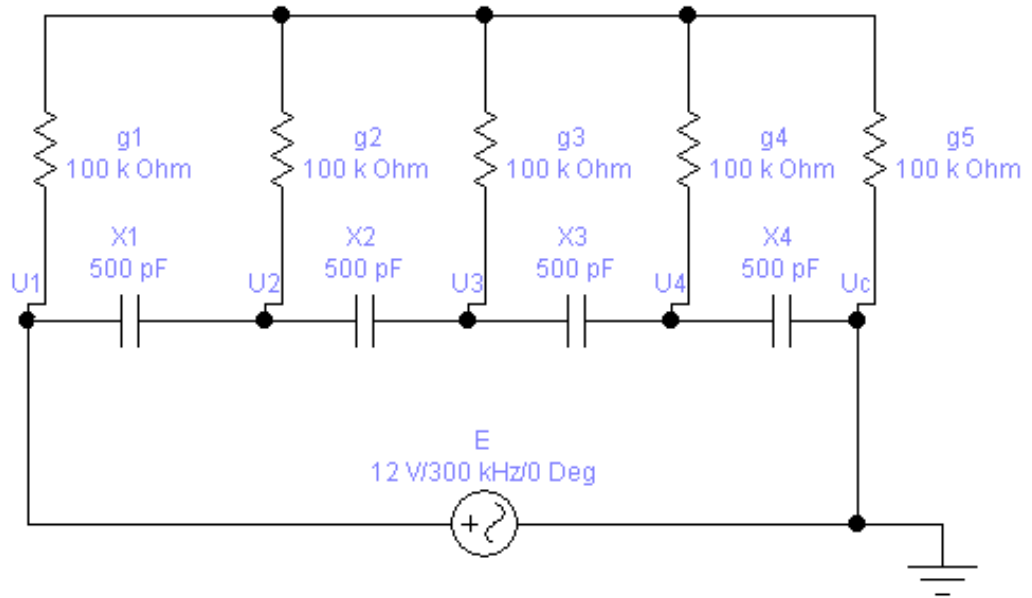


Şəkil 3.2.1. a) dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuş tutum vericisi, b) diferensial tutum çeviricisi

Şəkil 3.2.1. b)-də kondensator lövhələrinin tutumları ilə sahələri arasında funksional asılılığa əsaslanan dəyişən aktiv sahəli lövhəyə malik diferensial tutum çeviricisi verilmişdir. Bu cür konstruksiyaya malik çeviricilərdən böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi məqsədilə istifadə edilir. Bu çeviricilərdə tələb olunan çevirmə xarakteristikası lövhənin səthinin qarşılıqlı vəziyyətləndirilməsi yolu ilə alınır.

Bu çeviricilərin çatışmayan cəhəti ölçmə prosesində stabilliyi təmin etmək üçün köməkçi vasitələrdən istifadə olunmasıdır ki, bu da qurğunun səmərəliliyini azaldır.

TV-nin ölçmə diapazonunu artırmaq üçün onun lövhələrinin sayını artırmaq lazımdır. Beləliklə, təklif olunan sxem (şək. 3.2.2) öz aralarında ardıcıl birləşmiş 4 ədəd paralel müstəvi lövhəli kondensatordan, onların birləşmiş orta nöqtələri ilə əlaqələndirilən 5 ədəd eyni nominala malik rezistorlardan, kondensator lövhələri arasında hərəkət etdirilən nüvədən və dəyişən gərginlikli qida mənbəyindən təşkil olunmuşdur. Kondensatorların ardıcıl qoşulmasının üstün cəhəti ondan ibarətdir ki, hər bir element üçün tutumun dəyişmə intervalı kiçik olur və bu da yüksək həssaslığı təmin edir [4].



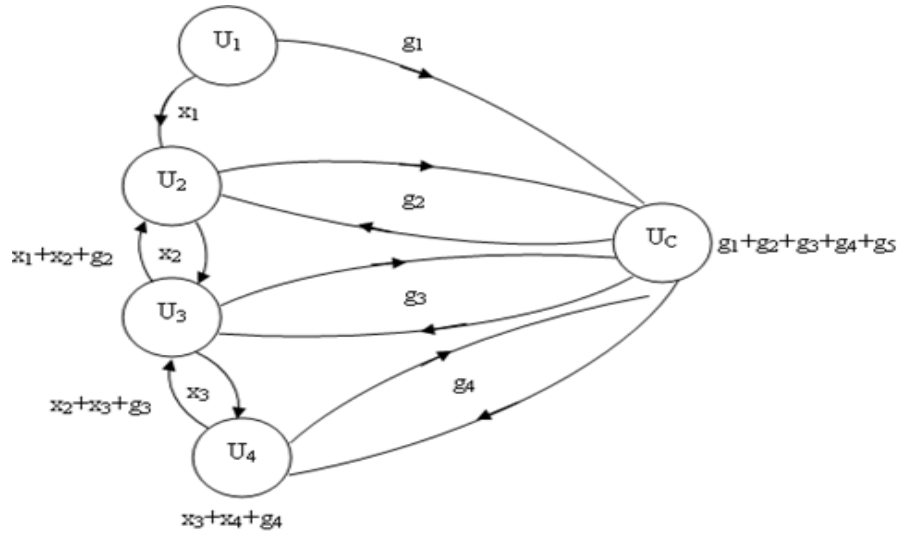
Şəkil 3.2.2. Tutum vericisinin Electronics–Workbench -də simulyasiya sxemi

Sxemdə, X_1 , X_2 və X_3 – ölçmə parametrləri;

U_1 , U_2 , U_3 və U_4 – uyğun çıxış gərginlikləri;

g_1 , g_2 , g_3 , g_4 və g_5 – uyğun elektrik keçiricilikləridir.

Qraf üsulundan istifadə etməklə şəkil 3.2.2 sxeminin modeli – qraf sxemi aşağıdakı şəkil 3.2.3-dəki kimi olacaqdır:



Şəkil 3.2.3. Tutum vericisinin qraf strukturu

Aşağıda isə alınmış müvafiq xətti tənliklər sisteminin həlli verilmişdir:

$$\begin{cases} U_2(x_1 + x_2 + g_2) = U_1x_1 + U_3x_2 + U_cg_2 \\ U_3(x_2 + x_3 + g_3) = U_2x_2 + U_4x_3 + U_cg_3 \\ U_4(x_3 + x_4 + g_4) = U_3x_3 + U_cg_4 \\ U_c(g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5) = U_1g_1 + U_2g_2 + U_3g_3 + U_4g_4 \end{cases} \quad (3.2.1)$$

Əgər $g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g_5 = g$ olarsa, onda $5U_c = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$ olar və buradan:

$$\begin{cases} U_2(x_1 + x_2 + g) - U_3x_2 - U_cg = U_1x_1 \\ -U_2x_2 + U_3(x_2 + x_3 + g) - U_4x_3 - U_cg = 0 \\ -U_3x_3 + U_4(x_3 + x_4 + g) - U_cg = 0 \\ -U_2g - U_3g - U_4g + 5U_cg = U_1g \end{cases} \quad (3.2.2)$$

Baxdığımız halda

$$g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g_5 = g = 10^{-5} \text{ om},$$

$$f = 3 \times 10^5 \text{ hs},$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 100 \times 10^{-12} F,$$

$$U_1 = E = 12V,$$

$$x_i = 2\pi f C_i \gamma,$$

$$g_i = \frac{1}{R_i}.$$

MatchCad proqramlar paketindən istifadə etməklə hesablama aparılmışdır [4].

$$M := \begin{bmatrix} x_1 + x_2 + g & -x_2 & 0 & -g \\ -x_2 & x_2 + x_3 + g & -x_3 & -g \\ 0 & -x_3 & x_3 + x_4 + g & -g \\ -g & -g & -g & 5g \end{bmatrix}, V := \begin{bmatrix} U_1 \cdot x_1 \\ U_1 \cdot 0 \\ U_1 \cdot 0 \\ U_1 \cdot g \end{bmatrix}. \quad (3.2.3)$$

Ümumi halda həssaslığın analitik metodla hesablanması (3.1.1) düsturuna əsaslanaraq sxemin elementlərinin dəqiqliyi müəyyənləşdirilir. Bunun üçün sxemin həssaslığının təyin edilməsi vacibdir.

$$S_x^F = \frac{dF}{F} : \frac{dx}{x} = \frac{dF}{dx} \times \frac{x}{F}, \quad (3.2.4)$$

burada $S_x^F - F$ parametrinin x nominalının dəyişməsinə olan nisbi həssaslığıdır.

$$F_1 = \frac{U_1}{U_c}, F_2 = \frac{U_2}{U_c}, F_3 = \frac{U_3}{U_c}, F_4 = \frac{U_4}{U_c},$$

$$x = R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, C_1, C_2,$$

C_3, C_4, U_c, f – qiymətlərinə əsasən $S_x^{F_1}, S_x^{F_2}, S_x^{F_3}, S_x^{F_4}$ – həssaslıqlar hesablanır.

Həssaslığın qiymətləndirilməsindən alınan nəticə onu göstərir ki, qida gərginliyinin qeyri stabilliyi ölçmə nəticəsinə təsir göstərmir.

Böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün diferensial üsulun üstünlükləri qeyd olunmuş və təklif olunan elektrik sxeminin istiqamətlənmiş qraf üsulu əsasında topoloji tənlikləri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, qraf əsasında tərtib olunan topoloji tənliklər, sxemin çeviricinin işləməsinə təsir göstərən daha çox faktorların nəzərə alınmasına imkan verir.

Beləliklə, alınmış ifadələrin adekvatlığı müvafiq sxemlər üzərində yoxlanılmışdır. Göründüyü kimi tutum vericilərinin tətbiq sahələri geniş və müxtəlifdir. Tutum vericiləri rezervuarlara maye, tozşəkilli və dənəvər maddələrin doldurulmasına nəzarət edilməsində, avtomatlaşdırılmış xətlərdə, konveyerlərdə, robotlarda, dəzgahlarda, siqnalizasiya və başqa qurğularda hərəkəti məhdudlaşdırıcı dəstək kimi istifadə olunur.

Tutum vericiləri əsasən xətti və bucaq yerdəyişmələrin ölçülməsində geniş istifadə olunurlar. Araşdırmalar göstərir ki, işçi hissədə elektrik sahəsi bircins olan

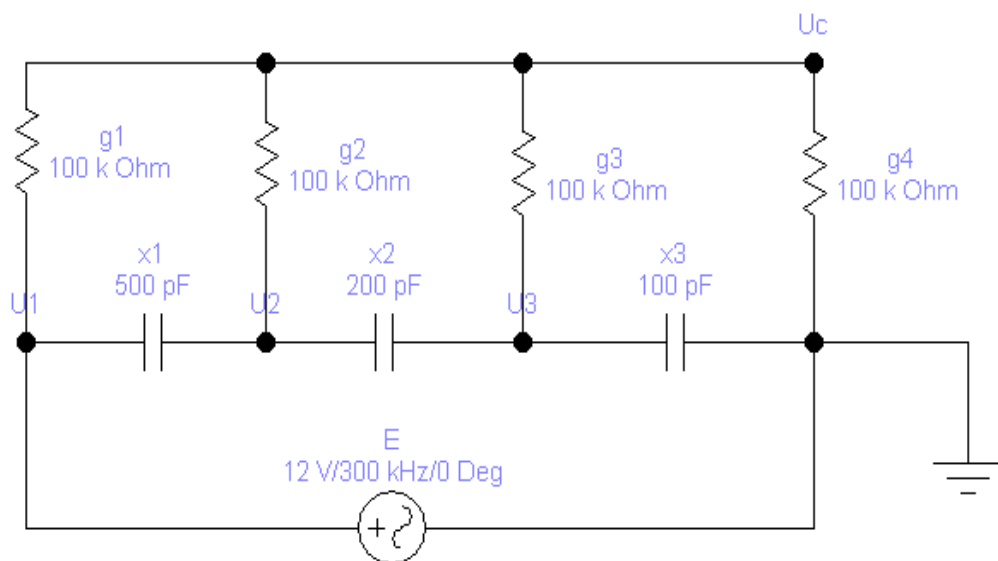
kondensatorlar əsasında iki növ xətti yerdəyişməli tutum vericisinin konstruksiyası yaradıla bilər:

- 1) kondensatorun köynəyinin sahəsi dəyişdirilir;
- 2) elektrodlar arasındakı məsafə dəyişdirilir.

Məlumdur ki, 1-ci hal böyük yerdəyişmələrin ölçülməsində (100 mm-ə qədər), 2-ci isə kiçik və olduqca kiçik (mm, mkm və daha kiçik) yerdəyişmələrin ölçülməsində əlverişlidir [101].

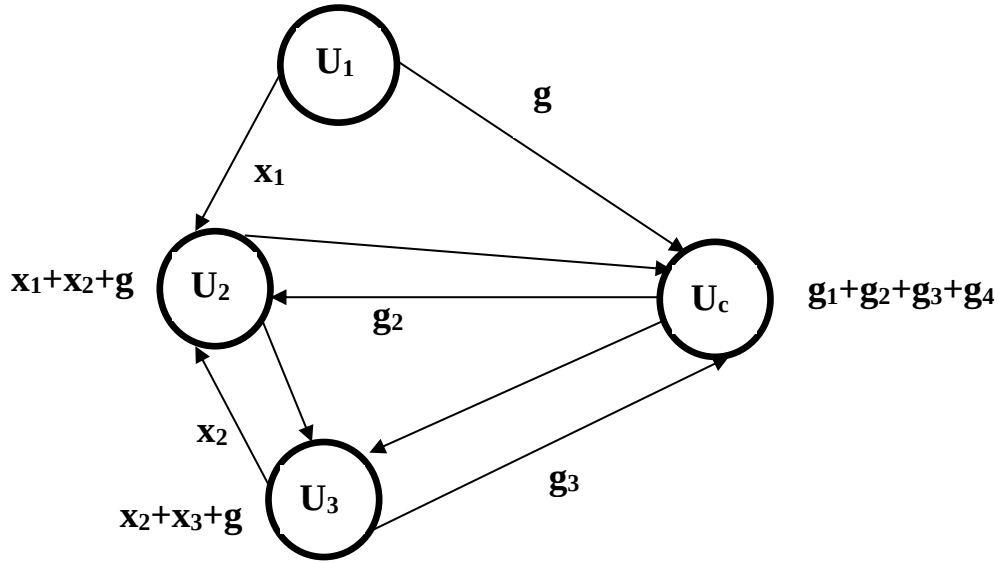
Bu çeviricilərin çatışmayan cəhəti ölçmə prosesində sabilliyin çətin təmin olunması, sabilliyi təmin etmək üçün köməkçi vasitələrdən istifadə olunmasıdır ki, bu da iqtisadi səmərəliliyi azaldır. Qeyd olunan çatışmazlığı nisbətən aradan qaldırmaq üçün böyük yerdəyişmələrdə tətbiq oluna bilən prinsipial elektrik sxemi təklif olunur (şəkil 3.2.4).

Sxem öz aralarında ardıcıl birləşdirilən 3 ədəd paralel müstəvi lövhəli kondensatordan, onların birləşmiş orta nöqtələri ilə əlaqələndirilən 4 ədəd eyni müqavimətli rezistorlardan, kondensator lövhələri arasında hərəkət etdirilən nüvədən və dəyişən gərginlik qida mənbəyindən təşkil olunmuşdur. Kondensatorların ardıcıl qoşulmasının üstünlüyü ondan ibarətdir ki, hər bir element üçün tutumun dəyişmə intervalı az olur və bu da yüksək həssaslığa təminat verir [2].



Şəkil 3.2.4. Böyük yerdəyişməli tutum çeviricisinin elektrik sxem

Qraf üsulundan istifadə etməklə sxemin modeli qurulmuş (şəkil 3.2.5) və uyğun modelin xətti tənliklər sistemi tərtib edilərək həll edilmişdir [2].



Şəkil 3.2.5. Böyük yardışməli tutum çeviricisinin qraf sxemi

Baxdığımız halda $g = g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = 10^{-5} \text{ om}$, $f = 3 \cdot 10^5 \text{ hs}$,
 $C_3 = 100 \cdot 10^{-12} \text{ F}$, $U_1 = E = 12 \text{ V}$, $x_1 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1 \cdot \gamma$, $g_i = \frac{1}{R_i}$.

$$\begin{cases} (x_1 + x_2 + g_2) \cdot U_2 = U_1 \cdot x_1 + U_3 \cdot x_2 + U_c \cdot g_2 \\ (x_2 + x_3 + g_3) \cdot U_3 = U_2 \cdot x_2 + U_c \cdot g_3 \\ (g_1 + g_2 + g_3 + g_4) \cdot U_c = U_1 \cdot g_1 + U_2 \cdot g_2 + U_3 \cdot g_3 \end{cases} \quad (3.2.5)$$

$$\begin{cases} (x_1 + x_2 + g_3) \cdot U_2 - U_3 \cdot x_2 - U_c \cdot g_2 = U_1 \cdot x_1 \\ -U_2 \cdot x_2 + (x_2 + x_3 + g_3) \cdot U_3 - U_c \cdot g_3 = 0 \\ -U_2 \cdot g_2 - U_3 \cdot g_3 + (g_1 + g_2 + g_3 + g_4) \cdot U_c = U_1 \cdot g_1 \end{cases} \quad (3.2.6)$$

Sonuncu tənlikdən $g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g$ qəbul etsək, $4 \cdot g \cdot U_c = U_1 + U_2 + U_3$

alarıq.

$$M := \begin{pmatrix} x_1 + x_2 + g & -x_2 & -g \\ -x_2 & x_2 + x_3 + g & -g \\ -g & -g & 4 \cdot g \end{pmatrix}; \quad v := \begin{pmatrix} U_1 \cdot x_1 \\ U_1 \cdot 0 \\ U_1 \cdot g_1 \end{pmatrix} \quad (3.2.7)$$

MathCad proqramlar paketindən istifadə edərək uyğun hesablamalar aparılmışdır.

Baxılan sxemin elementlərinin dəqiqliyini müəyyənləşdirmək üçün sxemin həssaslığının təyin edilməsi vacibdir. Məlumdur ki, ümumi halda həssaslığın analitik metodla hesablanması aşağıdakı düstura əsaslanır:

$$S_x^F = \frac{dF}{F} : \frac{dx}{x} = \frac{dF}{dx} \cdot \frac{x}{F}, \quad (3.2.8)$$

burada $S_x^F - F$ parametrinin x nominalının dəyişməsinə olan nisbi həssaslığıdır.

$F_1 = \frac{U_1}{U_c}$, $F_2 = \frac{U_2}{U_c}$, $F_3 = \frac{U_3}{U_c}$, $x = R_1, R_2, R_3, C_1, C_2, C_3, U_c, f$ elementlərin qiymətlərinə görə sxemin $S_x^{F_1}$, $S_x^{F_2}$, $S_x^{F_3}$ həssaslığı hesablanır.

Həssaslığın qiymətləndirilməsindən alınan nəticə onu göstərir ki, qida gərginliyinin qeyri-stabilliyi ölçmə nəticəsinə təsir göstərmir.

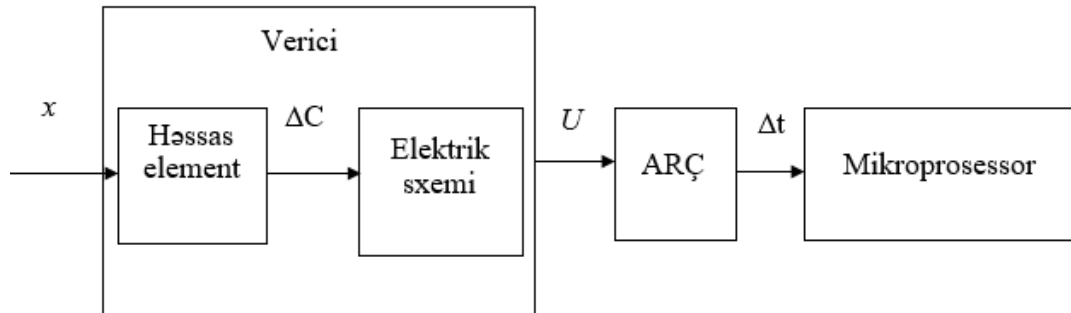
3.3. Mikroprosessorlu böyük yerdəyişməli tutum vericisinin tədqiqi

Böyük xətti yerdəyişməni ölçmək üçün müxtəlif tip vericilərdən istifadə olunur və onların özünə məxsus fərqli cəhətləri vardır. Müstəvi və silindrik lövhəli tutum çeviriciləri vasitəsilə bilavasitə kiçik xətti yerdəyişmələri ölçmək mümkündür.

Mikroprosessorlu böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin struktur sxemi şəkil 3.3.1-də verilmişdir [12].

Həssas element kimi müxtəlif tip tutum çeviricilərindən istifadə etmək olar. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin struktur sxemində vericinin elektrik sxemi öz aralarında ardıcıl birləşdirilən n sayda tutum çeviricilərindən, onların birləşmiş orta nöqtələri ilə əlaqələndirilən $n+1$ sayda eyni qiymətli rezistorlardan və onların

sərbəst uclarının birləşdirilmiş ümumi nöqtədən, həmin nöqtəyə görə axırını rezistorda gərginlik düşgüsünü ölçən qeydedici cihazdan, tutum çeviriciləri daxilində hərəkət etdirilən nüvədən və dəyişən gərginlik qida mənbəyindən təşkil olunur.



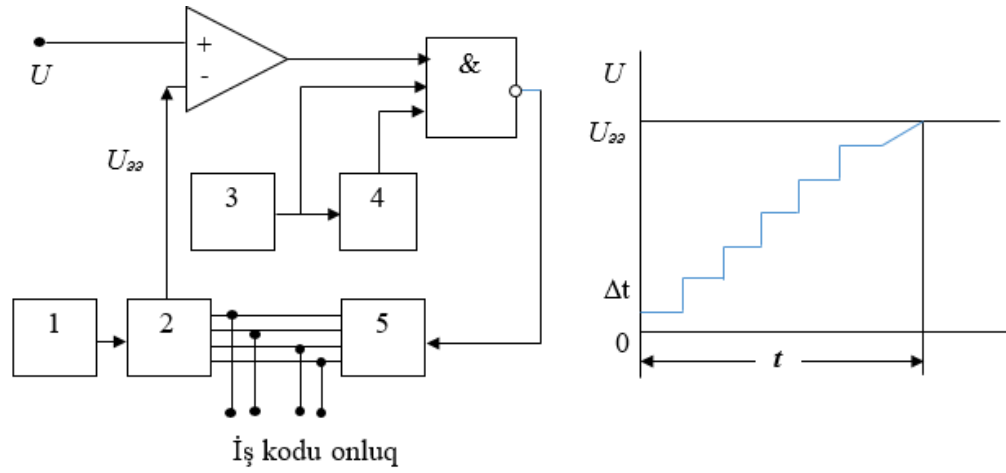
Şəkil 3.3.1. Mikroprosessorlu böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin struktur sxemi

Öz aralarında ardıcıl birləşdirilmiş tutum çeviriciləri daxilində ölçüləcək xətti yerdəyişməyə uyğun olaraq nüvənin ardıcıl hərəkət etdirilməsi vericinin xarakteristikasının xətti alınmasını təmin etməklə yanaşı, ölçü həddini genişləndirir və ölçmə dəqiqliyini yüksəldir.

Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin çıxışında alınan gərginlik ölçülən xətti yerdəyişməyə düz mütənasibdir. Ölçmənin nəticəsini rəqəm formasında ifadə etmək və eləcə də yadda saxlamaq üçün mikroprosessorlu sistemdən istifadə etmək daha əlverişlidir.

Sxemdə analoq-rəqəm çeviricisinin (ARÇ) vəzifəsi analoq kəmiyyəti, baxdığımız halda U gərginliyini kod şəklində siqnallara və ona mütənasib olan t müddətinə çevirməkdir. Bu məqsədlə mişarvari pilləli gərginlikli ardıcıl ARÇ-dən istifadə etmək olar. Vahid yanaşmalı ardıcıl ARÇ-nin yaradılmasına tipik misal kimi sayılan sxemi şəkil 3.3.2-də verilmişdir [28, 29, 38].

Sxem əsasən komparatorndan K, dayaq gərginlik mənbəyindən 1, rəqəm-analoq çeviricisindən (RAÇ) 2, sayıcı impuls generatorundan 3, idarə sxemindən 4, impuls sayğacından 5 və məntiqi “VƏ-İNKAR” elementindən təşkil olunmuşdur.



Şəkil 3.3.2. Ardıcıl ARÇ-nin tipik sxemi

Komparatorun girişinin birinə ölçüləcək giriş gərginliyi U , digərinə isə RAÇ-dan əks-əlaqə gərginliyi U_{22} verilir. Sxem işəsalma impulsu ilə işə düşür. Sayma impuls generatorunun çıxışı idarə sxeminin icazəsi ilə impuls sayğacının girişinə verilir və sayğac impulsları hesablayır. Sayğacın çıxış kodu RAÇ-ın girişinə verilir. RAÇ-ın çıxışında yaranan pilləli artan əks-əlaqə gərginliyi U_{22} giriş gərginliyinə bərabər olduqda komparatorun çıxışında gərginliyin qütblüyü dəyişir, “VƏ-İNKAR” məntiqi elementi impuls sayğacını dayandırır. Beləliklə, impuls sayğacının çıxış signalı, kodu ölçüləcək giriş gərginliyinə bərabər ifadə formasını müəyyən etmiş olur. Bu növ ARÇ-nin çevirmə müddəti dəyişən olub, giriş gərginliyi ilə təyin edilir. Müddətin maksimum qiyməti giriş gərginliyinin maksimumuna uyğundur, ikilik sayğacın m dərəcəsi və sayma impuls periodu Δt_s olduqda, aşağıdakı bərabərlik alınır:

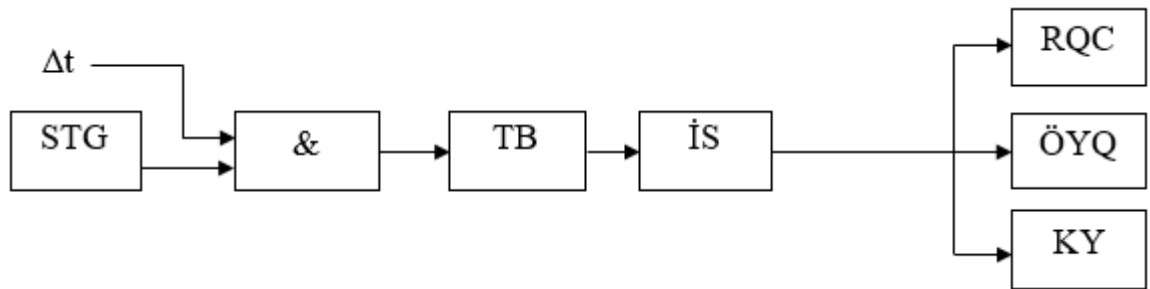
$$t_{\text{çev.max.}} = (2^m - 1)\Delta t_s. \quad (3.3.1)$$

Məsələn, $m = 10$ və $\Delta t_s = 1 \text{ mks}$ olduqda ($f_s = 1 \text{ Mhs}$ – ə uyğundur), $t_{\text{çev.max.}} = 1024 \text{ mks}$, bu da ARÇ-nin maksimum işləmə tezliyi 1 kHs olmasını təmin edir.

Çevirmənin statik xətası istifadə edilən RAÇ və komparatorun statiki xətalarının cəminə bərabərdir. Bu halda sayma impulsunun tezliyini elə seçmək lazımdır ki, sistemdə keçid prosesinin qurtarmasına uyğun olsun. Göstərilən şərt daxilində 10÷12

dərəcəli RAÇ-da statik xətanın kiçik qiyməti kvantlama addımına bərabər olur. Baxılan sinif ARÇ-nin üstün cəhəti, nisbətən sadə quruluşa malik olması, çevirmə prosesinin ardıcıl yerinə yetirilməsi ilə müəyyən edilir.

Mikroprosessorada yerinə yetirilən çevirmələrin ardıcılığının funksional sxemi şəkil 3.3.3-də verilmişdir [2].



Şəkil 3.3.3. Mikroprosessorada yerinə yetirilən çevirmələrin ardıcılığının funksional sxemi

ARÇ-nin ölçmə gərginliyinə U düz mütənəsib olan Δt müddəti bilavasitə tutum çeviricisinin giriş parametri olan x xətti yerdəyişmənin qiymətini ifadə etməlidir. Digər tərəfdən mikroprosessorun çıxışında alınan kəmiyyət millimetrlə x -in qiymətini göstərməlidir. Bu tələbatı ödəmək üçün mikroprosessoradan çevirmə ardıcılığını yerinə yetirmək üçün standart tezlik generatorundan (STG), məntiqi “VƏ” elementindən, tezlik bölücüsündən (TB), impuls sayğacından (İS), rəqəm qəbuledici cihazdan (RQC), öz-özünə yazma qurğusundan (ÖYQ) və kompüterdə yaddaş qurğusundan (KY) istifadə edilir.

“VƏ” məntiqi elementinin girişlərindən birinə Δt müddətli impuls, digər girişinə isə STG-nin etalon tezlikli f_e signalı verilir. “VƏ” məntiqi elementinin çıxışından f_e tezlik signalı TB-nin girişinə verilir və çıxışında aşağıdakı hesabla ölçmə tezlik signalı alınır:

$$f_0 = \frac{f_e}{k}. \quad (3.3.2)$$

burada, k –tezlik bölücüsü əmsalıdır.

Tezlik bölücüsü əmsalının qiyməti elə seçilməlidir ki, f_0 -nin qiyməti x -ə düz mütənasib olmaqla, çıxış kəmiyyəti millimetrlə ifadə edilsin. k -nın qiyməti təcrübi yolla təyin edilir. Ölçmə tezlik siqnalı f_0 impuls sayğacı vasitəsilə hesablanır və nəticə onluq rəqəm formasında alınır. Çıxış siqnalı lazım gəldikdə paralel olaraq, RQC, ÖYQ və KY bloklarına verilir və orada öz əksini tapır.

Böyük yerdəyişməli tutum vericiləri digər vericilərlə müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdirlər.

- 1) Tutum vericisinin hərəkət edən hissəsinin çox az güc tələb etməsi;
- 2) Enerjinin az tələb olunması;
- 3) Hazırlanmanın sadəliyi;
- 4) Ucuz materiallardan istifadə olunması;
- 5) Kontaktların olmaması;
- 6) Tutum vericisinin yüksək dəqiqliyi və stabilliyi.

3.4. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin xarakteristikalarının təyini

Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisi ardıcıl qoşulmuş və eyni ölçülərə malik olan n sayda kondensatorlardan ibarətdir.

TV-nin həssas elementi elektrik kondensatoru olduğu üçün onun çevirmə funksiyası lövhələrin sahəsi, lövhələr arasındakı məsafə və lövhələr arasındakı mühitin dielektrik nüfuzluğu ilə təyin olunur. Bu dəyişənlərin hər biri öz-özlüyündə xüsusi təsir imkanlarına malikdirlər. Odur ki, böyük xətti yerdəyişməli elektrik tutum vericisinin işlənməsində bu parametrlərin tədqiqi vacib məsələ hesab edilirlər və müxtəlif təyinatlı ölçmələrdə bu parametrlər fərqli xarakterli olurlar.

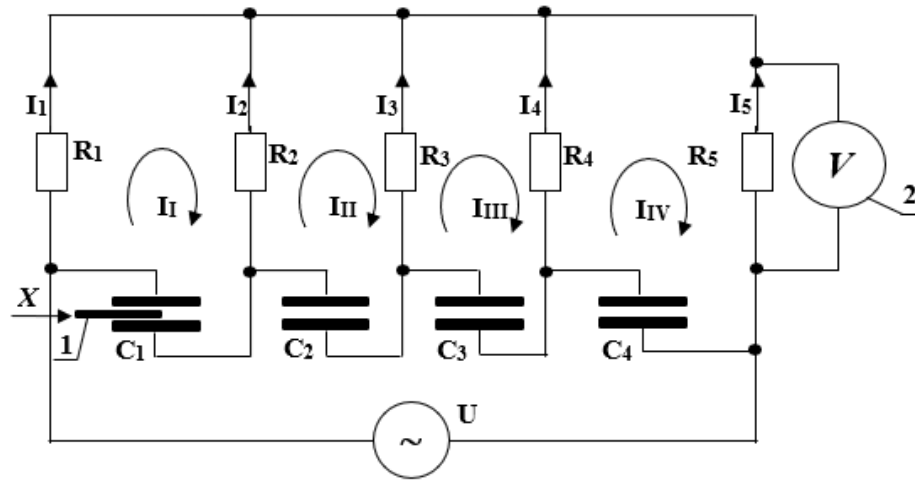
Geniş tətbiq sahələrinə malik olan tutum vericiləri çox asanlıqla İÖS-in strukturuna asanlıqla adaptasiya oluna bilirlər və onların müxtəlif konstruktiv birləşdirilmələri yeni məsələlərin həllində uğurlu həllərə gətirib çıxarır. Bu məsələlərdən biri də tutum vericilərinin tətbiqi ilə böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi məsələsidir. Belə ki, böyük yerdəyişmələrin yüksək həssaslıqla ölçülməsi üçün kondensatorların ardıcıl qoşulması və onların vahid konstruksiyada birləşməsi -

layihələndirilməsi nəzərdə tutulur. Tutum çeviricisi layihələndirilərkən onun konstruksiyası, istifadə edilən elementlərin materialları, hazırlanma texnologiyası və çevirmə funksiyalarının səlistliyinə xüsusi diqqət yetirilir. Kondensatorların konstruksiyası zamanı onların köynəkləri əsasən paralel müstəvi lövhələr və ya silindrik elektrodlar şəkilində hazırlanır.

Böyük xətti yerdəyişməli elektrik tutum vericisinin giriş parametri kondensator lövhələri arasında yerdəyişmə edən nüvənin hərəkət dinamikası və bununla eyni zamanda tutumun digər parametrləri - lövhələrin sahəsi, lövhələr arası məsafə və lövhələr arası sahənin dielektrik nüfuzluğu tədqiq edilir. Bu zaman vericinin hansı parametrinin daha informativ olması, onların bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqəsi və ölçmə kəmiyyətindən funksional asılılığı məsələlərinin həlli yolları araşdırılmışdır.

Yuxarıda qeyd olunanlarla yanaşı vericinin real istismar şəraitinin, mühitin qiymətləndirilməsi və kənar təsirlərin kompensasiyası məsələləri də tədqiq edilmişdir.

Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisi layihələndirilərkən paralel müstəvi lövhəli kondensatorlar bir-biri ilə ardıcıl qoşulmuşlar. Nümunə olaraq şəkil 3.4.1-də dörd ədəd ardıcıl qoşulmuş kondensatordan ibarət tutum vericisi təqdim olunmuşdur.



Şəkil 3.4.1. Dörd ədəd kondensatordan ibarət xətti yerdəyişməli tutum vericisinin sxemi

Şəkildən göründüyü kimi hər bir tutum (kondensator) iki müvafiq rezistordan ibarət ($R_1R_2C_1$, $R_2R_3C_2$, $R_3R_4C_3$, $R_4R_5C_4$) ardıcıl dövrə təşkil edir və kontur cərəyanlar metodunun tətbiqi ilə gərginliklərin təyini üçün aşağıdakı tənliklər sistemi alınır:

$$\begin{cases} I_I (R_1 + R_2) - I_{II} R_2 = U_{10} \\ -I_I R_2 + I_{II} (R_2 + R_3) - I_{III} R_3 = U_{20} \\ -I_{II} R_3 + I_{III} (R_3 + R_4) - I_{IV} R_4 = U_{30} \\ -I_{III} R_4 + I_{IV} (R_4 + R_5) = U_{40} \end{cases} \quad (3.4.1)$$

(3.4.1) tənliklər sistemində $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R$ qəbul etməklə sadələşmə aparmaqla aşağıdakı sistem tənliyi alırıq:

$$\begin{cases} 2RI_I - RI_{II} = U_{10} \\ -RI_I + 2RI_{II} - RI_{III} = U_{20} \\ -RI_{II} + 2RI_{III} - RI_{IV} = U_{30} \\ -RI_{III} + 2RI_{IV} = U_{40} \end{cases} \quad (3.4.2)$$

burada I_I, I_{II}, I_{III} və I_{IV} – uyğun kontur cərəyanlarıdır, U_{10}, U_{20}, U_{30} və U_{40} – kondensatorların lövhələri arasındakı gərginliklərdir.

(3.4.2) tənliklər sistemini həll etdikdə sonuncu kontur cərəyanı (I_{IV}) təyin edilir ki, bu da R_5 rezistorundan axan çıxış cərəyanıdır ($I_5=I_{IV}$). Beləliklə aşağıdakı ifadə alınır:

$$I_{IV} = \frac{1}{5R} (U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40}), \quad (3.4.3)$$

Beləliklə dövrənin budaqlarından axan cərəyanlar təyin edilmiş olur və bu zaman kontur cərəyanlarının kondensatorlardan keçərək onlarda yaratdıqları gərginlik düşgülləri nəzərə alınmamışdır, qəbul edilmişdir ki, gərginlik ΔU qədər azalır.

(3.4.1) tənliklər sistemində I_I, I_{II}, I_{III} və I_{IV} kontur cərəyanları təyin edilərək tutum vericisinin çıxış gərginliyi üçün ümumi ifadə alınır, gərginliyin aktiv və reaktiv toplananları təyin edilir.

(3.4.3) və (3.4.2) tənliklər sistemindən uyğun qayda ilə I_{III} kontur cərəyanı təyin edilir:

$$\begin{aligned}
I_{III} &= \frac{1}{R}(2RI_{IY} - U_{40}) = \frac{1}{R} \left[\frac{1}{5R}(U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40})2R - U_{40} \right] = \\
&= \frac{1}{R} \left[\frac{2}{5}U_{10} + \frac{4}{5}U_{20} + \frac{6}{5}U_{30} + \frac{8}{5}U_{40} - U_{40} \right] = \frac{1}{5R} [2U_{10} + 4U_{20} + 6U_{30} + 3U_{40}]
\end{aligned} \tag{3.4.4}$$

Eynilə (3.4.2) tənliklər sistemindən I_{II} və I_I kontur cərəyanları təyin edilir:

$$\begin{aligned}
I_{II} &= \frac{1}{R} [2RI_{III} - RI_{IY} - U_{30}] = \frac{1}{R} \left[\frac{1}{5R}(2U_{10} + 4U_{20} + 6U_{30} + 3U_{40})2R - \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{5R}(U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40})R - U_{30} \right] = \frac{1}{5R} [3U_{10} + 6U_{20} + 4U_{30} + 2U_{40}].
\end{aligned} \tag{3.4.5}$$

$$\begin{aligned}
I_I &= \frac{1}{R} [2RI_{II} - RI_{III} - U_{20}] = \frac{1}{R} \left[\frac{1}{5R}(3U_{10} + 6U_{20} + 4U_{30} + 2U_{40})2R - \right. \\
&\quad \left. - \left[\frac{1}{5R}(2U_{10} + 4U_{20} + 6U_{30} + 3U_{40})R - U_{20} \right] \right] = \frac{1}{5R} (4U_{10} + 3U_{20} + 2U_{30} + U_{40}).
\end{aligned} \tag{3.4.6}$$

Alınan ifadələrdən istifadə etməklə C_1 kondensatorundakı U_1 gərginlik düşgüsü təyin edilir:

$$U_{C1} = I_1 j \cdot X_{C1}; \tag{3.4.7}$$

Ölçüləcək X xətti yerdəyişmənin təsirindən nüvə, kondensator lövhələri arasında müəyyən vəziyyət alır. Bu halda kondensatorun tutumu [1]:

$$C_1 = \left(\frac{\varepsilon_0 b x}{0.2 \delta_0} + \frac{\varepsilon_0 (a - x) b}{\delta_0} \right), \tag{3.4.8}$$

burada a – kondensator lövhəsinin uzunluğu, b – isə enidir. Bu halda kondensatorun müqaviməti

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{2\pi f \left(\frac{\varepsilon_0 (a - x) b}{\delta_0} + \frac{\varepsilon_0 b x}{0.2 \delta_0} \right)}, \tag{3.4.9}$$

olacaqdır, onda gərginlik üçün aşağıdakı ifadə alınacaqdır:

$$U_1 = \frac{1}{5R} (4U_{10} + 3U_{20} + 2U_{30} + U_{40}) \cdot j \frac{1}{2\pi f \left(\frac{\varepsilon_0 (a-x)b}{\delta_0} + \frac{\varepsilon_0 bx}{0.2\delta_0} \right)} =$$

$$= \frac{1}{5R} (4U_{10} + 3U_{20} + 2U_{30} + U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \quad (3.4.10)$$

Buna uyğun olaraq C_2 , C_3 və C_4 kondensatorlarındakı gərginlik düşgülləri də hesablanır:

$$U_2 = I_{II} j X_{C_2} = \frac{1}{5R} (3U_{10} + 6U_{20} + 4U_{30} + 2U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \quad (3.4.11)$$

$$U_3 = I_{III} j X_{C_3} = \frac{1}{5R} (2U_{10} + 4U_{20} + 6U_{30} + 3U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \quad (3.4.12)$$

$$U_4 = I_{IV} j X_{C_4} = \frac{1}{5R} (U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \quad (3.4.13)$$

Vericinin çıxış gərginliyi ümumi halda aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$U_{cix} = \frac{1}{5} [(U_{10} - U_1) + 2(U_{20} - U_2) + 3(U_{30} - U_3) + 4(U_{40} - U_4)] \quad (3.4.14)$$

(3.4.10) - (3.4.13) ifadələrindən U_1, U_2, U_3 və U_4 gərginliklərini (3.4.14) ifadəsində nəzərə alsaq:

$$U_{cix} = \frac{1}{5} \left[\begin{aligned} &U_{10} - \frac{1}{5R} (4U_{10} + 3U_{20} + 2U_{30} + U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} + \\ &+ 2 \left(U_{20} - \frac{1}{5R} (3U_{10} + 6U_{20} + 4U_{30} + 2U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \right) + \\ &+ 3 \left(U_{30} - \frac{1}{5R} (2U_{10} + 4U_{20} + 6U_{30} + 3U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \right) + \\ &+ 4 \left(U_{40} - \frac{1}{5R} (U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40}) \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f (\varepsilon_0 (a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \right) \end{aligned} \right] \quad (3.4.15)$$

Sadə çevirmələr apardıqdan sonra çıxış gərginliyi:

$$U_{cix} = \frac{1}{5} \left[U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40} - \frac{1}{5R} \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f(\varepsilon_0(a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \times \right. \\ \left. \times (20U_{10} + 35U_{20} + 40U_{30} + 30U_{40}) \right] \quad (3.4.16)$$

(3.16) ifadəsindən çıxış gərginliyinin aktiv və reaktiv toplananları təyin edilir:

$$R_e U_{cix}(x) = \frac{1}{5} (U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40}), \quad (3.4.17)$$

$$I_m U_{cix}(x) = -\frac{1}{5} \left[\frac{1}{5R} \cdot j \frac{0.2\delta_0}{2\pi f(\varepsilon_0(a-x)b \cdot 0.2 + \varepsilon_0 bx)} \times (20U_{10} + 35U_{20} + 40U_{30} + 30U_{40}) \right] \quad (3.4.18)$$

Çıxış gərginliyin tam ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır:

$$U_{cix}(x) = \sqrt{R_e U_{cix}(x)^2 + I_m U_{cix}(x)^2} \quad (3.4.19)$$

Aşağıda nümunə üçün

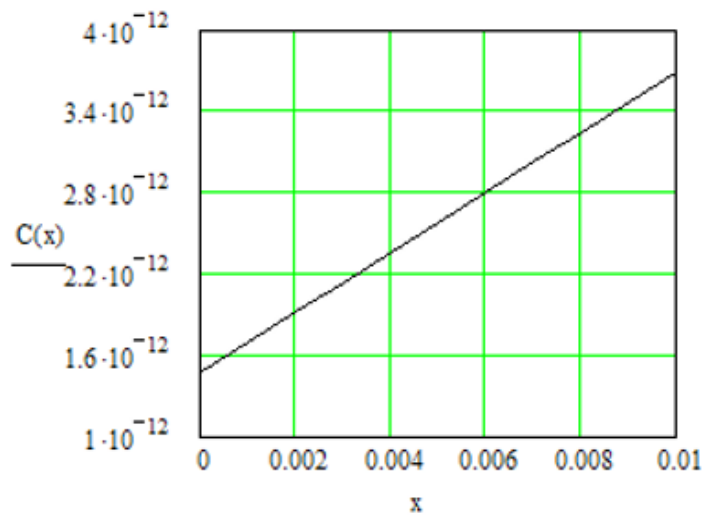
$$f = 10^6 \text{ Hz}; U_{10} = U_{20} = U_{30} = U_{40} = 30 \text{ V}; R = 10^3 \text{ Ohm}; a = b = 10^{-2} \text{ m}; \\ \delta_0 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}; \varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}; x = (0 \div 10) \text{ sm}$$

qəbul etməklə (3.4.19) tənliyindən “MathCad” proqramlar paketindən istifadə edilmiş, $U_{cix(x)} = f(x)$ və $C_{(x)} = f(x)$ asılılıqları üçün aşağıdakı xarakteristikalar alınmışdır (şəkil 3.4.2 a, b).

$$f := 10^6 \quad U := 30 \quad R := 10^3 \quad \omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$a := 10^{-2} \quad b := 10^{-2} \quad \delta_0 := 6 \cdot 10^{-4} \quad \varepsilon_0 := 8.85 \cdot 10^{-12} \quad x := 0, 10^{-3} \dots 10^{-2}$$

$$C(x) := \left(\frac{\varepsilon_0 \cdot b}{\delta_0} \right) \cdot (a + 1.5 \cdot x)$$



x =	C(x) =
0	1.475·10 ⁻¹²
1·10 ⁻³	1.696·10 ⁻¹²
2·10 ⁻³	1.917·10 ⁻¹²
3·10 ⁻³	2.139·10 ⁻¹²
4·10 ⁻³	2.36·10 ⁻¹²
5·10 ⁻³	2.581·10 ⁻¹²
6·10 ⁻³	2.802·10 ⁻¹²
7·10 ⁻³	3.024·10 ⁻¹²
8·10 ⁻³	3.245·10 ⁻¹²
9·10 ⁻³	3.466·10 ⁻¹²
0.01	3.687·10 ⁻¹²

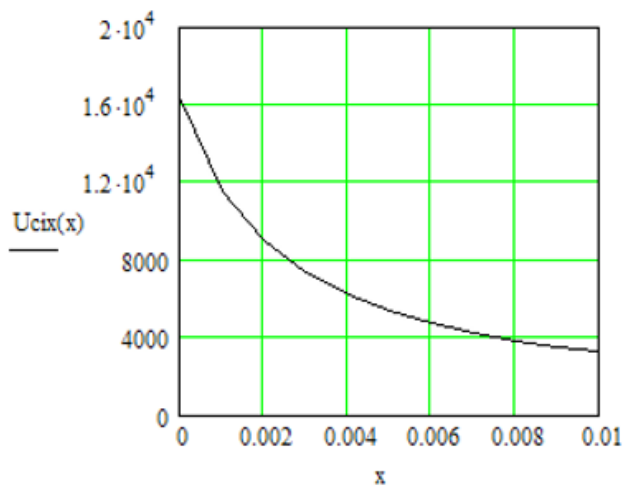
Şəkil 3.4.2 a. $C_{(x)} = f(x)$ asılılığının sınaq nəticəsi

$$\text{ReUcix}(x) := \frac{(10U)}{5}$$

$$\text{ImUcix}(x) := \frac{-125 \cdot \delta_0 \cdot U \cdot 0.2}{25 \cdot R \cdot \omega \cdot [0.2 \cdot \varepsilon_0 \cdot (a - x) \cdot b + \varepsilon_0 \cdot b \cdot x]}$$

$$\text{XC}(x) := \frac{1}{\omega \cdot C(x)}$$

$$\text{Ucix}(x) := \sqrt{\text{ReUcix}(x)^2 + \text{ImUcix}(x)^2}$$



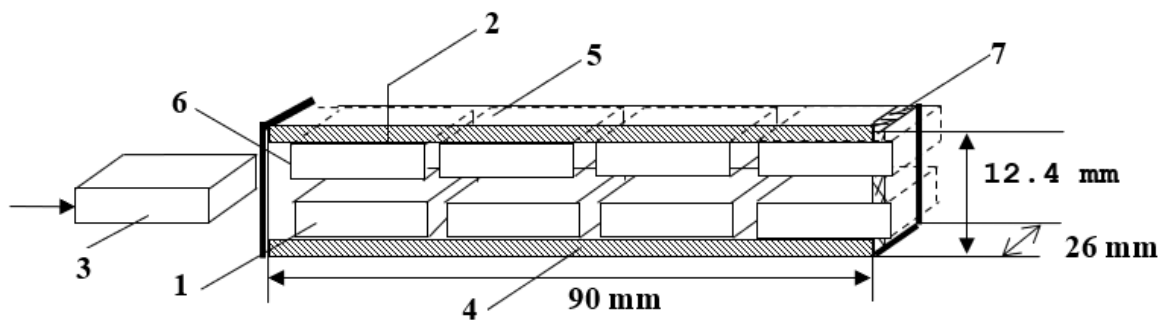
Ucix(x) =	XC(x) =
1.619·10 ⁴	1.079·10 ⁵
1.156·10 ⁴	9.383·10 ⁴
8.992·10 ³	8.3·10 ⁴
7.357·10 ³	7.441·10 ⁴
6.225·10 ³	6.744·10 ⁴
5.395·10 ³	6.166·10 ⁴
4.761·10 ³	5.679·10 ⁴
4.26·10 ³	5.263·10 ⁴
3.854·10 ³	4.905·10 ⁴
3.519·10 ³	4.592·10 ⁴
3.238·10 ³	4.316·10 ⁴

Şəkil 3.4.2 b. $U_{cix(x)} = f(x)$ asılılığının sınaq nəticəsi

Paralel müstəvi lövhəli tutum vericilərinin konstruksiyasını işləyərkən aşağıdakı tələbatlar yerinə yetirilməlidir:

- müstəvi lövhələrin həndəsi ölçüləri eyni olmalıdır;
- müstəvi lövhələrin paralelliyi təmin edilməlidir;
- lövhələr arası məsafə tənzimlənməlidir;
- tərpənməz lövhələrin yan səthləri arasındakı məsafə sabit saxlanmalıdır;
- lövhələr arasında hərəkət etdirilən nüvənin müstəvi səthləri olmalıdır;
- nüvənin tərpənməz lövhələr arasında xətti yerdəyişməsi müəyyən dəqiqliklə yerinə yetirilməlidir.

Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin konstruksiyasının ümumi görünüşü şəkil 3.4.3-də verilmişdir.



Şəkil 3.4.3. Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin konstruksiyasının ümumi görünüşü.

Şəkildə: 1, 2 – kondensatorun uyğun olaraq alt və üst tərpənməz lövhələri (20x20x2 mm), 3 – hərəkət etdirilən nüvə (20x20x2 mm), 4,5 – izolyator materialından (orqanik şüşə) olan qutunun alt və üst qapaqları (3 mm), 6 – qutunun çərçivə formalı ön qapağı, 7 – qutunun arxa (bütöv) qapağıdır.

Kondensatorun eyni ölçülərə malik lövhələri qutunun alt və üst qapaqlarının səthinə yapışdırılır. Nüvənin üst və alt səthləri 0.2 mm izolə edilmiş materialla örtüldükdən sonra kondensator lövhələri arasında tam yerləşdirilir və bu vəziyyətdə

qutunun ön (6) və arxa (7) qapaqları bərkidilir. Beləliklə, tutum vericisinin konstruksiya yığımı tamamlanır.

Aparılan tədqiqatlar zamanı aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir:

1. Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin lövhələri arasına xətti yerdəyişməyə uyğun olaraq nüvə daxil olarkən ondakı gərginliyin dəyişməsinin dəqiq riyazi modeli alınmış və vericinin xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi müəyyən olunmuşdur.

2. Paralel müstəvi lövhəli tutum vericisinin konstruksiyası dəqiqləşdirilmişdir.

Nüvənin kondensator lövhələri arasında ölçüləcək xətti yerdəyişməyə X uyğun ardıcıl hərəkət etdirilməsi vericinin xarakteristikasının xətti alınmasını təmin etməklə yanaşı, ölçü həddini genişləndirir və ölçmə dəqiqliyini artırır.

Elektrik dövrəsinə kontur cərəyanlar metodunu tətbiq edərək, xətti yerdəyişməyə X uyğun budaqlardan axan cərəyanlar, o cümlədən I_5 cərəyanı və R_5 müqavimətindəki gərginlik düşküsi təyin edilir [14].

Araşdırma nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, voltmetrin (2) göstərişinin ümumi halda yerdəyişmədən asılılığı belə ifadə olunur:

$$U_v = \frac{1}{n+1} \sum_{K=1}^n k U_{K_0} - \frac{K_v}{n+1} X, \quad (3.4.20)$$

Burada, birinci toplanan sabit, ikinci toplanan isə X -ə görə dəyişəndir.

Həqiqətdə, praktiki olaraq vericinin müəyyən xətalrı mövcuddur. Sxemdə 4 ədəd müstəvi lövhəli kondensator çeviriciləri istifadə olunur. Vericinin hesabatını apararkən onların parametrləri eyni qəbul edilmişdir. Əslində isə onların hazırlanma texnologiyası müəyyən buraxıla bilən xəyata malikdir. Məsələn, kondensator lövhələri və nüvənin materialının düzgün seçilməsi, onların hazırlanma dəqiqliyi, ətraf mühit temperaturunun dəyişməsinin tutum vericisinin parametrlərinə təsiri, istifadə olunan rezistorların ($R_1 \div R_2$) müqavimətlərinin eyni olmayıb müəyyən qədər bir-birindən, DÜST-ə görə fərqlənməsi, qida mənbəyi gərginliyinin amplitudunun və tezliyinin stabil olmayıb müəyyən qədər dəyişməsi və s. səbəblər.

Yuxarıda qeyd olunan xəta yarada bilən amillərin təsirindən vericinin xətası özünü xarakteristikanın düz xətdən fərqlənməsi ilə göstərir. Bunu təyin etmək üçün müəyyən temperatur şəraitində təcrübə aparmaq tələb olunur.

Ölçmə kəmiyyətinin zaman dəyişməsindən asılı olaraq ölçmə vəsaitlərinin aşağıdakı xətalara mövcuddur [6]:

- 1) Statik xəta – zaman ərzində sabit qalan kəmiyyəti ölçdükdə yaranan xətdir;
- 2) Dinamiki xəta – dinamik rejimdəki xəta ilə baxılan zaman anında ölçülən kəmiyyətin qiymətinə uyğun olan statik xəta arasındakı fərkdir.

Ölçmə vəsaitlərinin xətalalarının dəyişmə xarakterindən asılı olaraq aşağıdakılar mövcuddur:

- 1) Sistematik xətalər – eyni bir kəmiyyətin təkrar ölçülməsində ya sabit qalır, ya da müəyyən qanunla dəyişir;
- 2) Təsadüfi xətalər – eyni bir kəmiyyətin təkrar ölçülməsində təsadüfi olaraq dəyişir;
- 3) Kəbud xətalər – təcrübədə kəbud səhvlər buraxılması nəticəsində gözlənilməyən artıq alınan xətalardır.

Yaranma şəraitindən asılı olaraq aşağıdakı xətalər mövcuddur:

- 1) Əsas xəta – normal şəraitdə olunan ölçmə vəsaitlərinin xətası;
- 2) Əlavə xəta – ölçmə vasitəsinə təsir edən kəmiyyətlərdən birinin normal qiymətə nisbətən meyileməsi və ya normal qiymətlər həddindən kənara çıxması nəticəsində yaranan xətdir.

Statiki iş rejimində vericinin xarakteristikası laboratoriya şəraitində çıxarılarkən qida mənbəyi gərginliyinin amplitud qiyməti də tezliyi (1MHz) sabit saxlanılır və ölçüləcək xətti yerdəyişmə X tədricən vericinin nüvəsinin yerdəyişməsinə səbəb olur. Bu halda yuxarıda qeyd olunan xətalara əksəriyyəti nəzərə alınmır. Təcrübə apararkən qida gərginliyi $U=12V$, rezistorun müqaviməti $R=1,5M\Omega$, kondensator çeviricilərinin sayı 4 ($C_1 \div C_4$) qəbul edilir və çıxış gərginliyi voltmətrlə ölçülür. Ölçmələrin nəticələri Əlavə 6-da əyani rəqəmlərlə təqdim edilmişdir [14].

Təsadüfi xətanın olması halında ölçmə dəqiqliyini yüksəltmək üçün ölçmə prosesini dəfələrlə təkrar etmək lazımdır. Sistemətik xətanın olduğu halda təkrar aparılmış ölçməyə müəyyən düzəliş etmək tələb olunur. Bu halda sistemətik xətanı aradan götürmək olur. Göstərilən şərt daxilində ölçmənin nəticəsi A_i müxtəlif ölçmələrin orta cəbri qiymətinə bərabərdir:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}, \quad (3.4.21)$$

burada, $n=5 \times 4$ müşahidələrin sayı, A_i – i -ci müşahidənin nəticəsidir.

Cədvəldən dəfələrlə ölçmənin nəticələrinə əsasən ölçmənin orta qiymətini müxtəlif xətti yerdəyişmələr üçün hesablayırıq:

$$\begin{aligned} A_{i1} &= \frac{0,6055}{5} = 0,1211 \text{ V}; \\ A_{i2} &= \frac{1,2015}{5} = 0,2403 \text{ V}; \\ A_{i3} &= \frac{1,801}{5} = 0,3602 \text{ V}; \\ A_{i4} &= \frac{2,402}{5} = 0,4804 \text{ V}; \end{aligned} \quad (3.4.22)$$

Ölçüləcək kəmiyyətin həqiqi qiyməti məlum deyilsə, onda orta kvadrat qiyməti (OKQ) ölçmələrin nəticələrinə əsasən aşağıdakı düsturla təyin edirik:

$$\tilde{\sigma}(A) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}, \quad (3.4.23)$$

Hər bir xətti yerdəyişmə X – üçün hesablayırıq:

$$\begin{aligned}
\tilde{\sigma}_1(A) &= \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot 0,0000245} = 0,00247 \text{ V}; \\
\tilde{\sigma}_2(A) &= \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot 0,0000625} = 0,00395 \text{ V}; \\
\tilde{\sigma}_3(A) &= \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot 0,000012} = 0,00173 \text{ V}; \\
\tilde{\sigma}_4(A) &= \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot 0,000008} = 0,001414 \text{ V}.
\end{aligned}
\tag{3.4.24}$$

Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin sınaq ölçmələrinin nəticələri Əlavə 6-da cədvəl şəklində verilmişdir. Analoji olaraq ölçmə nəticəsinin dəyişmələrini xarakterizə etmək olar. Bu məqsədlə $\delta(A_i)$ parametrini ölçmənin nəticəsinə OKQ-yə əsasən müəyyən edirik. Ölçmənin nəticəsinə OKQ-nin vasitəsilə qiymətləndiririk:

$$\begin{aligned}
\tilde{\sigma}_1(A_i) &= \frac{\delta_1(A)}{\sqrt{n}} = \frac{0,00247}{\sqrt{5}} = 0,0011 \text{ V}; \\
\tilde{\sigma}_2(A_i) &= \frac{\delta_2(A)}{\sqrt{n}} = \frac{0,00395}{\sqrt{5}} = 0,00176 \text{ V}; \\
\tilde{\sigma}_3(A_i) &= \frac{\delta_3(A)}{\sqrt{n}} = \frac{0,00173}{\sqrt{5}} = 0,000774 \text{ V}; \\
\tilde{\sigma}_4(A_i) &= \frac{\delta_4(A)}{\sqrt{n}} = \frac{0,001414}{\sqrt{5}} = 0,0006323 \text{ V}.
\end{aligned}
\tag{3.4.25}$$

$\delta(A_i)$ dolayı yolla ölçmə nəticəsinin xətasını müəyyən edir.

Ölçmə nəticəsinin təsadüfi xətasının ehtimal sərhəddi ε aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\varepsilon = \pm t \cdot \delta(A_i),
\tag{3.4.26}$$

burada $t=2,13$ Student əmsalı olub, iki parametrdən ölçmələrin sayından n və qəbul olunmuş ehtimal p -dən asılıdır. Ehtimalın qiymətini $P=0,95$ qəbul edirik. Bu halda ölçmə nəticəsinin xəta sərhəddi belə olacaqdır:

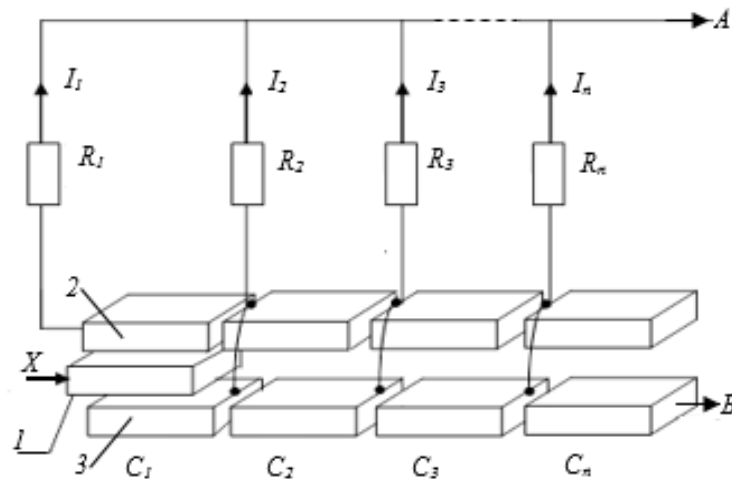
$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \pm 2,13 \cdot 0,0011 = \pm 0,002343 \text{ V}; \\ \varepsilon_2 &= \pm 2,13 \cdot 0,00176 = \pm 0,003749 \text{ V}; \\ \varepsilon_3 &= \pm 2,13 \cdot 0,000774 = \pm 0,001649 \text{ V}; \\ \varepsilon_4 &= \pm 2,13 \cdot 0,0006323 = \pm 0,001347 \text{ V}.\end{aligned}\tag{3.4.27}$$

Beləliklə təyin edirik ki, xəta $0,003749$ -dan çox olmur. Ölçmənin nəticəsi uyğun olaraq bərabərdir:

$$\begin{aligned}X = 2 \text{ sm} - \text{də} \quad X_1 &= A_{i1} \pm \varepsilon_1 = (0,1211 \pm 0,002343) \text{ sm}; \\ X = 4 \text{ sm} - \text{də} \quad X_2 &= A_{i2} \pm \varepsilon_2 = (0,2403 \pm 0,003749) \text{ sm}; \\ X = 6 \text{ sm} - \text{də} \quad X_3 &= A_{i3} \pm \varepsilon_3 = (0,3602 \pm 0,001649) \text{ sm}; \\ X = 8 \text{ sm} - \text{də} \quad X_4 &= A_{i4} \pm \varepsilon_4 = (0,4804 \pm 0,001347) \text{ sm}.\end{aligned}\tag{3.4.28}$$

3.5. Böyük yerdəyişmələrin yüksək dəqiqliklə ölçülməsi üçün qurğu

Tutum vericilərinin tətbiqi ilə böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün yeni qurğu təklif olunur və burada ölçmə əməliyyatı tutumun cari qiymətləri ilə onun elektrodları (köynəkləri) arasına xətti yerdəyişmə edən nüvənin xətti yerdəyişmələri arasındakı funksional asılılıq ilə həyata keçirilir. Bu qurğudan nisbətən böyük hesab edilən proseslərdə xətti yerdəyişmələrin yüksək dəqiqliklə ölçülməsində istifadə etmək olar. Qurğunun mahiyyəti xətti ölçmə intervalının artırılması üçün bir-biri ilə ardıcıl birləşdirilmiş bir neçə eyni qiymətli tutumdan ($C_1, C_2, \dots, C_n$), onların lövhələri (2 və 3) arasına sərbəst xətti hərəkət edən nüvədən (1) və ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün etalon tutumdan ibarət qurğunun layihələndirilməsidir (Şəkil 3.5.1).

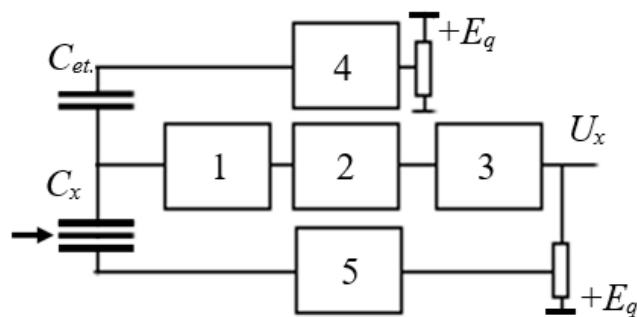


Şəkil 3.5.1. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin birləşmə sxemi

Sxemdə $R_1, R_2, \dots, R_n$ – tutumlar arasındakı eyni qiymətli müqavimətlər;

$I_1, I_2, \dots, I_n$ – kontur cərəyanlarıdır.

Hansı ki, özündə bir-biri ilə ardıcıl birləşdirilmiş ölçü tutumu C_x və etalon tutumun $C_{et.}$ birinci lövhələrinin birləşmə nöqtəsini integratorun (3) girişi ilə birləşdirən ardıcıl qoşulmuş tezlik zolaqlı gücləndirici (1) və demodulyatoru (2), integratorun çıxışını ölçü tutumunun ikinci lövhəsi ilə ardıcıl birləşdirən birinci modulyator (5) və miqyas potensimetrindən ibarət əks-əlaqə dövrəsini və etalon tutumunun ikinci lövhəsinə ardıcıl qoşulmuş ikinci modulyator (4) və sürüşmə potensimetrindən ibarət həyacanlandırıcı dayaq sxemini ehtiva edir (şəkl. 3.5.2). Qurğuda texniki nəticə kimi xətti yerdəyişmənin ölçmə intervalının və ölçmə dəqiqliyinin artırılması nəzərdə tutulur.



Şəkil 3.5.2. Böyük yerdəyişmələrin yüksək dəqiqliklə ölçülməsi üçün qurğu

Qurğu tutumun ölçülməsi ilə böyük yerdəyişmələrin yüksək dəqiqliklə ölçmə sahəsinə aiddir. Tutum vericisi böyük yerdəyişmələrin təyinində müxtəlif təyinatlı qurğularda istifadə edilə bilər.

Xətti yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün məlum tutum vericisində ölçü tutumu ilə dayaq tutumunun birləşmə nöqtəsi gücləndiricidən və tutumdan ibarət integratorunun birinci girişinə ardıcıl birləşmiş zolaqlı gücləndirici və demodulyatorla qoşulur. Integratorun çıxışı və ölçü tutumu ardıcıl birləşmiş birinci modulyator və miqyas potensiometrinə qoşulur. Dayaq tutumuna ikinci modulyator və sürüşmə potensimetri ardıcıl qoşulur [83]. Bu qurğu prototip kimi seçilmişdir və çox əlamətləri təklif olunan həll ilə üst-üstə düşür. Təsvir olunan tutumlu yerdəyişmə ölçənin əsas çatışmayan cəhəti onun, böyük yerdəyişmələrin ölçülməsinin mümkün olmaması və funksional imkanların məhdud olmasıdır.

Qurğunun məqsədi universal və etibarlı, yüksək ölçmə dəqiqliyinə, böyük yerdəyişmələrin ölçülməsinə və geniş funksional imkanlara malik böyük yerdəyişməli tutum vericisinin yaradılmasından ibarətdir.

Qurğunun texniki nəticəsi böyük yerdəyişmələrin ölçmə intervalının, ölçmə dəqiqliyinin və funksional imkanlarının artırılmasından ibarətdir.

Göstərilən texniki nəticəyə nail olmaq üçün yeni qurğu ardıcıl birləşdirilmiş eyni nominallı ölçü tutumlarından və onların lövhələri arasında sərbəst hərəkət edə bilən nüvədən (şək. 3.5.1), həyacanlandırıcı dayaq sxemindən və əks əlaqə konturundan ibarət qurulmuşdur.

Şəkil 3.5.2-də böyük xətti yerdəyişmələri təyin etmək üçün tutumla ölçmə qurğusunun sxemi verilmişdir.

Böyük xətti yerdeyişmələri ölçmək üçün yeni tutum vericisi ölçmə dövrəsindən (şək. 3.5.1) və idarəetmə modulundan ibarətdir (şək. 3.5.2).

Ölçmə dövrəsi bir-biri ilə ardıcıl birləşdirilmiş bir neçə eyni qiymətli tutumdan ($C_1, C_2, \dots, C_n$), onların lövhələri (2 və 3) arasına sərbəst xətti hərəkət edən nüvədən (1) ibarətdir.

İdarəetmə modulu isə etalon tutumdan ($C_{et.}$), integrator (3), tezlik zolaqlı gücləndirici (1), demodulyator (2), iki ədəd modulyator (4 və 5), miqyas potensiometrindən, əks-əlaqə dövrəsindən və sürüşmə potensiometrindən ibarətdir.

Böyük xətti yerdəyişməli ölçən tutum vericisinin iş prinsipi belədir: həyacanlandırıcı sxem 4 etalon qiymətli tutumların növbəli qoşulmaları hesabına etalon gərginliklər yaradır, integrator 3 və demodulyator 2 sıfır-dedektor kimi işləyirlər. Nəticədə, tutumların orta nöqtəsində gərginliyin qiyməti 0 volta yaxın olur və vericinin parametrləri arasındakı asılılıqlara uyğun olaraq ölçmə nəticələri təyin olunur.

Əks tutumun ölçülməsi ilə küyün səviyyəsi təyin olunur, eyni zamanda yüksək cəldliklə avtokorreksiya baş verir və ölçmə dəqiqliyi yüksəlir.

Böyük xətti yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün vericinin ölçü tutumları bir-biri ilə ardıcıl birləşir və bu lövhələr arasında nüvə xətti hərəkət etdikcə ölçü tutumun qiyməti (C_x) və uyğun olaraq çıxış gərginliyinin qiyməti (U_x) A və B nöqtələrində ölçülür.

Tutumların lövhələri arasında hərəkət edən nüvənin yerdəyişməsinin test ölçmələri hesabına qiymətləndirilməsi zamanı çıxış siqnalının yüksək dəqiqliyi və çıxış xarakteristikasının xəttiliyi təmin edilir, ölçmə intervalı genişlənir və ölçmə dəqiqliyi artır.

Böyük xətti yerdəyişmələri ölçmək üçün təklif olunan tutum vericisinin konstruksiyasında ölçü tutumlarının lövhələri tərpənməz qalır və nüvənin xətti yerdəyişməsinin yüksək dəqiqliklə ölçülməsi təmin edilir. Qurğunun iş prinsipi [83] ədəbiyyatda daha ətraflı verilmişdir.

Təklif olunan yeni qurğu digər məlum qurğularla müqayisədə aşağıdakı üstünlüklərə malikdir: yeni tutum vericisinin tələb etdiyi enerji minim, konstruksiyası sadə, istifadə olunan materialların ucuz, yüksək ölçmə dəqiqliyinin və stabilliyin olması və kontaktların olmamasıdır.

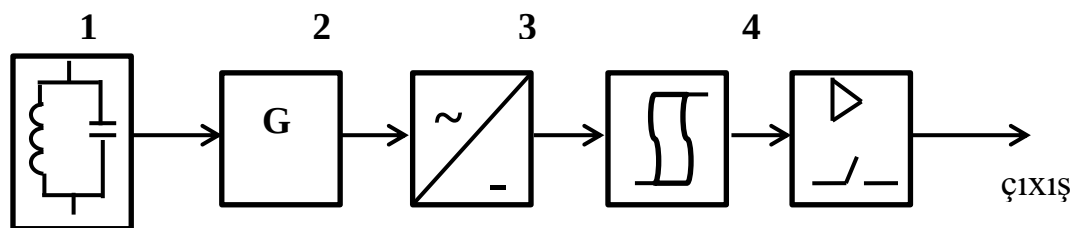
3.6. Obyektin varlığını qeyd edən tutum vericisi

Obyektin varlığını məsafədən qeyd edən sadə tutum vericisinin simulyasiya modeli qurulmuş, tədqiq edilmiş və iş prinsipi verilmişdir. Obyektin varlığını qeyd edən tutum vericisinin tətbiq sahələri, üstün və çatışmayan cəhətləri araşdırılmışdır.

Göründüyü kimi artıq reallıqlar baş verdikcə insanların düşüncələri də dəyişir, yeni yanaşmalar, yeni texnologiyalar yaradılır. Ən çox diqqət insan həyatının, komfort yaşam tərzinin və təhlükəsizliyinin təmininə yönəlmişdir. Uçuşlarda, gəmilərdə, sosial, yaşayış və inzibati binalarda, sənayenin bütün sahələrində, ümumilikdə insan həyatının təhlükəsizliyi ən ali vəzifə hesab edilməlidir. Bunun üçün daha etibarlı mühafizəedici sistemlərin yaradılması istiqamətində fikirləşmək və düşünmək məcburiyyətindəyik.

İnsanlar etibarlı müdafiə və mühafizə üçün daha mükəmməl sistemlərin yaradılmasına can atırlar. Bu məqsədlə müasir sensor qurğularının yaradılmasına böyük tələb yaranmışdır. Belə, vacib qurğulardan biri də obyektin varlığını qeyd edən tutum vericilərdir. Obyektin varlığını qeyd edən vericinin çıxış signalı obyektin hərəkətdə və ya sükunətdə olmasından asılı deyildir. Belə vericilərdən bütün növ mühafizə və nəzarət sistemlərində, enerjinin idarə edilməsində, hətta interaktiv oyuncaqlarda da geniş istifadə edilir [101].

Tutum çeviricili sensorun funksional quruluşunun işlənmə prinsipinə baxaq. Tutum çeviricili sensorun funksional sxemi şəkil 3.6.1-də verilmişdir [21].



Şəkil 3.6.1. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin funksional sxemi

burada 1–həssas element – sensor (rezonans konturlu gücləndirici); 2 – LC sinusoidal rəqsli generator; 3 – demodulyator; 4 – komporator; 5 – çıxış açar gücləndirici.

Sxemədə həssas element kimi rezonans konturlu gücləndiricidən istifadə edilir. Həssas elementin tezliyi dəyişdirilərək rezonans tezliyinə bərabər olduqda $f_k = f_{rez}$. həssas elementin müqaviməti maksimal qiymət alır və buna uyğun olaraq çıxış gərginliyi yüksək səviyyəyə çatır.

Rezonans konturunda induktivliyin əvəzedicisi kimi giratordan istifadə edilir və giratorun giriş müqaviməti yük müqaviməti ilə tərs mütənəsib olub aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$Z_{gir.} = \frac{a}{Z_{yük}}, \quad (3.6.1)$$

burada a – ölçmə əmsalı, sabitidir.

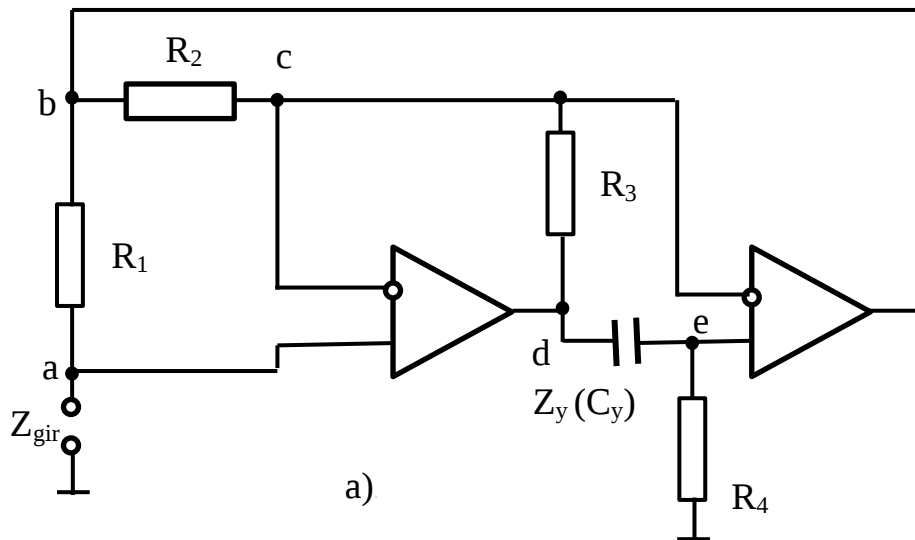
Əgər generatorun yük müqaviməti kimi kondensatordan istifadə etsək, onda aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

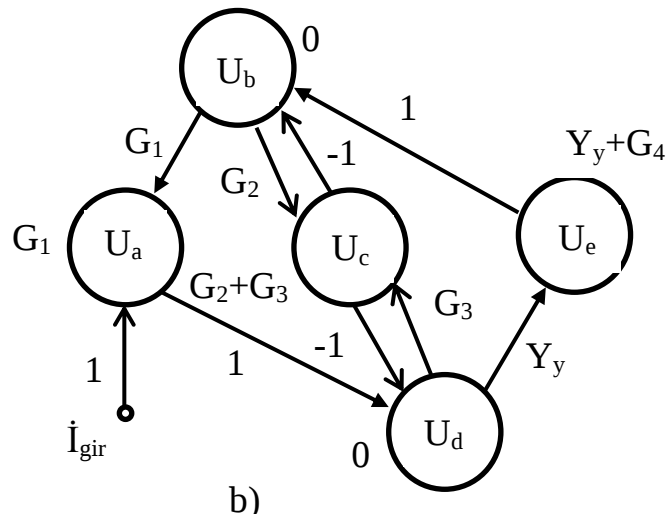
$$Z_{yük} = \frac{1}{j\omega C_{yük}}, \quad (3.6.2)$$

Beləliklə, induktiv xarakterli giriş müqaviməti almış olarıq:

$$Z_{gir.} = j\omega a C_{yük}, \quad (3.6.3)$$

Giratorun sxemi şəkil 3.6.2 a və ona uyğun qrafı şəkil 3.6.2 b-dəki kimidir [21].





Şəkil 3.6.2. a – giratorun sxemi, b – qraf sxemidir

Qeyd olunan sxem aşağı tezlik oblastı üçün yararlıdır və yüksək keyfiyyət əmsalına malik rezonans konturu yaratmağa imkan verir. İstifadə olunan tezlik diapazonu seçilmiş əməliyyat gücləndiricisinin (ƏG) parametrlərindən asılıdır.

Obyektin varlığını qeyd edən (hiss və ya xəbərdar edən) sadə tutum vericisinin işlənmə prinsipinə baxaq. Əyani olaraq obyektin varlığını qeyd edən tutum vericisi bazasında sadə bir nümunə Electronics Workbench proqramı vasitəsilə simulyasiya edilmiş, elektrik sxemi isə şəkil 3.6.3-də verilmişdir [21].

Sxemin əsasını xarici tutumla yüklənən, yüksək Om -lu çıxışa malik tranzistorlu yüksək tezlikli generator təşkil edir. Xarici tutumla yüklənmə nəticəsində tranzistorun kanalından keçən cərəyan dəyişir və bu həssas elementi C_1 kondensatoru istifadə edir. Obyekt kimi metal tərkibli istənilən əşya, məsələn, döşəmədə və ya divarda metal lövhə, çərçivə, naqıl parçası və s. götürülə bilər. Baxdığımız sxemdə C_4 kondensatoru obyekt əvəzi götürülüb və bu kondensatoru $10pF$ -dən $50pF$ -dək diapazonunda dəyişdirilməsi ilə alınan çıxış siqnalları – xarakteristikaları ossilloqraf vasitəsilə izlənilmişdir.

Obyektin varlığını qeyd edən tutum vericilərindən rezervuarlarda maye və dənəvər materialların hərəkət dinamikasına (doldurulması və boşaldılması) nəzarət etmək, hazır məhsulların sayılmasında sayğac kimi, avtomobillərin maneələrə

yaxınlaşmasını xəbərdarlıq edən nəzarət qurğusu kimi, ağırlıq əleyhinə sistemlərdə həssas element kimi və s. istifadə edilə bilərlər. Göründüyü kimi informasiya texnologiyalarının inkişafı ilə əlaqədar sensorların ölçmə texnikasında tətbiqi mühüm yer tutur və onlara olan tələbat yüksəlir. Bu mənada tutum çeviricili sensorlar əsasında müxtəlif avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin yaradılması aktual məsələdir.

Tutum vericilərinin üstün cəhəti – aşağı ətalətliliyi və yüksək həssaslığıdır. Çatışmayan cəhəti – xarici elektromaqnit sahəsinin təsirinə həssas olmasıdır [109].

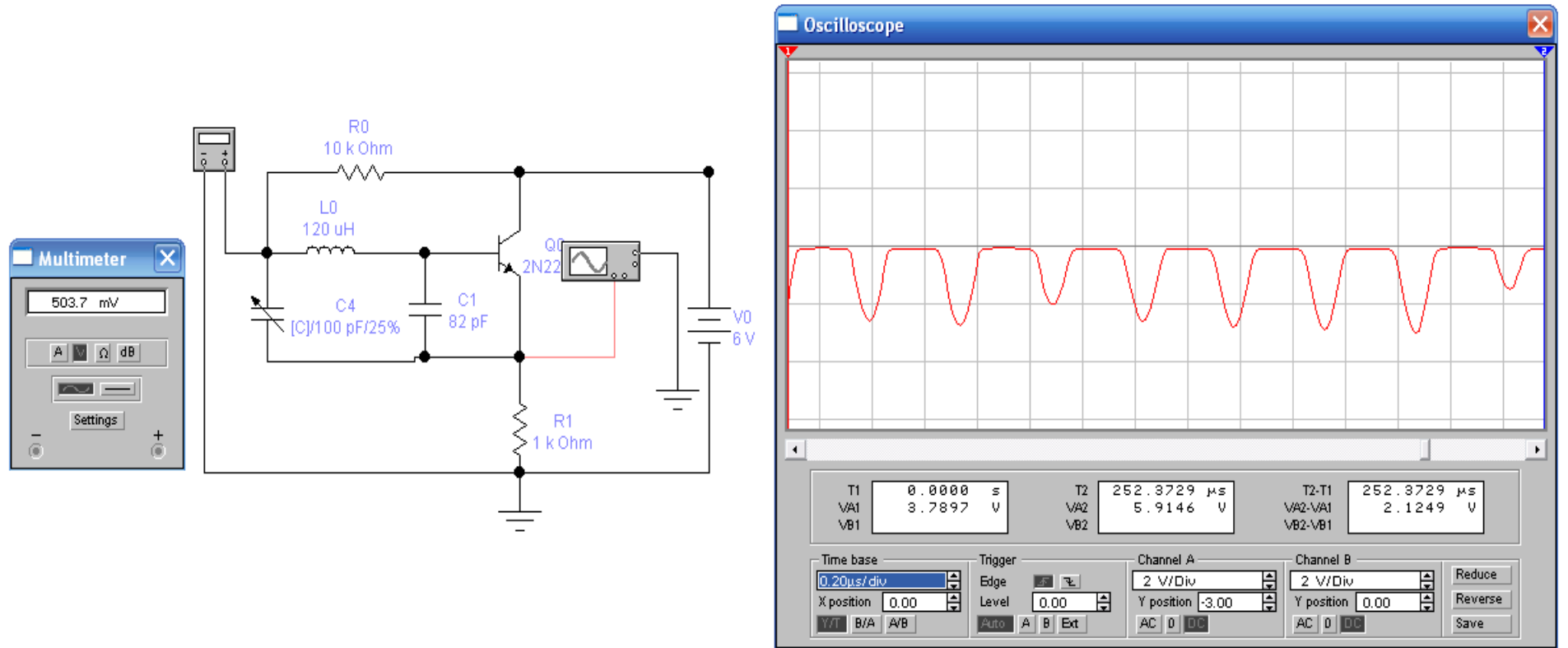
Yuxarıda aparılan tədqiqatların nəticələrindən bir daha əminlik yaranır ki, böyük yerdəyişməli tutum vericiləri yüksək həssaslığa və qeyri-xəttiliyi çevirmə xarakteristikasına malikdirlər. Bu növ vericilərin ölçmə dəqiqliyinin təmin olunması üçün struktur və alqoritmik test üsulun tətbiqi daha səmərəli hesab olunur [10].

Ölçü alətlərinin dəqiqliyinin artırılmasının iki əsas yolu vardır:

1. Ölçü alətlərinin düzgünlüyünü və sabitliyini artırmaq üçün bəzi vasitələrdən istifadə edilir. Ancaq, bu yanaşmanın fərqli bir xüsusiyyəti vardır və bu ondan ibarətdir ki, həmin vasitənin strukturuna ölçü alətinin tərkib hissələri əlavə olunmur.

Ölçü alətləri yalnız ölçü əməliyyatları üçün zəruri olan blokları və komponentləri özündə birləşdirir. Bu səbəbdən belə bir yanaşmanın imkanları böyük ölçülərdə azalmış olur.

2. Ölçmə nəticələrinin dəqiqliyinin artırılma üsulları arasında ən təsirli olanları iterativ, nümunəvi və test üsullarıdır. Onların birgə tətbiq edilməsi ilə ölçülərin əlavə əməliyyatlarının yerinə yetirilməsi və onların nəticələrinin müəyyən alqoritmlər üzrə işlənməsi nəticəsində ölçü vasitələrinin dəqiqliyinin artırılmasına, ölçü vasitələrinin ayrı-ayrı qovşaqlarının metroloji xarakteristikalarının yaxşılaşdırılmasına gətirib çıxardır.



Şekil 3.6.3. Obyektin varlığını qeyd edən tutum vericisinin simulyasiya sxemi

Sonuncu, ikinci yanaşma daha səmərəli hesab edilir, çünki bu zaman, ilk növbədə yüksək dəqiqliyə malik ilkin ölçmə vasitəsinin yenidən işlənməsindən imtina edilir və ölçmə prosesi etalonlarla, onların optimal qiymətləri və kombinasiyaları ilə təmin olunmaqla ölçmə nəticəsi dəfələrlə yüksəlmiş olur [10]. Qeyd etmək lazımdır ki, müasir elektron qurğuların tətbiqi ilə bu variantın reallaşdırılması xeyli asan olur.

Nəticə

1. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericiləri, onların müvafiq sxem birləşmələri, çevirmə xarakteristikaları və parametrləri nəzəri tədqiq edilmiş, parametrlər arasındakı mövcud korrelyasiya əlaqələri araşdırılmışdır.
2. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericilərinin çevirmə xarakteristikalarına təsir göstərən faktorlar nəzəri tədqiq edilmiş və nəticələr qiymətləndirilmişdir.
3. Böyük xətti yerdəyişməli diferensial tutum vericilərinin sxemləri işlənilmiş və qraf üsulu ilə struktur modeli qurulmuşdur.
4. Mikroprosessorlu böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin müxtəlif sxem nümunələri və onların əsas prinsipləri tədqiq edilmişdir.
5. Nəmlik ölçən və obyektlərin varlığını qeyd edən tutum vericilərinin xarakterik xüsusiyyətləri və ölçmə dəqiqlikləri tədqiq edilmişdir.

IV FƏSİL. BÖYÜK YERDƏYİŞMƏLİ TUTUM VERİCİLƏRİNİN ÖLÇMƏ DƏQİQLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ

4.1. Ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsinin alqoritmik-test üsulu

Ölçmə nəticələrinin yüksək dəqiqliyini təmin etmək üçün iterativ, etalon və test üsullarından geniş istifadə olunur. İterativ üsulu təhlil edərək qeyd etmək lazımdır ki, bu üsuldən istifadə edən zaman ölçmə xətlərinin korrelyasiya olunmayan təşkil ediciləri güclənir. Təkrarlanan ölçmə prosesi n mərhələdən ibarətdirsə, onda ölçmə sisteminin korrelyasiya edilməmiş xətası additiv xarakter daşıyacaq və ümumi qeyri-korrelyasiya edilmiş ölçmə xətasının orta kvadratik meyli üçün ifadə aşağıdakı kimi olacaqdır [33, 50, 72, 88]:

$$\gamma_c = \gamma_\Delta^0 \sqrt{2B^{2n} + 2B^{2(n-1)} + 2B^{2(n-2)} + \dots + 2B^2} \quad (4.1.1)$$

burada γ_Δ^0 – mənbə və additiv qeyri-korrelyasiya edilmiş xətlərin orta kvadratik meyli. $B^0 = 1$ olanda $\gamma_c > \gamma_\Delta^0$ olur.

Elektrik kəmiyyətlərin ölçmə alətlərinə tətbiq edilən ən perspektivli olan test üsuludur. Bu zaman real ölçmə vasitələrinə eyni vaxtda həm multiplikativ, həm də additiv testlər tətbiq edilir.

Test üsulundan bir neçə variantı nəzərdən keçirək: birincidə ölçülən x kəmiyyəti dəyişdirilir, n -cidə isə digər əlavələr, $\{A_k(x)\}_1^n$ – ifadəsi ölçülən miqdarın funksiyasıdır. Bu zaman əsas nəticələr – y_0 , əlavə dəyişikliklər – $\{y_k\}_1^n$ kimi qəbul olunur və test tənlikləri aşağıdakı kimi olacaqdır [33]:

$$\begin{cases} y_0 = a_0 + a_1x + \dots + a_{n-1}x^{n-1}, \\ y_1 = a_0 + a_1A_1(x) + \dots + a_{n-1}[A_1(x)]^{n-1}, \\ y_n = a_0 + a_1A_n(x) + \dots + a_{n-1}[A_n(x)]^{n-1}, \end{cases} \quad (4.1.2)$$

Testlə ölçmə dəqiqliyinin artırılması prosesi (4.1.1) və (4.1.2) düsturları əsasında ardıcıl həllə və riyazi hesablamalarla həyata keçirilir. Bu zaman ilkin vericinin çevirmə xarakteristikasının ən çox əyilmə nöqtələri təyin olunaraq bu nöqtələrə uyğun gələn müvafiq qiymətli testlər seçilir, (4.1.2) tənliklər sistemində additiv və mültiplikativ testlər və onların kombinasiyaları – hibrid testlər şəklində nəzərə alınır. Bundan sonra tənliklər sistemi həll edilərək çevirmə xarakteristikasının parametrləri və nəhayət n tərtib çoxhədli üçün ifadə alınır.

(4.1.2) tənliklər sisteminin həlli üçün aşağıdakı matris alınır [33, 90]:

$$\begin{vmatrix} y_0 & 1 & x & \dots & x^{n-1} \\ y_1 & 1 & A_1(x) & \dots & [A_1(x)]^{n-1} \\ y_2 & 1 & A_2(x) & \dots & [A_2(x)]^{n-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_n & 1 & A_n(x) & \dots & [A_n(x)]^{n-1} \end{vmatrix} = 0 \quad (4.1.3)$$

Bu tənlikdə ölçmələrin düzgünlüyünü təmin etmək üçün müxtəlif alqoritmlərin analizi aparılmışdır. Məlumdur ki, n tərtibli çoxhədlilərdən ibarət sistem tənliyin həlli aşağıdakı ardıcılıqla, yəni $y_0 = a_k = W_k / W$ – ifadəsinə bərabər etməklə aparılır:

$$y_0 = W^{-1} \sum_{k=0}^{n-1} W_k x^k, \quad (4.1.4)$$

burada $W = W(A_1(x), \dots, A_n(x))$ – ifadəsi Vandermond determinantına bərabərdir.

$$W = \begin{vmatrix} 1 & A_1(x) & \dots & [A_1(x)]^{n-1} \\ 1 & A_2(x) & \dots & [A_2(x)]^{n-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & A_n(x) & \dots & [A_n(x)]^{n-1} \end{vmatrix} = \prod_{1 \leq j < i \leq n-1} [A_i(x) - A_j(x)] \quad (4.1.5)$$

Bu sistemdə x ölçmə qiymətini müəyyən bir mütləq xəta ilə əyniləşdirmək üçün fərqli sayda əhəmiyyətli rəqəmlərlə hesablanmalıdır, bu da $\{y_k\}_1^n$ ifadəsini əldə edərkən ölçü alətlərinin vasitəsi ilə məhdudlaşır. Sonda aşağıdakı tənlik alınır:

$$P_{n-1}(x) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k x^k \quad (4.1.6)$$

Ölçmədən sonra $y_0 = P_{n-1}(x)$ – variantı alınır.

$$P_{n-1}(x) = \sum_{k=1}^n y_k l_{nk}(x) \quad (4.1.7)$$

$l_{nk}(x)$ – baza funksiyasına baxaq:

$$l_{nk}(x) = \frac{l_n(x)}{(x - x_k) l'_n(x_k)} \quad (4.1.8)$$

(4.1.8) tənliyindən $l_{nk}(x_j) = \delta_{kj}$, interpolasiya ifadəsini alırıq və bu da δ_{kj} – Kroneker simvolunu asanlıqla sübut etməyə imkan verir.

(4.1.6) və (4.1.7) tənliklərindən əlavə olaraq $P_{n-1}(x)$ -in aşağıdakı ifadəsindən istifadə olunur:

$$P_{n-1}(x) = \sum_{k=1}^n [x_1, x_2, \dots, x_k] (x - x_1) \dots (x - x_{k-1}), \quad (4.1.9)$$

İnterpolasiya çoxhədliyi $y_0 = P_{n-1}(x)$ ölçülmüş funksiyanın komponenti kimi alınır.

Bir funksiyanı interpolasiya çoxhədliyi ilə əvəz etdikdən sonra yaranan xətlər $\{y_k\}_1^n$ – kimi nəzərə alınır. Bu xətlər bərabər olarsa, sonradan ümumi xəta aşağıdakı kimi alınacaqdır $\{\Delta_k\}_1^n$:

$$\varepsilon = \max_{x \in [a, b]} \left| \sum_{k=1}^n \Delta_k l_{nk}(x) \right| \quad (4.1.10)$$

(4.1.10)-dakı mütənasibliyi nəzərə alsaq, $\Delta_k \propto \Delta$ bərabərsizliyini nəzərə alsaq, növbəti nisbət əmələ gələcək:

$$\mathcal{E} \propto \Delta \Lambda_n \quad (4.1.11)$$

burada Λ_n – Lebeq sabitidir.

$$\Lambda_n = \max \sum_{k=1}^n |l_{nk}(x)| \quad (4.1.12)$$

Lebeq sabiti interpolasiya seqmentinin uzunluğundan asılı deyil. Onun vasitəsilə ölçülmüş funksiyanın interpolasiya çoxhədlisinin sürüşmə dərəcəsi təyin edilir.

Belə ki, (4.1.12) -yə uyğun olaraq $\{A_k(x)\}_1^n$ – optik seçilməsi alınır, bu da Lebeq sabitinin Λ_n dəyərini minimuma endirir. Daxil olan interpolasiya çoxhədlisi $\{x_k\}_1^n$, $T_n = \cos n \arccos x$, $x \in [-1, +1]$ – ifadəsi ilə müəyyənləşir.

$$\Lambda_n = \frac{2}{\pi} \ln n + 1 - v_n, 0 \leq v_n < \frac{1}{4}, \quad (4.1.13)$$

Ölçülmə zamanı bərabərləşdirici qovşaqlar tez-tez istifadə olunur. Belə bərabərsizlik üçün aşağıdakı qiymətləndirmə verilmişdir [46].

$$2^{n-3}(n-1)^{-1/2}(n-3/2)^{-1} < \Lambda_n < 2^{n-1}, n \geq 4 \quad (4.1.14)$$

(4.1.13) və (4.1.14) ifadələrinin müqayisəsi göstərir ki, real ölçmə problemləri məhduddur və nisbətən aşağı dərəcəli çoxhədlilərdən istifadə edilməlidir. Test ölçmə dəqiqliyini artırmaq üçün istifadə olunan $\{A_k(x)\}_1^n$ -funksiyasını məhdudlaşdıran əlavə məsələlərə də diqqət yetirək.

Ölçmənin dəqiqliyini artırmaq üçün test alqoritmi son mərhələdə istifadə edilən cəbri tənliyin $n-1$ dərəcəsini tənzimləmək üçün azaldılıb. Bu həll dəyişiklik üçün olduqca həssasdır. İnterpolasiya çoxhədlisinin əmsalları, hətta çox aşağı dərəcəli çoxhədlidə də əhəmiyyətli xətlər əmələ gəlir..

Test alqoritmi üçün daha səmərəli yanaşma tərs interpolyasiya üsuludur. Bu halda sistem (4.1.3)-dəki kimi yenidən yazılır.

$$\begin{cases} x = b_0 + b_1 y_0 + \dots + b_{n-1} y_0^{n-1} \\ A_1(x) = b_0 + b_1 y_1 + \dots + b_{n-1} y_1^{n-1} \\ A_n(x) = b_0 + b_1 y_n + \dots + b_{n-1} y_n^{n-1} \end{cases} \quad (4.1.15)$$

(4.1.15) interpolyasiya polinomudur.

$$Q_{n-1}(y) = \sum_{k=0}^{n-1} b_k y^k \quad (4.1.16)$$

$y = y_0$ olan zaman $x = Q_{n-1}(y_0)$ alınar.

(4.1.16) funksiyasının əks funksiyası (4.1.3)-dür. Bu halda, x nəticəsinin tapılması üçün cəbri tənlik tələb olunmur, lakin interpolyasiya problemi yuxarıda göstərildiyi kimi həll olunur. Bu yanaşma optimal qovşaqlarının seçilməsinin praktik mümkünsüzlüyünü göstərir, interpolyasiya çoxhədlisinin dərəcəsinin məhdudlaşdırılması ilə bağlı hesablanmış nəticələr qüvvədə qalır. Beləliklə, test alqoritmini əldə edərkən interpolyasiya üsulunun istifadəsi ən əlverişlisidir və interpolyasiya çoxhədlisinin dərəcəsi yüksək olmamalıdır ($n \leq 4$).

Ölçmə nəticələrinin dəqiqliyini artırmaq üçün test üsullarını təhlil etdikdə, ilk növbədə alqoritmik üsulun həyata keçirilməsi zamanı tələb olunan dəqiqliyin təmin olunması ilə yanaşı ölçmə taktlarının sayının maksimum azaldılmasını da diqqətdə saxlamaq lazımdır. Belə ki, iterasiya üsulu ilə müqayisədə test üsulunun üstünlüklərini qeyd etmək lazımdır. Bundan əlavə, test alqoritmlərin tətbiqini artırmaq üçün ölçmə dəqiqliyinin additiv və multiplikativ ölçmə xəталarının azaldılması ilə yanaşı, eyni zamanda ölçmə alətinin kalibrləmə xarakteristikasının qeyri-xəttiliyinə görə də xətasını azaltmaq mümkün olur.

Ölçmələrin dəqiqliyini artırmaq üçün eyni şəraitdə bir neçə ölçmə aparmaq

tövsiyə olunur. Təkrarlanan ölçülərdə, təsadüfi xətalardan gələn ölçmə xətası $\sqrt{n}$ faktoru ilə azalır, burada n – ölçülərin sayıdır. Təsadüfi dəyişənlərin normal yayılmasının qanununa əsasən, təsadüfi xətalərin təsirini azaltmaq üçün eyni ölçülü alətlə eyni miqdarda təkrar ölçülməsi mümkündür və nəticədə ölçü nəticəsinin dəqiqliyini artırır.

Təsadüfi xətalərin təsiri ilə nəticələnən bir sıra ölçmələr nəticəsində, nəticələrin paylanması kəmiyyət göstəricisi adətən sistematik xətalərin təsirinə dair düzəlişlər tətbiq edildikdən sonra əldə edilir.

$$R_n = X_{\max} - X_{\min} \quad (4.1.17)$$

burada $X_{\max}$ və $X_{\min}$ müəyyən ən böyük və ən kiçik dəyərlərdir.

Eyni dəyərin bir neçə təkrar ölçməindən sonra və müxtəlif X_i nəticələrini əldə etdikdən sonra bir sıra ölçülərin ədədi orta qiymət $\bar{X}$ aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.1.18)$$

burada n – bir sıra tək ölçmələrin sayıdır.

Bir sıra ifadələrdəki ölçmələrin nəticələrinin orta kvadratik xətası s hesab olunur və aşağıdakı kimi yazılır [96].

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (4.1.19)$$

burada X_i – i vahidinin ölçmə nəticəsidir; $\bar{X}$ – ölçmə nəticələrinin qiymətlərinin hesabi ortasıdır.

Praktikada, standart meyletmə dövrü geniş yayılmışdır. Sistemətik xətalardan azad olan bir sıra ölçmə nəticələrini emal edərkən EUC və EQ tək ölçmələrin nəticələrinin dağılmasının eyni qiymətləndirməsidir.

Ədədi ifadələrdə $S'X$ ədədi ortanın orta kvadratik xətasıdır və aşağıdakı S -in qiymətinə və ölçmələrin n sayına bağlıdır [96]:

$$S'X = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}, \quad (4.1.20)$$

Bütün ölçülərin əldə edilən nəticələri əsasında ədədi orta qiymət və orta kvadratik xəta S hesablanır.

Dağılmanın etibarlılıq məhdudiyyətləri $\pm tS$, $\pm tS'X$ hesablanır, burada S , S' vahidin orta kvadratik xətalrı və ədədi ölçüləridir; t – yayılma ehtimalında P ölçülərin sayına görə bir əmsaldır.

$$P = 35\% \text{ -də } t=1; t=2; P=94,5\%; t=3; P=99.73\%.$$

Təsadüfi dəyişənlərin normal yayılması üçün $t=3$ istifadə olunur.

Beləliklə, ölçü və X_{ist} -in ölçülməsi və ya əsl dəyərinin nəticəsi aşağıdakı kimi təmsil olunur:

$$X_{ist} = \bar{X} \pm 3S'X \text{ və ya } X_{ist} = \bar{X} \pm \frac{3S}{\sqrt{n}}$$

Ölçmə nəticəsi müəyyən bir nöqtə deyil, ancaq ölçülmüş miqdarın əsl dəyərini müəyyən bir P ilə müəyyənləşdirilən intervaldır. Məsələn: Çuxurun ölçüsünü təyin etmək üçün eksperimental hiss 10 dəqiqəlik artım dəqiqliyi ($n=10$) ilə ölçülmüşdür.

Alınmış $60,012mm$ və $S=0,00115mm$ qiymətlərinə görə hesablama aparılır. Onda bu hissənin ölçüsünün əsl dəyəri aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$X_{ist} = 60,012 \pm \frac{3 \cdot 0,00115}{\sqrt{10}} = 60,012 \pm 0,0011. \quad (4.1.21)$$

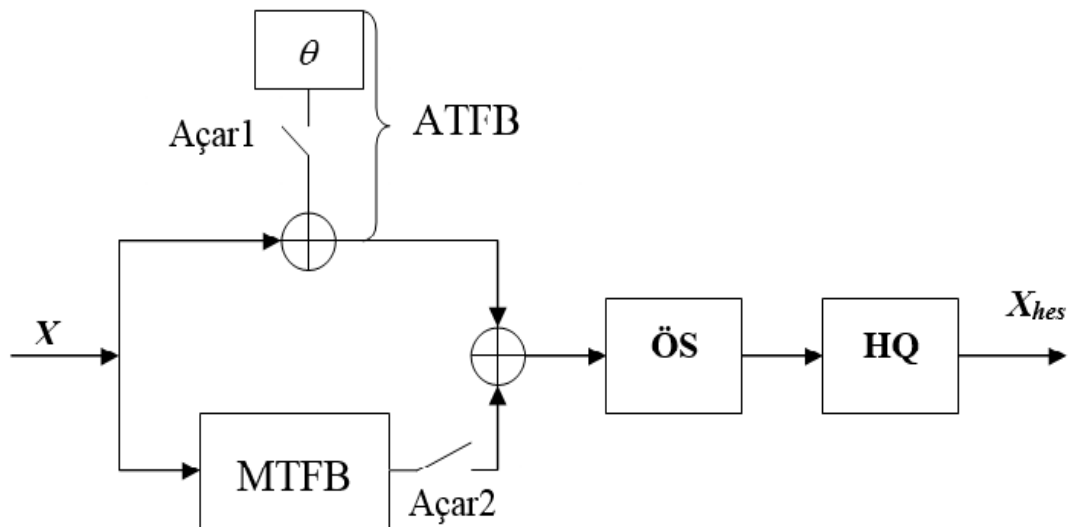
Hesablamanın nəticəsi göstərir ki, eksperimental hissənin ölçüsünün əsl dəyəri $\pm 1,1mm$ dəqiqliklə və $P=0,9973$ ehtimalla müəyyən edilir.

4.2. Tutum vericilərinin ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsinin test üsulu

Tutum sensorlu ölçmə sistemlərinin çevirmə xarakteristikaları reallıqda qeyri-xəttidir (bax. Şək. 2.6.2) və istismar şəraitində bu əlamət daha da artır. Bu sistemlərin ölçmə diapazonunu əhatə edən riyazi model yüksək dərəcəli çoxhədli şəklində olduqda onu məlum aralıqlara, aşağı dərəcəli çoxhədlilər şəklinə gətirməklə əyrinin aproksimasiyası və eyni zamanda identifikasiyası xeyli sadələşir. Aparılan çoxsaylı tədqiqatların nəticələrindən məlum olur ki, hər bir ilkin vericinin (çeviricinin) ölçmə diapazonunu, onun sıfırdan başlayaraq son həddinə kimi kvadrat üçhədlilər və ya kub tənliklər şəklində bölünməsi (ifadə olunması) real modelin dəfələrlə sadələşməsinə, ölçmə dövrlərinin sayının azaldılmasına gətirib çıxarır. Məlum üsullarla müqayisədə bu üsul xeyli üstündür, yüksək ölçmə dəqiqliyini təmin edir. Aşağıda qeyri-xətti aproksimasiyada hər bir aproksimasiya aralığı aşağıdakı kvadrat üçhədli şəkilində araşdırılır [10]:

$$y = a_{1s} + a_{2s}x + a_{3s}x^2, \quad (4.2.1)$$

(4.2.1) kvadrat üçhədlisində x ölçmə kəmiyyəti ilə eyni vaxtda $x + \theta$ – additiv, kx – multiplikativ və $kx + \theta$ – qarışıq testlər növbə ilə elektron açar vasitəsilə ölçmə qurğusunun (vericinin) girişinə qoşulub açılır (şək. 4.2.1):



Şəkil 4.2.1. Kombinasional testlər əsasında İÖS-in struktur sxemi [51]

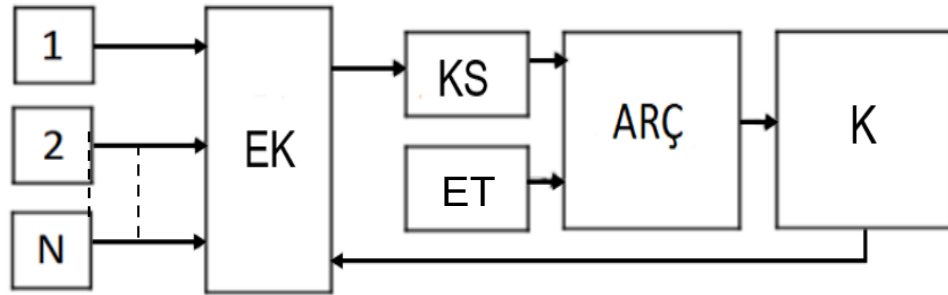
Burada ATFB – additiv testləri formalaşdıran blok, MTFB – multiplikativ testləri formalaşdıran blokdir.

Sxemin funksiyası aşağıdakı (4.2.2) test tənliklərini həyata keçirməkdən ibarətdir:

$$\begin{cases} y_0 = a_{1sN} + a_{2sN}x + a_{3sN}x^2 \\ y_1 = a_{1sN} + a_{2sN}(x + \theta) + a_{3sN}(x + \theta)^2 \\ y_2 = a_{1sN} + a_{2sN}xk + a_{3sN}(xk)^2 \\ y_3 = a_{1sN} + a_{2sN}(kx + \theta) + a_{3sN}(kx + \theta)^2 \end{cases} \quad (4.2.2)$$

burada $a_{1sN}, a_{2sN}, a_{3sN}$ – vericinin çevirmə qeyri-xətti ÇF-nin müvafiq s aproksimasiya sahələrindəki parametrlərinin (əmsallarının) nominal qiymətləridir.

(4.2.2) əsas test tənliklərini reallaşdırmaq üçün İÖS-in funksional sxemi:



Şəkil 4.2.1. Ölçmə sisteminin struktur sxemi

Sxemdə N – eyni nominala malik sensorların (kondensatorların) sayı, EK – elektron kommutator, KS – körpü sxemi, ET – etalon tutum, ARÇ – analog-rəqəm çeviricisi, K – kontrollerlərdir.

Məlum qiymətdə EK körpü sxeminin bir çiyinə, ölçüləcək tutum və ya tutumların kombinasiyası (testlər) EK ilə körpü sxeminin digər çiyinə qoşularaq (4.2.2) alqoritmi ardıcıl olaraq həyata keçirilir. Sonda testləşdirilmiş ölçmə sistemində (ÖS) toplanmış informasiyalar əsasında çevirmə funksiyası (ÇF) üçün aşağıdakı ifadə alınır [11]:

$$y_0 = \frac{(y_1 - y_2)[x(k-1) + \theta] + y_3(xk - x - \theta)}{x(k-1) - \theta}, \quad (4.2.3)$$

Bu ifadədən ölçmə kəmiyyətinin qiyməti üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$x_{hes.} = \frac{(y_1 - y_2) + (y_0 - y_3)}{(y_0 - y_3) - (y_1 - y_2)} \cdot \frac{\theta}{(k-1)}, \quad (4.2.4)$$

Beləliklə ÖS-in mütləq xətası üçün aşağıdakı ifadəni alırıq [11]:

$$\Delta_T = [x(k-1) + \theta](\Delta_1 - \Delta_2) + [x(k-1) - \theta](\Delta_3 - \Delta_0). \quad (4.2.5)$$

Testləşdirilmiş ÖS-in nisbi xətası (4.2.5) ifadəsi ilə təyin edildiyini nəzərə alsaq, onda additiv və multiplikativ testlərin hər bir ölçmə taktında (ÖT) yaranan mütləq xətanın qiymətlərini əvəz etməklə, bütün xəta təşkilediciləri üçün aşağıdakı ifadəni almış olarıq:

$$\Delta_T = \theta[\Delta_1 - \Delta_2 - (\Delta_3 - \Delta_0)] + x(k-1) \cdot [\Delta_1 - \Delta_2 + (\Delta_3 - \Delta_0)] \quad (4.2.6)$$

Testləşdirilmiş ÖS-in girişinə gətirilmiş $\Delta_{gir.}$ mütləq xəta üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$\Delta_{gir.} = \frac{\Delta_T}{f'_T(x)}, \quad (4.2.7)$$

burada:

$$f_T(x) = (y_0 - y_3)[x(k-1) - \theta] + (y_2 - y_1)[x(k-1) + \theta]. \quad (4.2.8)$$

(4.2.8) ifadəsi x -ə görə diferensiallandıqda $f'_T(x)$ üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$f'_T(x) = (k-1)[(y_0 - y_3) - (y_1 - y_2)] \quad (4.2.9)$$

(4.2.6) və (4.2.8) ifadələrini (4.2.7)-da nəzərə alsaq, testləşdirilmiş ÖS-in girişinə gətirilmiş Δ_{gir} mütləq xəta üçün aşağıdakı ifadəni alırıq [11]:

$$\Delta_{gir} = \frac{\{\theta[(\Delta_1 - \Delta_2) - (\Delta_3 - \Delta_0)] + x(k-1)[\Delta_1 - \Delta_2 + (\Delta_3 - \Delta_0)]\}}{(1-k)2\theta\{a_{2SN} + a_{3SN}[(k-1)x + \theta]\}}. \quad (4.2.10)$$

Beləliklə, testləşdirilmiş ÖS-in ölçmə taktları bir-birindən asılı olmadıqda mütləq xətanın dispersiyası üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$\sigma_{\Delta T}^2 = \sigma_{\Delta_0}^2 [z - \theta]^2 + \theta_{\Delta_1}^2 [z + \theta]^2 + \sigma_{\Delta_2}^2 [z + \theta]^2 + \sigma_{\Delta_3}^2 [z - \theta]^2; \quad (4.2.11)$$

burada σ_{Δ_i} - uyğun ölçmə taktlarının (ÖT) xətalарının orta kvadratik meylləridir, $z = x(k-1)$.

Son nəticə olaraq ilkin ÖS-ün girişinə gətirilmiş mütləq xəta üçün aşağıdakı düsturu alırıq:

$$\Delta_{girT} = \frac{\Delta_M}{k-1} - \frac{\Delta_\theta}{\theta}. \quad (4.2.12)$$

(4.2.12) ifadəsindən belə bir mühüm nəticə çıxır ki, (4.2.3) ölçmə alqoritmi əsasında fəaliyyət göstərən TÖS-ün Δ_{girT} yekun xətasının təşkilediciləri testlərin optimal yığımının realizasiyası zamanı ÖS-ün ÇF-in əmsallarının qiymətlərindən asılı olmur.

Δ_θ və Δ_M xətalарı, bir qayda olaraq, bir-biri ilə korrelyasiya əlaqəsində olmayıb, fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlərdir və normal paylanma qanununa tabedir. Buna görə TÖS-ün girişinə gətirilmiş nisbi xəta (δ_{girT}) da, öz növbəsində, fasiləsiz təsadüfi kəmiyyət olub, riyazi gözləmə (M_{δ_r}) və dispersiya ($\sigma_{\delta_r}^2$) ilə xarakterizə olunur.

Riyazi gözləmə aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$M_{\delta_r} = \frac{M[\Delta_M]}{k-1} - \frac{M[\Delta_\theta]}{\theta}, \quad (4.2.13)$$

burada $M[\Delta_M]$ və $M[\Delta_\theta]$ – uyğun olaraq təsadüfi Δ_M və Δ_θ kəmiyyətlərinin riyazi gözləməsidir.

Dispersiya $\sigma_{\delta_T}^2$ isə aşağıdakı düsturla təyin olunur [11]:

$$\sigma_{\delta_T}^2 = \frac{\sigma_{\Delta_M}^2}{(k-1)^2} + \frac{\sigma_{\Delta_\theta}^2}{\theta^2}, \quad (4.2.14)$$

burada σ_{Δ_M} və σ_{Δ_θ} – uyğun olaraq təsadüfi Δ_M və Δ_θ kəmiyyətlərinin orta kvadratik meyli.

Beləliklə, $\sigma_{[\delta_T]}^2$ və $\sigma_{[\delta_T^*]}^2$ dispersiyalarının hesablanmış qiymətlərini müqayisə etdikdə aydın olur ki, additiv, multiplikativ və hibrit testlərin optimal yığımı ilə reallaşan TÖS-də yaranan yekun xəta təşkilediciləri qiymətcə, sadə additiv və multiplikativ testlərlə reallaşan analoji TÖS-dəki xətaya nisbətən kiçik dispersiyaya malik olur. TÖS-ün ÇX-i kvadrat üçhədli olduqda və əsas test tənliklərini həll etdikdə əlavə zamana ehtiyac olmur.

Nümunə olaraq TÖS-ün tam ölçmə dövrü üçün x , $x + \theta_1$, $x + \theta_2$, kx testlər toplusu götürsək, ölçmə nəticələri (ÖN) uyğun olaraq $y_0, \dots, y_3$ çıxış kəmiyyətlərinə malik olacaq və aşağıdakı ƏTT alınacaq:

$$\begin{cases} y_0 = b_0 + b_1x + b_2x^2 \\ y_1 = b_0 + b_1(x + \theta_1) + b_2(x + \theta_1)^2 \\ y_2 = b_0 + b_1(x + \theta_2) + b_2(x + \theta_2)^2 \\ y_3 = b_0 + b_1kx + b_2(kx)^2 \end{cases} \quad (4.2.15)$$

TÖS-ün ölçmə taktlarında qeyri-dəqiqlik səbəbindən yaranan xətalara nəzərə alsaq, onda aşağıdakı ifadələri alırıq [11]:

$$\begin{aligned}
\Delta_{T1} &= [b_2 + 2b_3(x + \theta_1)] \cdot \Delta_{\theta_1}, \\
\Delta_{T2} &= [b_2 + 2b_3(x + \theta_2)] \cdot \Delta_{\theta_2}, \\
\Delta_{T3} &= [b_2 + 2b_3kx] \cdot \Delta_M \cdot x.
\end{aligned}
\tag{4.2.16}$$

TÖS-ün ÇX-i $n = 3$ dərəcəli çoxhədli şəklində olduqda isə ƏTT-in ilkin ifadələrində yerinə yazıb həll etdikdə ÖS-in ÇF-i üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$y_0 = \frac{y_1 x(k-1) \theta_2 [x(k-1) - \theta_2] - y_2 x(k-1) \theta_1 [x(k-1) - \theta_1] + y_3 \theta_2 \theta_1 (\theta_2 - \theta_1)}{[x(k-1) - \theta_1][x(k-1) - \theta_2](\theta_2 - \theta_1)}. \tag{4.2.17}$$

Beləliklə, (4.2.16) və (4.2.17) ifadələrindən TÖS-ün mütləq xətası üçün aşağıdakı ifadə alınar:

$$\begin{aligned}
\Delta_T^* &= x(k-1) \theta_2 [b_2 + 2b_3(x + \theta_1)][x(k-1) - \theta_2] \Delta_{\theta_1} - x(k-1) \theta_1 [b_2 + 2b_3(x + \theta_2)] \times \\
&\times [x(k-1) - \theta_1] \Delta_{\theta_2} + x[b_2 + 2b_3kx] \theta_2 \theta_1 (\theta_2 - \theta_1) \Delta_M.
\end{aligned}
\tag{4.2.18}$$

(4.2.16) ifadəsinə əsasən TÖS-ün girişinə gətirilmiş nisbi xəta üçün aşağıdakı RM-i alırıq:

$$\delta_{gir}^* = \frac{[x(k-1) - \theta_2][b_2 + 2b_3(x + \theta_1)]}{(b_2 + 2b_3kx)(\theta_1 - \theta_2)} \cdot \frac{\Delta_{\theta_1}}{\theta_1} - \frac{[x(k-1) - \theta_1][b_2 + 2b_3(x + \theta_2)]}{(b_2 + 2b_3kx)(\theta_1 - \theta_2)} \cdot \frac{\Delta_{\theta_2}}{\theta_2} + \frac{\Delta_M}{k-1}. \tag{4.2.19}$$

TÖS-ün δ_{gir}^* nisbi xətasının riyazi gözləməsi və dispersiyası üçün uyğun olaraq aşağıdakı ifadələri alırıq [11]:

$$\begin{aligned}
M_{[\delta_{gir}^*]} &= 0; \\
\sigma_{[\delta_{gir}^*]}^2 &= \frac{[x(k-1) - \theta_2]^2 [b_2 + 2b_3(x + \theta_1)]^2}{(b_2 + 2b_3kx)^2 (\theta_1 - \theta_2)^2} \cdot \frac{\sigma_{\Delta_{\theta_1}}^2}{\theta_1^2} + \\
&+ \frac{[x(k-1) - \theta_1]^2 [b_2 + 2b_3(x + \theta_2)]^2}{(b_2 + 2b_3kx)^2 (\theta_1 - \theta_2)^2} \cdot \frac{\sigma_{\Delta_{\theta_2}}^2}{\theta_2^2} + \frac{\sigma_{\Delta_M}^2}{(k-1)^2}
\end{aligned}
\tag{4.2.20}$$

(4.2.14) və (4.2.20) ifadələrindən göründüyü kimi, multiplikativ testdən istifadə edilməklə onun qiymətinin dəqiqliyi ilə digər təşkiledicilərin çəki əmsalları qiymətcə bir-birinə bərabər olub, ÖS-ün ÇF-in parametrlərindən asılı deyildir. Additiv testlərdən istifadə etdikdə isə onların dəqiqliyi ilə üst-üstə düşmür və çəki əmsalları keyfiyyətcə bir-birindən fərqlənir. Bu iki ifadədən aydın görünür ki, birincidə çəki əmsalı vahidə bərabər olduqda belə, ikinci ifadədə həmin təşkiledicilərin qarşısındakı əmsallar həm ÖS-ün ÇF-in parametrlərinin qiymətlərindən, həm də additiv və multiplikativ testlərin qiymətlərinin öz aralarındakı münasibətdən asılıdır.

Beləliklə, qeyd edilənlər hər iki testin və onların optimal yığımının reallaşması ilə baş tutan ölçmə üsulunun üstünlüyünü sübut edir.

4.3. Testləşdirilmiş tutum vericisinin korrelyasiyasız statik xətasının tədqiqi

ÖS-ün ÇF-in parametrlərinin qeyri-stabillikdən yaranan xətarını iki tezlik spektrinə: aşağı və yüksək tezliklərə ayırmaq olar:

$$\Delta b_i(t) = \overline{\Delta b_i}(t) + \overset{\circ}{\Delta} b_i(t). \quad (4.3.1)$$

Ümumi halda, TÖS-ün girişinə gətirilmiş xətanı aşağıdakı iki toplanan şəkildə göstərmək olar:

$$\Delta_{gir.}(t) = \overline{\Delta_{gir.}}(t) + \overset{\circ}{\Delta}_{gir.}(t), \quad (4.3.2)$$

burada $\overline{\Delta_{gir.}}(t)$ – ÖX-nın korrelyasiyalı təşkilediciləri, $\overset{\circ}{\Delta}_{gir.}(t)$ – ÖX-nın korrelyasiya-sız təşkilediciləridir.

TÖS üçün alınmış (4.2.3) və ya (4.2.17) alqoritmlərinin tətbiqi nəticəsində alınmış ölçmə nəticələrinin (ÖN) xətarının korrelyasiyasız təşkiledicilərini tədqiq edək. Əgər testlə ölçmə əməliyyatlarında korrelyasiyasız xəta təşkiledicilərini (XT)

nəzərə alsaq, onda tətbiq edilən testlər arasındakı əlaqələri və ÖN-ni təsvir edən ƏTT aşağıdakı kimi olar [11]:

$$\begin{cases} y_0 + \Delta_{qk}(t_1) = b_0 + b_1x + b_2x^2 \\ y_1 + \Delta_{qk}(t_2) = b_0 + b_1(x + \theta) + b_2(x + \theta)^2 \\ y_2 + \Delta_{qk}(t_3) = b_0 + b_1xk + b_2(xk)^2 \\ y_3 + \Delta_{qk}(t_4) = b_0 + b_1(kx + \theta) + b_2(kx + \theta)^2. \end{cases} \quad (4.3.3)$$

burada $\Delta_{qk}(t_1), \Delta_{qk}(t_2), \Delta_{qk}(t_3), \Delta_{qk}(t_4)$ – uyğun ölçmə taktlarında yaranan korrelyasiyasız xəta təşkiledicisidir.

(4.3.1) və (4.3.2) ifadələrini (4.3.3)-də nəzərə alsaq, ölçmə taktlarının korrelyasiyasız XT üçün aşağıdakı tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{cases} \Delta_{qk}(t_1) = \dot{a}_1(t_1) + \dot{a}_2(t_1)x + \dot{a}_3(t_1)x^2 \\ \Delta_{qk}(t_2) = \dot{a}_1(t_2) + \dot{a}_2(t_2)(x + \theta) + \dot{a}_3(t_2)(x + \theta)^2 \\ \Delta_{qk}(t_3) = \dot{a}_1(t_3) + \dot{a}_2(t_3)xk + \dot{a}_3(t_3)(xk)^2 \\ \Delta_{qk}(t_4) = \dot{a}_1(t_4) + \dot{a}_2(t_4)(kx + \theta) + \dot{a}_3(t_4)(kx + \theta)^2. \end{cases} \quad (4.3.4)$$

(4.2.7) və (4.3.4) ifadələrindən ÖS-ün girişinə gətirilmiş mütləq xətanın korrelyasiyasız təşkilediciləri üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Delta_{gir.qk} = \left\{ \begin{aligned} &\Delta_{qk}(t_2) \cdot [\theta + x(k-1)] - \Delta_{qk}(t_1) \cdot [x(k-1) - \theta] - \\ &-\Delta_{qk}(t_3) \cdot [x(k-1) + \theta] - \Delta_{qk}(t_4) \cdot [x(k-1) - \theta] \end{aligned} \right\} \times \frac{1}{2\theta(1-k)[b_2 + b_3(kx + x + \theta)]}, \quad (4.3.5)$$

TÖS-ün nisbi xətasının korrelyasiyasız təşkilediciləri üçün isə aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\delta_{gir.qk} = \left\{ \begin{array}{l} [x(k-1)-\theta] \cdot [\Delta_{qk}(t_4) - \Delta_{qk}(t_1)] + \\ + [x(k-1)+\theta] \cdot [\Delta_{qk}(t_2) - \Delta_{qk}(t_3)] \end{array} \right\} \cdot \frac{1}{(1-k)x2\theta[b_2 + b_3(kx + x + \theta)]}. \quad (4.3.6)$$

(4.2.15) alqoritm əsasında reallaşan TÖS-in additiv (θ) xətasının korrelyasiyasız təşkilediciləri üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Delta_{gir.qk.ad.} = \frac{[\theta + x(k-1)][\hat{b}_1(t_2) - \hat{b}_1(t_3)]}{(1-k)2\theta[b_2 + b_3(kx + x + \theta)]} + \frac{[x(k-1)-\theta][\hat{b}_1(t_4) - \hat{b}_1(t_1)]}{(1-k)2\theta[b_2 + b_3(kx + x + \theta)]}. \quad (4.3.7)$$

Təsadüfi kəmiyyətin riyazi gözləməsinin sıfır olduğunu nəzərə alsaq, (4.3.7) ifadəsindən additiv XT-in riyazi gözləməsi və dispersiya üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$M_{\Delta_{gir.qk.ad.}} = 0;$$

$$\sigma_{\Delta_{gir.qk.ad.}}^2 = \frac{\sigma_{a_1}^2}{[a_{2N} + a_{3N}(kx + x + \theta)]^2} \left[\frac{x^2}{\theta_2} + \frac{1}{(1-k)^2} \right]. \quad (4.3.8)$$

TÖS-də birtaklı ölçmənin additiv xətasının korrelyasiyasız təşkiledicilərinin orta kvadratik meyli (OKM) ilə korrelyasiyasız xətanın ($\Delta_{gir.qk.ad.}$) OKM-in nisbətini əks etdirən güclənmə əmsalı ($K_{\sigma_{ad.}}^*$) üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$K_{\sigma_{ad.}}^* = \frac{b_2 + b_3 2x}{b_2 + b_3(kx + x + \theta)} \sqrt{\frac{x_2}{\theta_2} + \frac{1}{(1-k)^2}}. \quad (4.3.9)$$

Uyğun olaraq TÖS-də birtaklı ölçmənin multiplikativ xətasının korrelyasiyasız təşkilediciləri üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$K_{\sigma_{M1}}^* = \sqrt{\frac{[x(k-1)+\theta]^2 \cdot [(kx)^2 + (x+\theta)^2] + [x(k-1)-\theta]^2 \cdot [x^2 + (kx+\theta)^2]}{4\theta^2 x^2 (k-1)^2}} \times$$

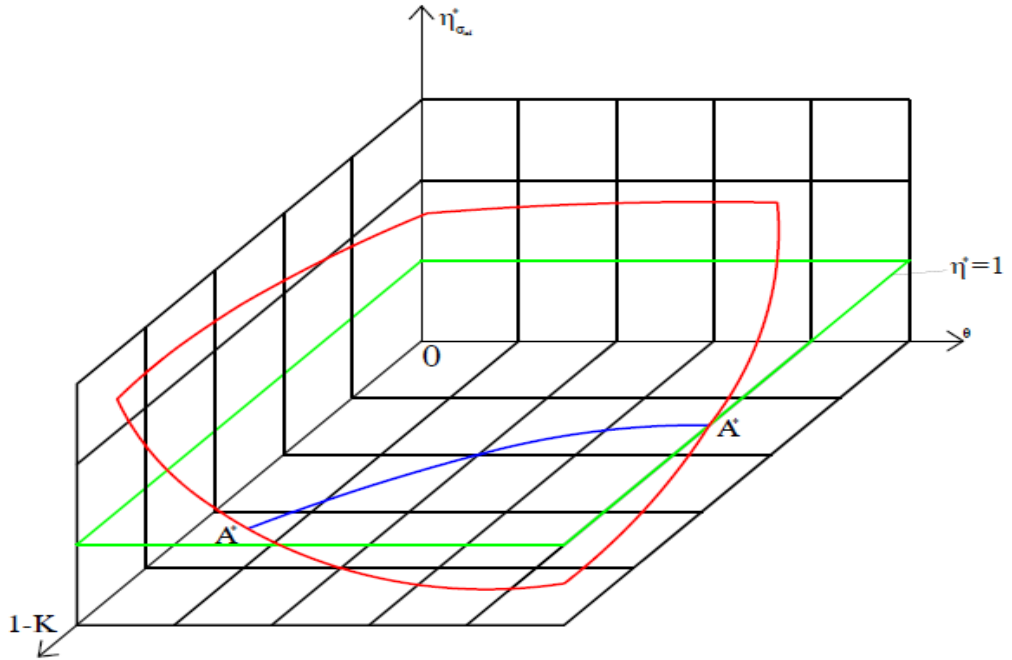
$$\times \frac{b_2 + b_3 \cdot 2x}{\{b_2 + b_3[x(k+1) + \theta]\}}, \quad (4.3.10)$$

$$K_{\sigma_{M2}}^* = \sqrt{\frac{[x(k-1)+\theta]^2 \cdot [(kx)^4 + (x+\theta)^4] + [x(k-1)-\theta]^2 \cdot [x^4 + (kx+\theta)^4]}{4\theta^2 x^2 (k-1)^2}} \times \frac{b_2 + b_3 \cdot 2x}{\{b_2 + b_3[x(k+1)+\theta]\}}, \quad (4.3.11)$$

Göründüyü kimi, additiv xətanın korrelyasiyasız təşkilediciləri toplam olaraq üstünlük təşkil edir və bu səbəbdən $K_{\sigma_{ad.}}^*$ əmsalının additiv və multiplikativ testlərin qiymətlərindən asılıdır.

$K_{\sigma_{ad.}}^*$ əmsalının additiv və multiplikativ testlərin qiymətlərindən asılılığını aydınlaşdıraraq: (4.3.11) ifadəsindən göründüyü kimi, ölçülən kəmiyyəti, additiv və multiplikativ test parametrləri arasındakı aşkar olunan korrelyasiya əlaqələri (KƏ) əyani olaraq onların qiymətlərinin A_0 oblastında mövcudluğu ilə əks olunur.

(4.2.4) alqoritminin tətbiqi nəticəsində TÖS-ün ÖN-in additiv xətasının korrelyasiyasız təşkilediciləri ən azı eyniadlı XT-in əlaqələrinə görə artmır. Şəkil 4.3.1-də $x = x_0$ olduqda, $K_{\sigma_{ad.}}^*(\theta, k)$ asılılığı verilmişdir [11]:



Şəkil 4.3.1. $K_{\sigma_{ad.}}^*(\theta, k)$ asılılığının qrafiki

Qrafikdən göründüyü kimi, $K_{\sigma_{ad}}^*(\theta, k)$ asılılığı, additiv və multiplikativ testlərin qiymətlərinin göstərilmiş sahəsi, $K_{\sigma_{ad}}^*$ vahid səviyyəli müstəvinin səthi üzərində A^*A^* nöqtələri ilə kəsişən xəttin arxasında yerləşir.

4.4. Testləşdirilmiş tutum vericilərinin qeri-adekvatlıq xətasının tədqiqi

Testləşdirilmiş ÖS-in yekun xətasının xüsusi təşkiledicilərindən biri də onun ilkin ölçmə sistemlərinin çevirmə xarakteristikalarının real şəraitdə realizasiyası zamanı onun qəbul edilmiş riyazi modelinin qeyri-adekvat olması səbəbindən yaranan təşkiledicilərdir. Bundan sonra uyğunluq üçün bu xəta təşkiledicilərini "qeyri-adekvatlıq xətası" kimi adlandıraraq RM-in qeyri-adekvatlıq xətası olaraq aşağıdakı metodikadan istifadə etməklə analiz edəcəyik.

Məlumdur ki, n dərəcəli çoxhədlinin qrafikinə qurulması üçün $n+1$ sayda nöqtə tələb olunur və qrafikin bütün nöqtələrdən keçməsi mütləqdir. Əgər ilkin ÖS-in real ÇF-nin RM-i $n-1$ dərəcəli çoxhədlidən və $n+1$ sayda nöqtələrdən ibarətdirsə, onda verilmiş RM-in identifikasiyası üçün $(n+1)$ sayda ölçmə taktı həyata keçiriləcəkdir. Bu zaman n sayda nöqtənin çoxhədliyə məxsus olması mütləqdir və bir nöqtə isə aid olmaya bilər. Bu zaman xəta yaranır və qeyri-adekvatlıq (QA) xətası adlanır.

Əyani olsun deyə testləşdirilmiş ÖS üçün qeyri-adekvatlıq xətasını təhlil edək. Bunun üçün üç ölçmə taktı və $y = a_1 + a_2x + a_3x^2$ tənliyinə aid olan üç (y_0, x) , $[y_1, (x+\theta)]$ və (y_2, kx) nöqtələrini götürülür.

$(y_3, kx+\theta)$ nöqtəsi isə sonuncu $kx+\theta$ testinin ölçmə taktına uyğun gəldiyindən bu tənliyə aid olmur. Onda, ÖS-in girişinə verilən x və müvafiq test kəmiyyətlərinin ölçmə taktlarının nəticələrini əlaqələndirən sistem tənliyi aşağıdakı kimi olar [11]:

$$\begin{cases} y_0 = a_1 + a_2x + a_3x^2 \\ y_1 = a_1 + a_2(x + \theta) + a_3(x + \theta)^2 \\ y_2 = a_1 + a_2kx + a_3(kx)^2 \\ y_3 + \Delta_3 = a_1 + a_2(kx + \theta) + a_3(kx + \theta)^2, \end{cases} \quad (4.4.1)$$

burada Δ_3 – dördüncü ölçmə taktının xətasıdır.

(4.4.1) sistem tənliyini x ölçmə kəmiyyətinə əsasən həll etsək və alınmış nəticədən (4.2.7) –ni çıxsaq, qeyri-adekvatlıq xətasının aşağıdakı ifadəsini alarıq:

$$\Delta_{QA} = \frac{\Delta_3[x(k-1) - \theta]}{(1-k)[(y_3 - y_0) - (y_2 - y_1)]}, \quad (4.4.2)$$

burada Δ_{QA} – ÖS-nin qeyri-adekvatlıq xətasıdır.

Onda $kx + \theta$ testinin Δ_3 ölçmə xətasını aşağıdakı şəkildə təqdim etmək olar [11]:

$$\Delta_3 = I_N(kx + \theta) - I_R(kx + \theta). \quad (4.4.3)$$

Nəzərə alsaq ki, $I_N = b_1 + b_2(kx + \theta) + b_3(kx + \theta)^2$ -nominal və $I_R(kx + \theta)$ -real çevir-mə funksiyaları işçi diapazonda dördüncü dərəcəyə qədər törəməyə malikdirlər, onda aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\begin{aligned} \Delta_3 = & b_1 + b_2(kx + \theta) + b_3(kx + \theta)^2 - \left\{ I_R(x) + \frac{I'_R(x)}{1!}[(xk + \theta - x)] + \right. \\ & \left. + \frac{I''_R(x)}{2!}[(xk + \theta) - x]^2 + \frac{I'''_R(x)}{3!}[(xk + \theta) - x]^3 \right\} = b_2[(xk + \theta) - x] + b_3[(xk + \theta)^2 - x^2] - \\ & - \left\{ \frac{I'_R(x)}{1!}[(xk + \theta - x)] + \frac{I''_R(x)}{2!}[(xk + \theta) - x]^2 + \frac{I'''_R(x)}{3!}[(xk + \theta) - x]^3 \right\}. \end{aligned} \quad (4.4.4)$$

(4.4.1) sistem tənliyindən aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$b_2 + b_3(kx + x + \theta) = \frac{(y_3 - y_0) - (y_2 - y_1)}{2\theta} + \frac{\Delta_3}{2\theta}. \quad (4.4.5)$$

(4.4.1) ifadəsini (4.4.4)-də yerinə yazsaq, alarıq:

$$\frac{\Delta_3}{(kx + \theta) - x} = \frac{(y_3 - y_0) - (y_2 - y_1)}{2\theta} + \frac{\Delta_3}{2\theta} - \left\{ I'_R(x) + \frac{I''_R(x)}{2!}[(xk + \theta) - x] + \frac{I'''_R(x)}{3!}[(xk + \theta) - x]^2 \right\}. \quad (4.4.6)$$

$y_1 = I(x + \theta)$, $y_2 = I(kx)$, $y_3 = I(kx + \theta)$ funksiyalarını Teylor sırasına ayırsaq və

$y_0 = I(x)$ olduğunu nəzərə alsaq, onda $Y = \frac{y_2 - y_1}{2\theta}$ ifadəsini aşağıdakı şəkildə alarıq:

$$Y = \frac{I'_R(x)}{1!} + \frac{I''_R(x)}{2!}[x(k-1) + \theta] + \frac{I'''_R(x)}{3!} \times \\ \times \left\{ [x(k-1) + \theta]^2 + \frac{1}{2}x(k-1)[x(k-1) - \theta] \right\}. \quad (4.4.7)$$

(4.4.7) ifadəsini (4.4.6)-da yerinə yazsaq və Δ_3 -ə nəzərən həll etsək, alarıq:

$$\Delta_3 = \frac{I'''_R(x)}{3!} \cdot \frac{1}{2}x(1-k)[x(k-1) + \theta]2\theta. \quad (4.4.8)$$

(4.4.2) və (4.4.8) ifadələrini nəzərə alsaq, xətanın axtarılan ifadəsini alarıq:

$$\Delta_{QA} = \frac{I'''_R(x)}{3!} \cdot \frac{1}{2}x[x(k-1) + \theta][x(k-1) - \theta] \times \\ \times \frac{1}{\frac{I'_R(x)}{1!} + \frac{I''_R(x)}{2!}[x(k-1) + \theta] + \frac{I'''_R(x)}{3!} \left\{ [x(k-1) + \theta]^2 + \frac{x(k-1)}{2}[x(k-1) - \theta] \right\}}. \quad (4.4.9)$$

(4.4.9) ifadəsindən nisbi xəta üçün qeyri-adekvatlığın aşağıdakı ifadəsini alarıq:

$$\delta_{QA} = \frac{I_R'''(x)[x(k-1) + \theta][x(k-1) - \theta]}{12 \left[\frac{I_R'(x)}{1!} + \frac{I_R''(x)}{2!}[x(k-1) + \theta] + \frac{I_R'''(x)}{3!} \left\{ [x(k-1) + \theta]^2 + \frac{x(k-1)}{2}[x(k-1) - \theta] \right\} \right]}. \quad (4.4.10)$$

x ölçmə kəmiyyətinin həqiqi qiymətini almaq üçün, (4.4.9) ifadəsinin məxrəcindəki $I_R(x)$ –in ikinci və üçüncü tərtib törəmələrindən ibarət olan cəmləri nəzərə almaq, daha doğrusu, ilkin ÖS-nin $I_R'(x)$ həssaslıq kəmiyyətini nəzərə almaq kifayətdir və x –in ölçmə nəticələrinin bərabər ehtimal qanunuyla paylanması zamanı θ və k qiymətlərindən asılılığında δ_{QA} xətasının dəyişmə tərzini üçün növbəti böhran nöqtələrini qeyd etmək olar [11]:

$$k=1, \quad \delta_{QA} = \frac{I_R'''(x) \cdot (-\theta^2)}{12I_R'(x)}; \quad (4.4.11)$$

$$\theta=0, \quad \delta_{QA} = \frac{I_R'''(x)[M_{[x]} \cdot (k-1)]^2}{2I_R'(x)}; \quad (4.4.12)$$

$$k=0, \quad \delta_{QA} = \frac{I_R'''(x)(M_{[x]} - \theta^2)}{2I_R'(x)}; \quad (4.4.13)$$

$$\begin{cases} k=0 \\ \theta=0, \end{cases} \quad \delta_{QA} = \frac{I_R'''(x) \cdot M_{[x]}^2}{12I_R'(x)}; \quad (4.4.15)$$

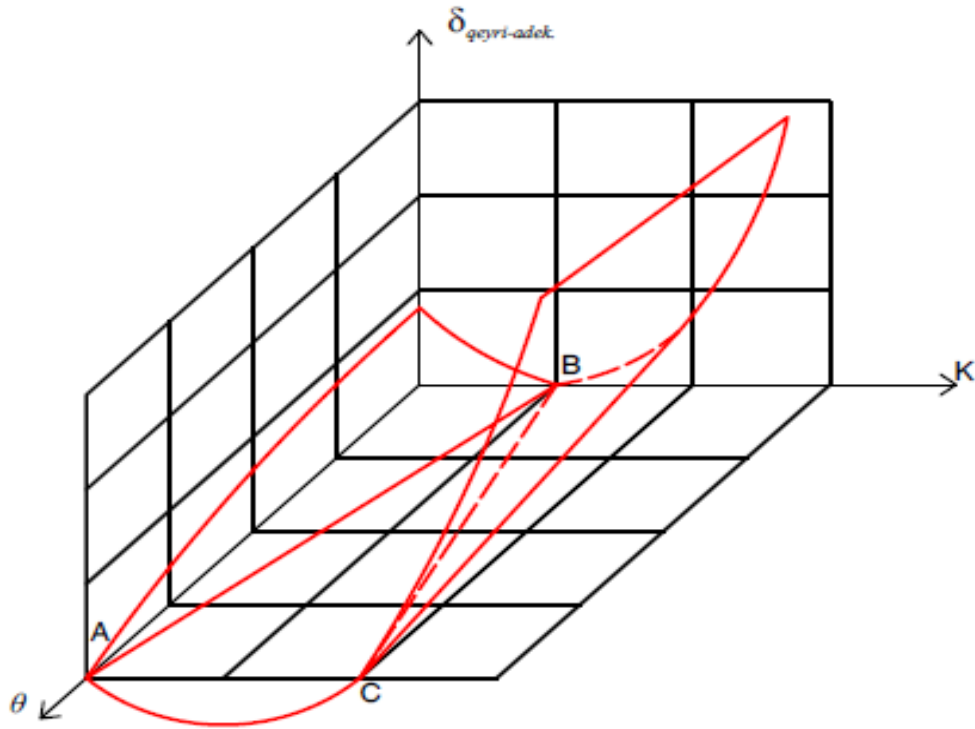
$$\begin{cases} \theta = (k-1)x \\ \theta = (1-k)x, \end{cases} \quad \delta_{QA} = 0; \quad (4.4.16)$$

$$\begin{cases} \theta=0 \\ k=1, \end{cases} \quad \delta_{QA} = 0. \quad (4.4.17)$$

ÖS-nin real çevirmə funksiyasının riyazi modelinin δ_{QA} qeri-adekvatlıq nisbi xətasının θ və k parametrlərindən asılılığı şəkl. 4.4.1-də verilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi bu asılılıq müstəvi formasındadır, δ_{QA} $O\theta$ müstəvisi ilə əyri xətt üzrə kəşir və (4.4.13) ifadəsi ilə təsvir olunur, δ_{QA} OK ilə parabola üzrə kəşir və (4.4.12) ifadəsi ilə təsvir olunur.

Əsas maraq doğuran θOK müstəvisi ilə $\delta_{QA}(\theta, K)$ səthinin kəşmə əyrisidir, çünki, bu düz xətlərin səviyyəsi və onların kəşmə nöqtəsi δ_{QA} xətasının sıfır qiymətinə uyğun gəlir. Beləliklə, (4.4.15) və (4.4.16) ifadələri qeyri-adekvatlıq xətasının sıfıra bərabər olması şərtini göstərir.



Şəkil 4.4.1. $\delta_{QA}(\theta, K)$ asılılığının qrafiki

Qeyd etmək lazımdır ki, (4.4.16) ifadəsindən göründüyü kimi testləşdirilmiş İÖS-nin yekun xətasının digər təşkiledicilərindən fərqli olaraq $k \rightarrow 1$ və $\theta \rightarrow 0$ olduqda $\delta_{QA} \rightarrow 0$. Buna görə, testləşdirilmiş İÖS-in sintezində yekun xətanın minimuma çatdırılması üçün θ və k parametrlərinin qiymətlərinin optimal seçilməsi məsələsi qoyulur və nəticə olaraq bu mümkündür.

4.5. Testləşdirilmiş ölçmə sisteminin yekun xətasının tədqiqi

Testləşdirilmiş ölçmə sistemlərinin ölçmə xətasının nəzərə alınan təşkilədicilərinin (komponentlərinin) bir-biri ilə əlaqəli olmadığını (korrelyasiyasız) nəzərə alsaq, ölçmə nəticəsinin xətası onların cəmi kimi göstərilə bilər [11]:

$$\Delta_{yek.} = \Delta_r + \Delta_{QK} + \Delta_{HQ} + \Delta_g + \Delta_{QA} \quad (4.5.1)$$

burada Δ_r -testləşdirilmiş ÖS-in ƏTT-nin mütləq xətasıdır;

Δ_{QK} – korrelyasız mütləq xəta;

Δ_{HQ} – hesablama qurğusunun mütləq xətası;

Δ_g – mütləq xətası;

Δ_{QA} – riyazi modelin qeyri-adekvatlıq xətasıdır.

(4.5.1) ifadəsindəki yekun xətanı ($\Delta_{yek.}$) tam təsvir etmək üçün onun, bu cəmi əmələ gətirən xətaların paylama qanunlarının yığımı kimi təyin olunan, bir ölçülü paylanma qanununu bilmək lazımdır. Qeyd etmək lazımdır ki, yekun xətanın təsviri, birgə ehtimal paylanması qanunun təyin edilməsi ilə praktik olaraq mümkün deyil, çünki bu çox vaxt aparan çətin araşdırmalara səbəb olur. Məlumdur ki, paylanma qanunu eyni vaxtda normallaşan xətanı, onun yerləşdiyi zona haqqında zəruri məlumat itkisi olmadan normallaşdırılmış ilk iki anı ilə əvəz etmək olar. Göstərilən xətanın verilmiş $p_{yek.}^*$ ehtimalı ilə çıxmadığı zonanı aşağıdakı şərtlər daxilində təyin edək: $\Delta_{yek.}$ yekun xəta İÖS üçün xarakterik olan tək modullu paylanma qanununa malik olur, “ölü gedış” və histerezis təsir etmir. Bu zona aşağıdakı bərabərsizliklə təyin edilir [11]:

$$M_{[\Delta_{yek.}]} - k\sigma_{[\Delta_{yek.}]} \leq \Delta_{yek.} \leq M_{[\Delta_{yek.}]} + k\sigma_{[\Delta_{yek.}]}, \quad (4.5.2)$$

burada k – p^* -dən asılı olan məlum funksiyadır, əgər $\Delta_{yek.}$ xətanın birölçülü paylanma qanununun ehtimal xarakteristikasının şəkli məlumdursa;

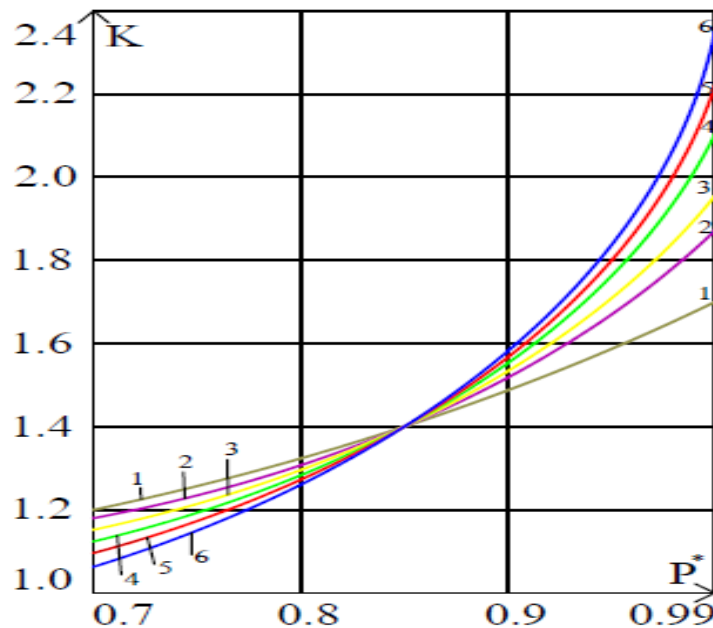
$M_{[\Delta_{yek.}]}$ – yekun xətanın riyazi gözləməsi;

$\sigma_{[\Delta_{yek.}]}$ – yekun xətanın orta kvadratik meylidir.

ÖS-in xətasının paylanma qanunu praktiki olaraq qabaqcadan şərtləşdirilmiş olur. Paylanma qanununun bəzi təkmədullu kəsikləri üçün $k(p^*)$ asılılığı, bərabər əsaslarla [23, 24, 30, 31] ədəbiyyatlarından təyin olunur.

Şəkil 4.5.1-də daha çox yayılmış asılılıqların qrafikləri təqdim edilmişdir: 1 – müntəzəm paylanma, 2,3,4 –trapesiya şəkilli (aşağı əsas $2l$ -ə, yuxarı əsas isə uyğun olaraq $3l/2, l$ və $l/2$) paylanma, 5 – üçbucaq şəkilli paylanma, 6 – normal kəsikən paylanma qanunu əks etdirən qrafiklərdir [11].

Şəkildəki qrafiklərdən görünür ki, əgər (4.4.17) ifadəsindəki k əmsalının qiymətini trapesiya şəkilli paylanma qanunu üçün seçsək (3-cü əyri), onda şəkil 4.5.1-də təsvir edilmiş mütləq xətanın təsadüfi paylanma qanununun istənilən əyrisindən təyin edilmiş k əmsalının qiyməti $\Delta k \leq 0,4$ aşmaz.



Şək. 4.5.1. Bir modullu paylanma qanunu üçün ÖS-nin xətasının $k(p^*)$ asılılığı

k -nın seçilməsi zamanı o, ən böyük qiyməti $p^* = 0,99$ -da alacaq və nisbi xətası 20% əhatə edəcəkdir. Əmsalın qiymətinin bu cür dəqiqləşdirilməsi (4.4.17) ifadəsində zonanın müəyyənləşdirilməsində müvafiq xəyata səbəb olacaqdır.

Eyni zamanda, bu zonanı qiymətləndirmək üçün k əmsalından əlavə $M_{[\Delta_{yek.}]}$ və $\sigma_{[\Delta_{yek.}]}$ dəyərlərini də bilmək lazımdır. Çünki, k əmsalı qiymətləndirmənin etibarlılığından ($P^* = 0,95$), xətadan $\Delta\sigma^2_{[\Delta_{yek.}]} \approx 50\%$ və sınaqların sayından da asılıdır.

Beləliklə, k əmsalının qiymətinin böyük dəqiqliklə təyin edilməsinə ehtiyac duyulmur və bu, zonanın təyininin dəqiqliyini artırmağa nəzərə çarpan dərəcədə səbəb olmayacaq. Eyni zamanda, ölçmə avadanlıqlarının yaratdıqları xətaların qiymətləri də $\hat{M}_{[\Delta_{yek}]}$ и $\hat{\sigma}_{[\Delta_{yek}]}$ qiymətləndirmə meyarlarına əlavə olunurlar.

Şəkil 4.5.1-də verilmiş paylanma qanununun qrafikləri ölçmə sistemlərinin geniş bir sinifini əhatə edirlər, xətaların paylanma qanunu təkmodullu, ya da simmetrik hesab edilir, buna görə də k -nın qiymətinin seçilməsi metodikasını praktiki olaraq bütün ÖS-lər üçün yetərli qəbul etmək olar.

Yuxarıda deyilənlərdən belə bir nəticə çıxır ki, bu xətaların paylanma qanununu təyin etmədən, yalnız onların riyazi gözləməsini və orta kvadratik meylini bilməklə verilmiş $P_{yek.}$ etibarlılığına və (4.5.2) ifadəsinə görə, $\Delta_{yek.}$ xətası yerləşən, təcrübə üçün yetərli olan zonanı dəqiq tapmaq olar.

Yekun xətasının birinci anında xəta təşkilediciləri ($\Delta_T, \Delta_{QK}, \Delta_{HQ}, \Delta_g, \Delta_{QA}$) korrelyasiyasız şərti daxilində aşağıdakı ifadələrlə hesablanır [11]:

$$M_{[\Delta_{yek}]} = M_{\Delta_T} + M_{\Delta_g} + M_{\Delta_{QA}}, \quad (4.5.3)$$

$$\sigma^2_{[\Delta_{yek}]} = \sigma^2_{\Delta_T} + \sigma^2_{\Delta_{QK}} + \sigma^2_{\Delta_{HQ}} + \sigma^2_{\Delta_{QA}}, \quad (4.5.4)$$

burada $M_{\Delta_{QA}}$ və $\sigma^2_{\Delta_{QA}}$ – çoxkanallı testləşdirilmiş İÖS-in qeyri-adekvatlıq xəta

təşkiledicilərin riyazi gözləməsi və dispersiyasıdır.

Xəta təşkiledicilərinin riyazi gözləməsi və dispersiyası üçün yuxarıda tapılmış qiymətləri (4.5.3) və (4.5.4) ifadələrində əvəz edərək eyni zamanda qəbul etsək ki, korrelyasiyasız additiv xətdə bu üstünlük təşkil edir, onda yekunlaşdırıcı xətanın

$M_{[\Delta_{yek.}]}$ riyazi gözləməsi və $\sigma^2_{[\Delta_{yek.}]}$ dispersiyası üçün aşağıdakı ifadələri alarıq:

$$M_{[\Delta_{yek.}]} = \left(\frac{M_{\Delta_M}}{K-1} - \frac{M_{\Delta_\theta}}{\theta} \right) x + v\tau \left[\frac{1+k}{2\theta} - \frac{(sk-1)}{2x(k-1)} \right] x +$$

$$+ \frac{\frac{R'''_{yek.}(x)}{3!} [x(k-1)+\theta][x(k-1)-\theta] x}{2 \left[\frac{R'_{yek.}(x)}{1!} + \frac{R''_{yek.}(x)}{2!} [x(k-1)+\theta] + \frac{R'''_{yek.}(x)}{3!} \left\{ [x(k-1)+\theta]^2 + \frac{x(k-1)}{2} [x(k-1)-\theta] \right\} \right]} + M_{\Delta_{QA}}$$

burada V – ölçmə kəmiyyətinin (x) dəyişmə sürətidir;

$$\sigma^2_{[\Delta_{yek.}]} = \frac{\sigma_{\Delta_M}^2}{(k-1)^2} x^2 + \frac{\sigma_{\Delta_\theta}^2}{\theta^2} x^2 + \frac{\sigma_{b_1}^2 \left[\frac{x^2}{\theta^2} + \frac{1}{(1-k)^2} \right]}{[b_{2N} + b_{3N}(kx + x + \theta)]^2} +$$

$$+ \frac{\Delta\tau^2}{12} \left\{ \frac{\theta^2 + x^2(k-1)^2}{(1-k)^2 \theta^2 [b_{2N} + b_{3N}(kx + x + \theta)]^2} \right\} + \sigma_{\Delta_{QA}}^2.$$

(4.5.2) ifadəsini (4.5.5) və (4.5.6)–də nəzərə almaqla verilən ehtimalla $\Delta_{yek.}$ yekun xətanın yerləşdiyi zonanı təyin etmək olar.

Nəticə

1. Tutum vericilərində ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün alqoritmik üsulların tədqiqi imkanları analiz edilmiş, test üsulunun səmərəliliyi əsaslandırılmışdır.

2. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericilərinin ölçmə dəqiqliyini yüksəldilməsində test üsulunun reallaşdırılmasının spesifik xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir.

3. Testləşdirilmiş tutum vericilərinin korrelyasiyasız statik xətası, qeri-adekvatlıq xətası və yekun xətalrı tədqiq edilmişdir.

4. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericiləri üçün xətalrı təshihedici test alqoritmləri verilmiş və onların riyazi-statistik qiymətləndirmələri aparılmışdır.

5. Yekun xətanın paylanma qanunu və yerləşdiyi zonaların təyini, ölçmə nəticəsinə təsir göstərən amillərin qiymətləndirilməsi üçün müvafiq düsturlar və əyani qrafiklər təqdim edilmişdir.

İŞİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

1. Tutum çeviriciləri, onların metroloji xarakteristikaları, ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorlar tədqiq edilmiş və böyük yerdəyişmələrin ölçülməsində onların tətbiqi imkanları müəyyən olunmuşdur.
2. Böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin metroloji xarakteristikalarının nəzəri tədqiqi həyata keçirilmiş, parametrlərə təsir göstərən faktorların azaldılması üçün üsullar işlənilmiş və real sınaqlarda adekvatlıq yoxlanılmışdır.
3. Müxtəlif təyinatlı böyük xətti yerdəyişməli tutum vericiləri tədqiq edilmiş, diferensial tutum vericilərinin tətbiqinin üstünlükləri əsaslandırılmış, onların çevirmə funksiyaları və riyazi modelləri dəqiqləşdirilmişdir.
4. Böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin çevirmə funksiyaları və onların parametrləri arasında korrelyasiya əlaqələri tədqiq edilmiş, riyazi ifadələr alınmış, real nümunələr əsasında qiymətləndirmələr aparılmışdır.
5. Tutum vericilərində ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün alqoritmik-test üsullarının tətbiqi imkanları analiz edilmiş, hibrid test üsulunun daha səmərəli olduğu əsaslandırılmış və real sınaqlarla təsdiqlənmişdir.
6. Testləşdirilmiş vericilərin nümunələrində korrelyasiyasız statik xətlər, qeri-adekvatlıq xətası və yekun xətləri tədqiq edilmişdir.
7. Böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin çevirmə funksiyaları üçün riyazi modellər, onların çevirmə xətlərinin təshihedici test alqoritmləri işlənmiş və riyazi-statistik qiymətləndirmələr aparılmış, əyani qrafiklər təqdim edilmişdir.
8. Yekun xətanın paylanma qanunu və yerləşdiyi zonalar təyin edilmiş, ölçmə nəticəsinə təsir göstərən amillər qiymətləndirilmişdir.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ağayeva, F.Ş. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin xətasının təyini // – Sumqayıt: Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi xəbərləri, – 2011. № 1, – s. 90-94.
2. Ağayeva, F.Ş. Böyük yerdəyişmələrin ölçülməsi üçün tutum vericili elektrik dövrəsinin təhlili // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: – 24– 25 may, – 2016, – s. 231-234.
3. Ağayeva, F.Ş. Tutum vericisinin çevrilmə sxemlərinin tədqiqi // Müasir informasiya ölçmə və idarəetmə sistemləri: problem və perspektivlər: 1-ci Beynəlxalq elmi-praktik konfrans, – Bakı: – 01-02 iyul, – 2019, – s. 137-138.
4. Ağayeva, F.Ş. Qraf üsulu ilə böyük yerdəyişməli tutum vericisinin analizi // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: – 25-26 oktyabr, – 2017, – s.18-20.
5. Ağayeva, F.Ş. Tutum vericilərinin funksional parametrlərinin analizi // İnformasiya sistemləri və texnologiyalar: Nailiyyətlər və perspektivlər. II Beynəlxalq Elmi Konfransın materialları, – Sumqayıt: – 2020, – s. 326-327.
6. Əliyev, T.M. Elektrik ölçmələri / T.M.Əliyev, R.M.Mirsəlimov, T.Ə.Həsənov. – Bakı: – 1996. – 324 s.
7. İsayev, M.M., Ağayeva, F.Ş. Tutum vericisi əsasında neftin tərkibinin və sərfin ölçmə sistemi // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunur. İnformasiya sistemləri və texnologiyalar, nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları, – Sumqayıt: – 15-16 noyabr, – 2018, – s. 473-476.
8. İsayev, M.M. Mehdiyev, E.K. Qeyri-xətti çevirmə funksiyasına malik ölçmə sistemlərinin dəqiqliyinin yüksəldilməsində optimal testlərin seçilməsi alqoritmi // Azərbaycan MEA-nın Xəbərləri, Fizika–riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, – Bakı: – 2009. c, XXIX, № 6, – s.146-151.
9. İsayev, M.M. Axında neftin sıxlığının avtomatlaşdırılmış ölçmə sisteminin və

- xətanın tədqiqi / M.M.İsayev, M.B.Məmmədova, N.M.Xasayeva [və b.] // Azərbaycan neft təsərrüfatı, – Bakı: – 2020. №12, – s. 39-44.
- 10.İsayev, M.M. Ölçmə sistemlərinin dəqiqliyinin yüksəldilməsinin alqoritmik-test üsulları / M.M.İsayev. – Bakı: Elm, – 2018. – 206 s.
- 11.İsayev M.M. Neft hasilatı, ilkin hazırlanması, nəqli və saxlanması proseslərinin yüksək dəqiqlikli informasiya-ölçmə və idarəetmə kompleksinin işlənməsi və tədqiqi: / texnika elmləri üzrə elmlər doktoru dissertasiyasının avtoreferatı. / – Bakı, 2021. – 56 s.
- 12.Kazımov, N.M. Mikroprosessorlu böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin tədqiqi / N.M.Kazımov, Ə.A.Yusifov, F.Ş.Ağayeva // Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi xəbərləri, – Sumqayıt: – 2006. № 4, – s. 98-100.
- 13.Kazımov, N.M., Yusifov, Ə.A., Ağayeva, F.Ş. Rəqəm çıxışlı tutum vericisinin həssaslığının tədqiqi // Azərbaycanda televiziyanın 50, radionun 80 illiyinə həsr edilmiş Beynəlxalq Elmi Texniki Konfransının Materialları, – Bakı: – 4-6 iyun, – 2007, – s. 128-131.
- 14.Kazımov, N.M. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin xətasının təyini / N.M.Kazımov, Ə.A.Yusifov, F.Ş.Ağayeva // Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi xəbərləri, – Sumqayıt: – 2011. № 1, – s. 90-94.
- 15.Məmmədov, H.Ə. Ölçmə nəticələrinin emal metodları / H.Ə.Məmmədov, Ç.M.Hacıyev –Bakı: Sabah, – 2008. – 275 s.
- 16.Məmmədova, R.C., Ağayeva, F.Ş. Rütubət ölçən tutum sensorunun analizi // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunur. İnformasiya sistemləri və texnologiyalar, nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları, – Sumqayıt: – 15-16 noyabr, – 2018, – s.436-437.
- 17.Mənsurov, Q.M., Ağayeva, F.Ş. Hündürlüklər fərqinin ölçülməsi üçün təzyiq-tutum çeviricisi // Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika elmi konfransının materialları, – Sumqayıt: – 30-31 may, – 2019, – s. 303-304.

- 18.Rzayev, Ab.H. Neftin hazırlığı prosesi üçün nəzarət ölçmə və idarəetmə sisteminin işlənməsi / Ab.H.Rzayev, M.M. İsayev, F.Ş. Ağayeva [və b.] // Azərbaycan neft təsərrüfatı, – Bakı: – 2019. №8, – s. 32-36.
- 19.Yusifov, Ə.A., Ağayeva, F.Ş. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin həssaslığının tədqiqi // Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi xəbərləri, – Sumqayıt: – 2006. № 3, – s. 84-87.
- 20.Абдуллаев, И.М. К проблеме повышения точности статистических измерений // Информатика и измерительная техника. Тематический сборник научных трудов, – Баку: – 1991. – с.78–82.
- 21.Агаева, Ф.Ш. Анализ схемы симуляции емкостного датчика фиксирующего существование объекта // Научное обозрение. Технические науки, – Москва: – 2022. № 2, – с. 5-9.
22. Агаева, Ф.Ш. Емкостный датчик больших линейных перемещений // Вестник Российской Академии Естественных Наук, – Санкт-Петербург: – 2015. №2, – с. 140-142.
23. Агаева, Ф.Ш. Структурно-алгоритмические методы для уменьшения температурной погрешности емкостных датчиков // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunur. İnformasiya sistemləri və texnologiyalar, nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransın materialları, – Sumqayıt: –15-16 noyabr, –2018, – s. 446-448.
- 24.Артемов, Б.Г. Поверка и калибровка средств измерений / Б.Г.Артемов, Ю.Е.Лукашов – М.: ФГУП «Стандартинформ», –2006. – 408 с.
- 25.Артемов, Б.Г. Справочное пособие для специалистов метрологических служб / Б.Г.Артемов, Ю.Е.Лукашов – М.: ИПК Издательство стандартов, – 2004. – 648 с.
- 26.Арутюнов, П.А. Теория и применение алгоритмических измерений / П.А.Арутюнов. – М.: Энергоатомиздат, – 1990. – 255 с.
- 27.Ацюковский, В.А. Емкостные датчики перемещений / В.А.Ацюковский. – М.: Энергия, – 2008.

- 28.Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И.Баскаков. – М.: Высшая школа, – 2000. – 448 с.
- 29.Бахтиаров, Г.Д. Аналого-цифровые преобразователи / Г.Д. Бахтиаров, В.В. Малинин, В.П. Школин; Под ред. Г.Д. Бахтиарова –М.: Сов. радио, – 1980. – 278 с.
- 30.Белов, А.В. Создаем устройства на микроконтроллерах / А.В.Белов. – СПб.: Наука и Техника, – 2007. – 304 с.
31. Бондер, А. Измерительные приборы: Учебник для студентов вузов: в 2 томах / В.А. Бондер, А.В. Алферов. Методы измерений, устройство и проектирование приборов.
32. Браверман, Э.М. Структурные методы обработки эмпирических данных / Э.М.Браверман, И.Б.Мучник – М.: Наука, – 1983. – 345 с.
- 33.Бромберг, Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э.М.Бромберг, К.Л.Куликовский – М.: Энергия, – 1987. – 176 с.
- 34.Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С.Вентцель. – М.: Гос. издат. физ. мат. Литературы, – 1972. – 464 с.
- 35.Виглеб, Герхард. Датчики: Устройство и применение / Г. Виглеб; Перевод с нем. М. А. Хацернова. – М.: Мир, – 1989. – 196 с.
- 36.Воинов, Б.С. Информационные технологии и системы. Методология синтеза новых решений: монография / Б.С.Воинов. – Н. Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, – 2001. – 404 с.
- 37.Войтович, И.Д. Интеллектуальные сенсоры: Учебное пособие / И.Д. Войтович, В.М.Корсунский –М.: ИУИТ; БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2011. –624 с.
- 38.Гельман, М.М. Аналого–цифровые преобразователи для информационноизмерительных систем / М.М.Гельман. – М.: Изд-во стандартов. – 1989. – 320 с.
- 39.Грановский, В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сирая – Л.: Энергоатомиздат. – 1990.

– 288 с.

- 40.ГОСТ 51086–97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения. – М.: Издат-во стандартов. – 1998. – 16 с.
41. Дивин, А.Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Учебное пособие. В 5 ч. / А.Г. Дивин, С.В. Пономарев, Г.В. Мозгова – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – 2012. – Ч. 2. – 108 с.
- 42.Дробков, В.П. Методы и средства измерений влажности нефти (обзор) / В.П.Дробков, В.И.Мельников, С.А.Лабутин // Датчики и Системы. – Москва. – 2002. – №11. – с. 23-26.
- 43.Дубовой, Н.Д. Автоматические многофункциональные измерительные преобразователи. –М.: Радио и связь. – 1989. – 255 с.
- 44.Зайцев, С.А. Контрольно-измерительные приборы и инструменты / С.А.Зайцев, Д.Д.Грибанов, А.Н.Толстов, Р.В.Меркулов. – М.: Издательский центр «Академия». – 2006. – 464 с.
- 45.Захаров, Н.А., Селезнев С.Б. Измерительные приборы и системы фирмы “Barton” / Н.А.Захаров, С.Б.Селезнев // Датчики и системы. – 2003. №3. – с. 50-52.
- 46.Земельман, М.А. О классификации погрешности измерений. Измерительная техника. – 1985. №6. – с. 3–5.
- 47.Иванников, Д.А., Основы метрологии и организации метрологического контроля. Учебное пособие. / Д.А.Иванников, Е.Н.Фомичев –Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет. – 2001. – 116 с.
- 48.Ильичев, И.С. Основы физико–химического анализа продуктов нефтепереработки и нефтехимического синтеза / И.С.Ильичев, М.А.Лазарев, А.А.Щепалов – Нижний Новгород. – 2010. – 163 с.
- 49.Исаев, М.М. Повышения точности измерений с помощью комбинированных тестовых алгоритмы / М.М.Исаев, Р.Г.Мамедов и др. //

Известия НАН Азерб. Серия физ. –мат. и тех. Наук. – 2009. Том. XXIX. - №3. – с. 123–130.

- 50.Исаев, М.М. Разработка комбинированного алгоритма для повышения точности результатов измерений / М.М.Исаев, М.Б.Мамедова, Р.Б.Назаров, Ф.Ш.Агаева, Н.Х.Бадалова // “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans. –Bakı. 21-23 noyabr 2018. -s.74-79.
- 51.Исаев, М.М., Назаров, Р.Б., Бадалова, Н.Х., Мамедова, М.Б., Агаева Ф.Ш. Разработка комбинированного алгоритма и информационно-измерительная система для повышения точности измерений / материалы XVI Международной конференции имени А.Ф.Терпугова, – Томск. 29 сентября - 3 октября, 2017, с. 292-299.
- 52.Ишанин, Г.Г. Источники и приемники излучения, – СПб.: Политехника, – 1991. – 240 с.
- 53.Казаченко, В.Ф. Микроконтроллеры: Руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров INTEL MCS–196/296 во встроенных системах управления / В.Ф.Казаченко. – М.: Издательство Экон, – 1997.
- 54.Како, Н. Датчики и микро–ЭВМ: пер. с яп. / Н. Како, Н.Яманэ. – Л.: Энергоатомиздат, – 1986. – 120 с.
- 55.Каталог компании «Emerson Process Management» издание 2. –М.: –2012. – 36 с.
- 56.Каталог фирмы «BD Sensors RUS». Датчики давления и уровня – 3.0. –М.: – 2019. www.bdsensors.ru (дата обращения 18.06.2019)
- 57.Каталог фирмы FOXBORO, USA, PSS1–4A2A, – 1986. –с.1–16.
- 58.Каталог фирмы Enraf Nonius. DWG. N:PB.000.855. – 19 с.
- 59.Келим, Ю.М. Типовые элементы систем автоматического управления. / Ю.М.Келим. – М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, – 2004. – 384 с.
- 60.Коптелова, И.А. Методика интеллектуальной поддержки проектирования информационно–управляющих систем // Приборы. –2007. №4, – с. 20–24.

- 61.Корнеев, В.В. Современные микропроцессоры. / В.В. Корнеев, А.В. Киселев. – М.: «Нолидж», – 2000. – 320 с.
- 62.Коротков, В.П. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств / В.П. Коротков, Б.А. Тайц. –М.: Изд-во стандартов, – 1978. – 352 с.
- 63.Коряков, В.И. Приборы в системах контроля влажности твердых веществ и их метрологические характеристики / В.И. Коряков, А.С. Запорожец. Журнал «Практика приборостроения». – 2002.
- 64.Куликовский, К.Л. Методы и средства измерений. / К.Л. Куликовский, В.Я. Купер –М.: Энергоатомиздат, – 1986. – 448 с.
- 65.Кульчин, Ю.Н. Волоконно-оптический объемный расходомер жидкости / Ю.Н.Кульчин, В.П.Васильев, И.А.Полей // Измерительная техника, – 2003. №4, – с. 26–27.
- 66.Курдюмов, Ю.А. Повышение точности измерений объемного расхода преобразователями с частотным выходным сигналом // Измерительная техника. – 1991. №7, – с. 30–32.
- 67.Лабутин, С.А., Пугин М.В. Статистические модели и методы в измерительных задачах: Монография. Нижегород. гос. техн. ун-т. Н. Новгород: – 2000.
- 68.Лазичев, А.А. Вариационный синтез систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, – 2006. № 2, – с.1–2.
- 69.Локтюхин, В.Н., Челебаев С.В. Нейросетевые преобразователи импульсно – аналоговой информации: организация, синтез, реализация / В.Н.Локтюхин, С.В.Челебаев. Под общей редакцией А.И.Галушкина. –М.: Горячая линия-Телеком. – 2008. – 144 с.
- 70.Лунеев, Д.Е. Расчет и анализ измерительных преобразователей с изменяющейся электрической емкостью: Методические указания по курсу «Измерительные преобразователи» / Д.Е.Лунеев, – Астрахань: Изд.-во АГТУ, – 2008. – 26 с.

- 71.Малыхина, Г.Ф. Разработка методов и средств интеллектуализации измерений в задачах определения свойств технических объектов: / Автореф. дис. д-ра техн. наук / – СПб. 1996, – 30 с.
- 72.Мамедов, Р.Г. Повышение точности измерений с помощью комбинированных тестовых алгоритмов / Р.Г.Мамедов, М.М.Исаев, Э.К.Мехтизаде // Известия НАН Азерб. Серия физ. – мат. и тех. наук, – 2009. Том. XXIX, № 6, – с. 158–165.
- 73.Медведев, А.Г. Разработка и исследование поверхностных емкостных датчиков для измерения уровня топлива: / Дис.канд. тех. наук./ – Ульяновск, 2008. – 152 с.
- 74.Методы оптической спектроскопии / Методическое пособие // Под общей редакцией И.И. Кулаковой, О.А. Фёдоровой, А.В. Хорошуткина. – МГУ им. М.В. Ломоносова, – 2015. – 117 с.
- 75.Метрологическое обеспечение измерительных систем / Сборник докладов международной научно–технической конференции // Под ред. А.А. Данилова. –Пенза: – 2004. – 155 с.
- 76.Микропроцессорная система для технологического контроля. Нефть, газ и нефтехимия за рубежом, – 1994. №4, – 64 с.
- 77.Мясникова, Н.В., Пащенко В.В. Алгоритмический подход к созданию измерительных преобразователей повышенной точности // Датчики и Системы, – 1999. №2, – с. 25-30.
- 78.Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд, перераб. и доп./ П.В.Новицкий, И.А.Зограф – Л.: Энергоатомиздат, – 1991, – 304 с.
- 79.Новицкий, П.В. Динамика погрешностей средств измерений. / П.В.Новицкий, И.А.Зограф, В.С.Лабунец – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, – 1990. – 192 с.
- 80.Основы автоматики: Учебное пособие для вузов / А.С.Гордеев. – Мичуринск: МичГАУ, – 2006. – 212 с.

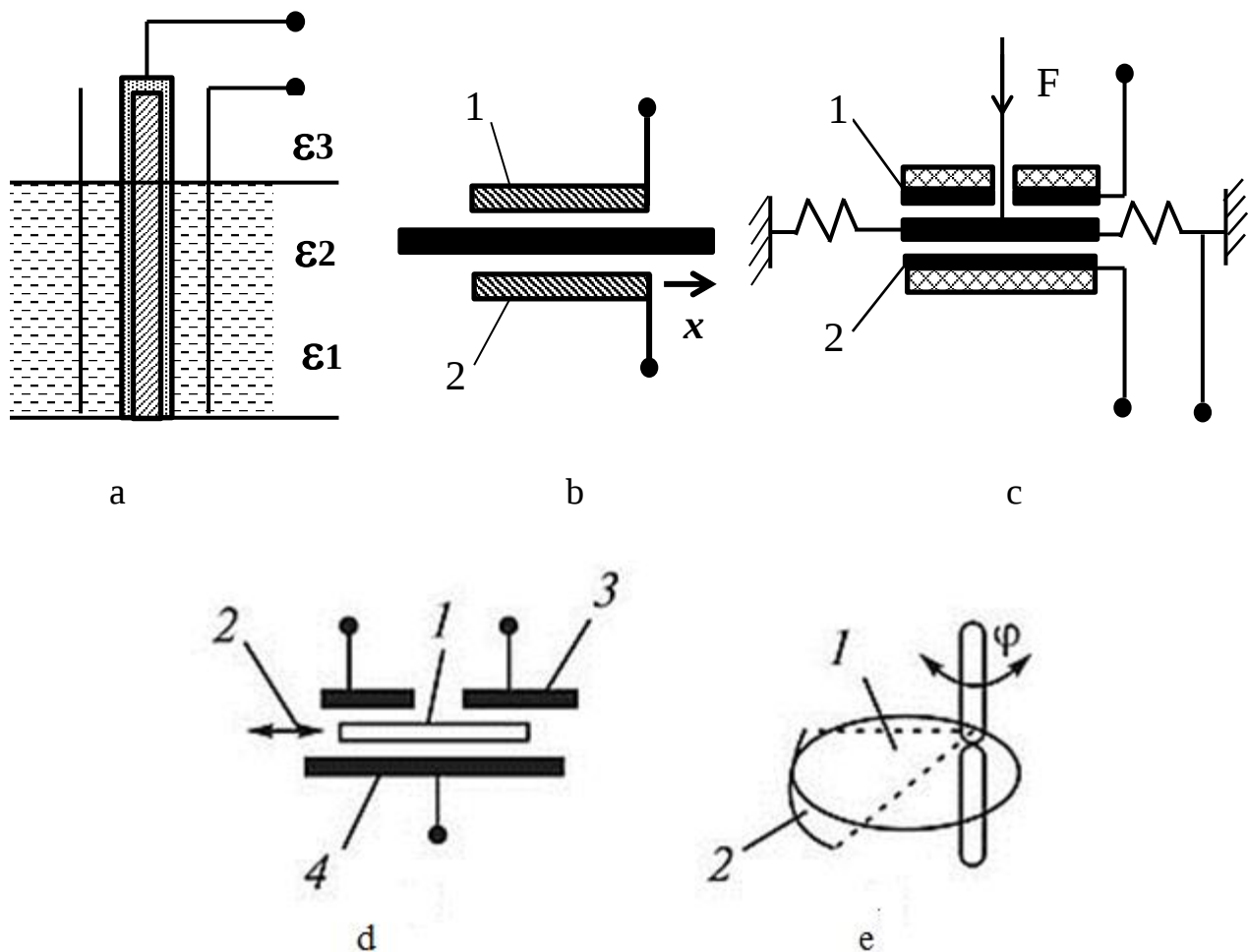
- 81.Солонина, А.И. Основы цифровой обработки сигналов / Д.А.Солонина, Д.А. Улахович, С.М.Арбузов, Е.Б.Соловьева / Изд. 2-е испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 768 с.
- 82.Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинкого. –М.: Финансы и статистика, – 2002. – 344 с.
- 83.Патент RU 2472106 С2. 2013-10-01. Бюл. №1
- 84.Патент (РФ) №2199089. Способ коррекции статических характеристик измерительных преобразователей. – 2003. – Бюл. № 5
- 85.Пиотровский, Я. Теория измерений для инженеров. / Я.Пиотровский. –М.: Мир. –1989. – 335 с.
- 86.Пустынский, И.Н. Адаптивные фотоэлектрические преобразователи с микропроцессорами / И.Н. Пустынский, В.С. Титов, Т.А. Ширабакина – М.: Энергоатомиздат, – 1990. – 80 с.
- 87.Пытьев, Ю.П. Математические методы интерпретации эксперимента: Учеб. пособие для вузов / Ю.П.Пытьев. – М.: Высш. шк., – 1989. – 351 с.
- 88.Рабинович, С.Г. Погрешности измерений / С.Г.Рабинович. – Л.: Энергия, – 1978.
- 89.Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений. Учебник для вузов / Г.Г. Раннев, А.П.Тарасенко. – 3-е изд., стер. Издательский центр «Академия», – 2006. – 336 с.
- 90.Рао, С.Р. Линейные статистические методы и их применение. / С.Р.Рао. – М.: Наука, – 1986. – с. 548.
- 91.Ричард, Л. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. / Л.Ричард. – М.: ООО «Бином-Пресс», – 2006. – 656 с.
- 92.Рубичев, Н.А. Измерительные информационные системы. Учебное пособие / Н.А. Рубичев. – М.: Дрофа, – 2010. – 334 с.
- 93.Руководство по выражению неопределенности измерения. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement / Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. / ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. – СПб. – 1999. – 134 с.

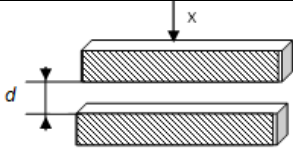
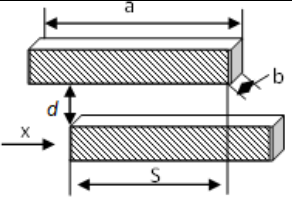
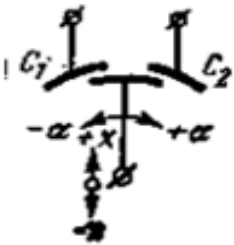
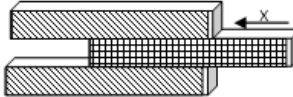
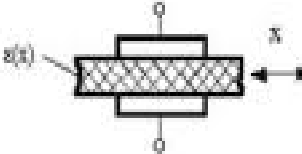
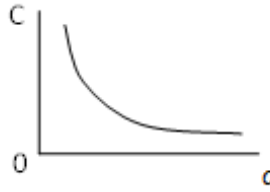
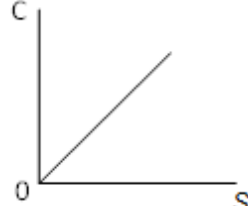
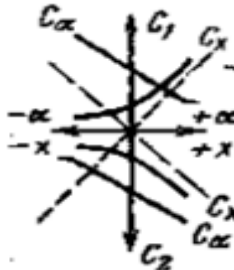
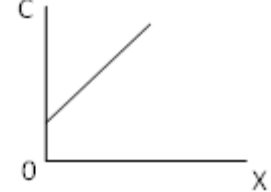
- 94.Седалищев, В.Н. Физические основы получения измерительной информации с использованием генераторных и параметрических первичных преобразователей. Учеб.пособие. / В.Н.Седалищев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, – 2008. – 170 с.
- 95.Слепов, В.И. Европейский рынок датчиков давления // Приборы и системы управления. – 2001. № 3, – с. 55–57.
- 96.Сизиков, В.С. Математические методы обработки результатов измерений. Учебник для вузов. / В.С.Сизиков. – СПб: Политехника, – 2001. – 240 с.
- 97.Солдаткин, В.М. Основы проектирования измерительных приборов и систем / В.М.Солдаткин, А.А.Порунов, В.В.Солдаткин // Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева. –2004. – (УМО, УМС)
- 98.Строгалева, В.П. Имитационное моделирование. Учебное пособие. / В.П.Строгалева, И.О.Толкачева – М.: Издат-во МГТУ им Н.Э. Баумана, – 2015. – 295 с.
- 99.Усков, А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. / А.А.Усков, А.В.Кузьмин. –М.: Горячая Линия – Телеком. – 2004. – 143 с.
- 100.Фарзана, Н.Г. Технологические измерения и приборы. Учебник для вузов. / Н.Г.Фарзана, Л.В.Илясов, А.Ю.Азимзаде – М.: Высшая школа, – 1989. – 456 с.
- 101.Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник. Пер. с англ. / Под ред. Е.Л. Свинцова. – М: Техносфера, – 2006. – 592 с.
- 102.Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. Учебное пособие. / В.Г.Хазаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия. – 2013. – 655 с.
- 103.Харт, Х. Введение в измерительную технику / Х. Харт, пер. с нем. – М.: Мир, – 1999. – 391 с.

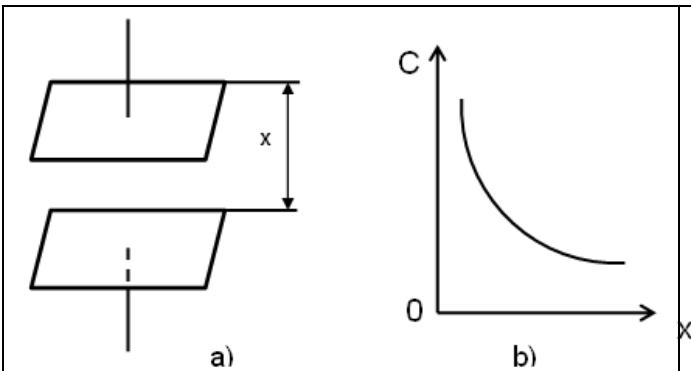
- 104.Цветков, Э.И. Методические погрешности статистических измерений. / Э.И.Цветков. – Л.: Энергоатомиздат, – 1984, – 144 с.
- 105.Цветков, Э.И. Процессорные измерительные средства. / Э.И.Цветков. – Л.: Энергоатомиз, – 1989. – 224 с.
- 106.Шевчук, В.П. Моделирование метрологических характеристик интеллектуальных измерительных приборов и систем. / В.П.Шевчук. – М.: ФИЗМАТЛИТ, – 2011. – 320 с.
- 107.Шимарев, В.Ю. Средства измерений. / В.Ю.Шимарев. – М.: Издательский центр «Академия», – 2010. – 320 с.
- 108.Strakhov, A.F. Multiparameter objects and multiparameter measurements. Measurement Techniques, Vol. 47, – 2004. No. 11, – p.1051–1054.
- 109.<https://sivcomsks.com/datchik-prisutstviya-cheloveka-svoimi-rukami/> (müraciət tarixi: 20.02.2021) Датчик присутствия
- 110.<https://cyberleninka.ru/article/v/sistema-izmereniya-plotnosti-nefteproduktov-v-truboprovodah-ultrazond-50> (müraciət tarixi 28.08.2020)
- 111.<https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-metran-ru-ru-4761846.pdf> (müraciət tarixi 25.09.2020)
- 112.<https://cyberleninka.ru/article/n/uchebno-izmeritelnyy-kompleks-dlya-izucheniya-raboty-emkostnyh-sensorov/viewer> (müraciət tarixi 15.05.2022)
- 113.<https://nullbarriere.de/files/pdf/gesetze/vdi6008-3-inhalt.pdf> (müraciət tarixi 12.04.2022)
- 114.<https://deru.abcdef.wiki/wiki/VDI-Richtlinie> (müraciət tarixi 15.03.2022)
- 115.<https://osensorax.ru/posiciya/emkostnoj-datchik> (müraciət tarixi 25.09.2021)
- 116.https://studme.org/183463/tehnika/datchiki_lineynogo_peremescheniya (müraciət tarixi 15.05.2022)

ƏLAVƏLƏR

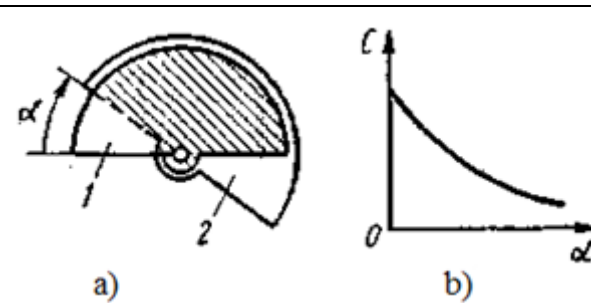
Parametrik tutum sensorlarının (vericilərin) quruluş sxemləri



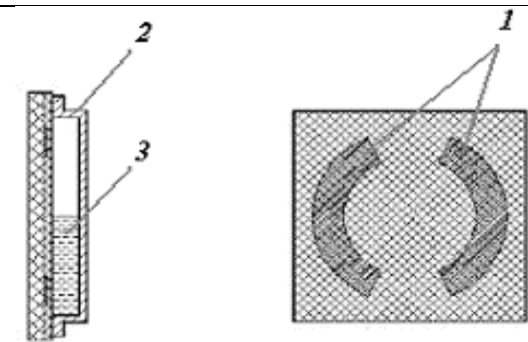
Vericinin növü	Lövhlər arasındakı d -nin dəyişdirilməsi	Ləvhələrin sahəsi S -in dəyişdirilməsi	Dəyişən d və dəyişən S olan diferensial verici	Dielektrik keçiriciliyi ε -un dəyişdirilməsi	Dielektrik keçiriciliyi ε_n -in dəyişən qiymətlə verici
Vericinin konstruktiv sxemi					 $\varepsilon_n=f(t,p,u,\gamma)$
Tutum qabiliyyətinin dəyişmə xarakteristikası					
Tətəbiq sahələri	Kiçik yerdəyişmələrin ölçülməsi, qalınlığı 0-1 mm arasında olan örtüklərin ölçülməsində, təzyiqin ölçülməsində və s...	1 mm-dən çox elektrik, kiçik gərginliklər və ya yerdəyişmələrin kiçik miqdarının ölçülməsi; yerin müəyyən edilməsi; məhsulların sayılması və s..	Mühitin səviyyəsinin ölçülməsi, məmulatların sayılması, siqnalizasiya və s..	Elektrik sahəsinin temperaturunun, təzyiq və gərginliyinin ölçülməsi, maddələrin dielektrik xassələrinin təyini ..	



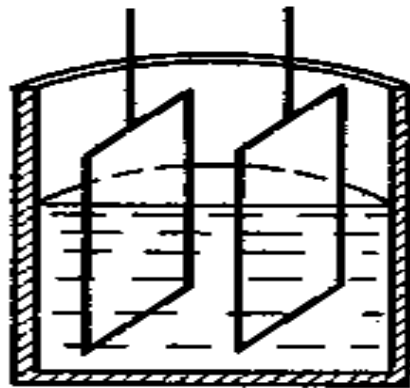
Şəkil 1.3.1. Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin:
a) sxemi; b) giriş signalının tutumun qiymətindən asılılıq qrafiki



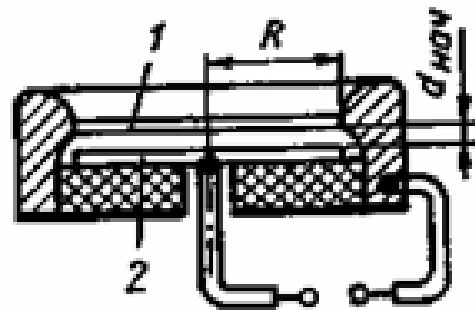
Şəkil 1.3.2. Bucaq yerdəyişməli tutum vericisinin a) sxemi və b) vericinin tutumunun giriş signalından asılılıq qrafiki



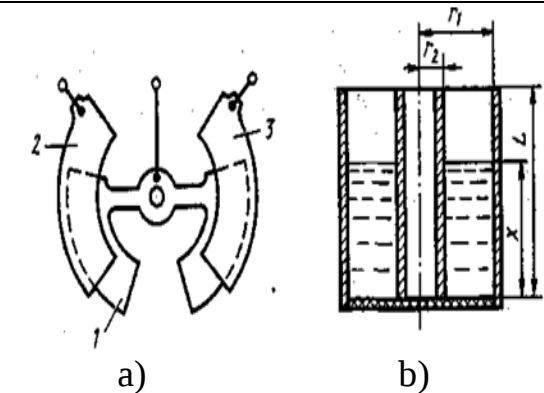
Şəkil 1.3.3. Tutum inklinometrin quruluşu



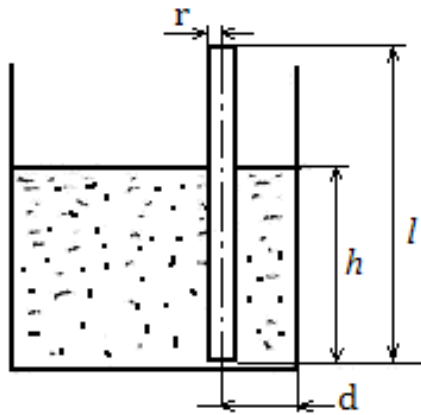
Şəkil 1.3.4. Maye səviyyəsinin tutum sensoru vasitəsi ilə ölçülməsi sxemi



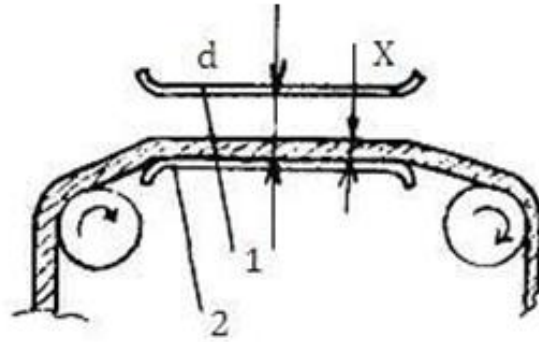
Şəkil 1.3.5. Tutum sensorlu təzyiq sensoru



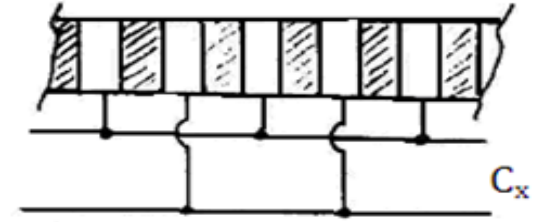
Şəkil 1.3.6. Silindrik köynəkləri olan tutum səviyyə (a) və yüksək həssaslığa malik olan diferensial tutum vericisi (b)



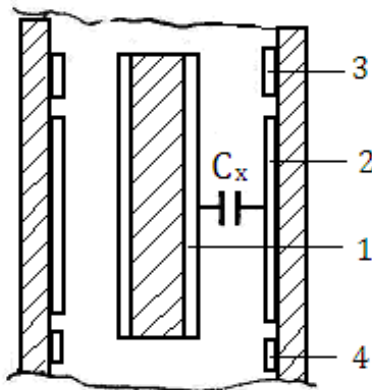
Şəkil 2.3.5. Biriçlikli tutum çeviricisi ilə səviyyənin ölçülməsi



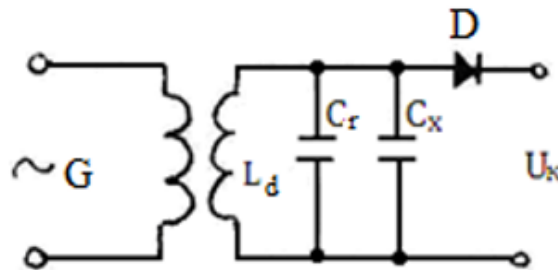
Şəkil 2.3.6. Tutum çeviricisi ilə lent materialın qalınlığının və nəmliyinin ölçülməsi



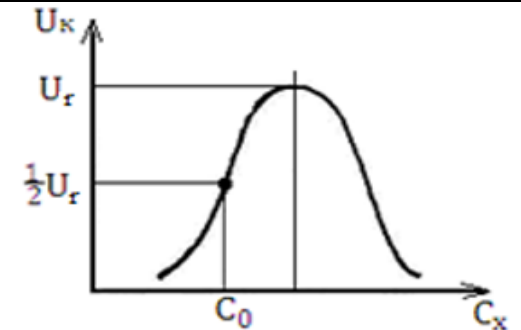
Şəkil 2.3.7. Nəmliyin ölçülməsi üçün daraq şəkilli tutum çeviricisi



Şəkil 2.3.8. Kənar effektlərin təsirini istisna edən, əlavə lövhəli, koaksial tipli, dənəvər materialların nəmliyini ölçən tutum çeviricili qurğu



Şəkil 2.3.9. Yüksək həssashlıqlı, rezonans kontur dövrəli nəmlik ölçən tutum çeviricisi



Bəzi materialların dielektrik nüfuzluğu: material – ε_r

Materialın adı	Dielektrik nüfuzluğu, ε_r	Materialın adı	Dielektrik nüfuzluğu, ε_r
Ammonyak	16	Polivinilxlorid	2,9
Araldit	3,6	Polipropilen	2,3
Bakelit	3,6	Polistirol	3,0
Benzol	2,3	Polietilen	2,3
Kağız	2,3	Yumşaq rezin	2,5
Kağız yağlanmış	4,0	Silikon rezin	2,8
Su	80	Qarğaduzu	6,0
Viniplast	4,0	Skipidar	2,2
Hava	1,0	Etil spirti	25,8
Getinaks	4,5	Şüşə-tekstolit	5,5
Ağac	2,7	Şüşə	5,0
Kabel kompaundu	2,5	Talk	1,6
Ağ neft	2,2	Tekstolit	7,5
Mərmər	8,0	Ftoroplast (Teflon)	2,0
Transformator yağı	2,2	Farfor	4,4
Neft	2,2	Sellüloid	3,0
Orqanik şüşə	3,2	Sement	2,0
Poliamid	5,0	Ebonit	4,0
Parafin	2,2	Elektrokarton	4,0
Kvars şüşəsi	3,7	Toluol	2,4
Kvars qumu	4,5	Faner	4,0

Tutum vericilərinin elektrik sxemlərinə uyğun parametrlərinin qiymətləri

N_0	D, mm	n	$C_\phi, \times 10^{-9}$	ω, san^{-1}	$R_y, \times 10^3, Om$
1	100	5	5	10^5	3,5
2	90	5	7	10^5	4,5
3	80	5	9	10^5	5,5
4	70	5	12	10^5	7,5
5	60	8	9	10^5	5,5
6	50	8	14	10^5	8,0
7	40	8	2,5	10^6	1,3
8	30	8	4	10^6	2,3
9	100	10	2,5	10^5	1,6
10	90	10	3	10^5	2,0
11	80	10	4	10^5	2,5
12	70	10	5	10^5	3,3
13	60	15	4	10^5	2,8

14	50	15	6	10^5	4
15	40	15	10	10^5	6,5
16	30	15	2	10^6	1,1
17	100	5	9	10^5	5,5
18	90	5	10	10^5	6,5
19	80	5	14	10^5	8,5
20	70	5	12	10^5	7,5
21	60	8	14	10^5	8,5
22	50	8	14	10^5	8,5
23	40	8	3	10^6	2
24	30	8	5	10^6	3,5
25	100	10	4	10^5	2,5
26	90	10	5	10^5	3
27	80	10	6	10^5	3,8
28	70	10	8	10^5	5
29	60	15	7	10^5	4,5
30	50	15	9	10^5	6
31	50	15	9	10^5	6
32	30	15	3	10^6	1,8

**Mayelərin səviyyəsini ölçmək üçün tutum vericisinin elektrik
parametrlərinin qiymətləri**

<i>Nö</i>	<i>Mayelər, ε</i>	<i>C_ç, ×10⁻⁹</i>	<i>R_y, ×10⁴, Om</i>	<i>l, m</i>	<i>R, m</i>	<i>R, m</i>
	Aseton					
<u>1</u>	ε = 21,4	20	9	2,5	0,05	0,04
<u>2</u>			9		0,06	0,05
<u>3</u>			8		0,07	0,06
<u>4</u>			7,5		0,08	0,07
<u>5</u>			7		0,09	0,08
<u>6</u>			6		0,1	0,09
	Qliserin					
<u>7</u>	ε = 56	60	3,2	2,5	0,05	0,04
<u>8</u>			3		0,06	0,05
<u>9</u>			2,8		0,07	0,06
<u>10</u>			2,6		0,08	0,07
<u>11</u>			2,5		0,09	0,08
<u>12</u>			2,3		0,1	0,09
	Metil spirti					
<u>13</u>	ε = 33,5	35	5,5	2,5	0,05	0,04
<u>14</u>			5		0,06	0,05
<u>15</u>			4,8		0,07	0,06
<u>16</u>			4,5		0,08	0,07
<u>17</u>			4		0,09	0,08
<u>18</u>			3,8		0,1	0,09

Əlavə 5-in davamı

	Su					
<u>19</u>	$\varepsilon = 81$	80	2,4	2,5	0,05	0,04
<u>20</u>			2,3		0,06	0,05
<u>21</u>			2		0,07	0,06
<u>22</u>			2		0,08	0,07
<u>23</u>			1,8		0,09	0,08
<u>24</u>			1,6		0,1	0,09
	Etil spirti					
<u>25</u>	$\varepsilon = 81$	25	7,5	2,5	0,05	0,04
<u>26</u>			7,3		0,06	0,05
<u>27</u>			6,8		0,07	0,06
<u>28</u>			6,4		0,08	0,07
<u>29</u>			6,0		0,09	0,08
<u>30</u>			5,2		0,1	0,09

Kombinasiyalı testlərin tətbiqi ilə ölçmə nəticələri

Sıra №-si	Ölçüləcək xətti yerdəyişmə X, sm	Voltmetrin göstərişi		Mütləq xəta $(A_i - \bar{A}), V$	Hesabi kəmiyyətlər $(A_i - \bar{A})^2, V^2$
		Hesabi qiymət, $\bar{A}, V$	Ölçmələrin qiyməti, A_i, V		
1	2	0,12	0,121	0,001	0,000001
2		0,12	0,122	0,002	0,000004
3		0,12	0,1195	-0,0005	0,0000025
4		0,12	0,119	-0,001	0,000001
5		0,12	0,124	0,004	0,000016
6	4	0,24	0,24	0,00	0,00
7		0,24	0,242	0,002	0,000004
8		0,24	0,241	0,001	0,000001
9		0,24	0,239	-0,001	0,000001
10		0,24	0,2395	-0,0005	0,0000025
11	6	0,36	0,361	0,001	0,000001
12		0,36	0,363	0,003	0,000009
13		0,36	0,360	0,00	0,00
14		0,36	0,359	-0,001	0,000001
15		0,36	0,359	-0,001	0,000001
16	8	0,48	0,482	0,002	0,000004
17		0,48	0,481	0,001	0,000001
18		0,48	0,479	-0,001	0,000001
19		0,48	0,479	-0,001	0,000001
20		0,48	0,481	0,001	0,000001

```

1 - a=10^(-2);
2 - b=10^(-2);
3 - d0=6*10^(-4);
4 - E0=8.85*10^(-12); %vaakum
5 - E=3.7; %quru agac
6 - X= [0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
7 - C= (E*E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
8 - disp(C)
9 - plot(C,X)
10 - xlabel('X');
11 - ylabel('C(X) ');

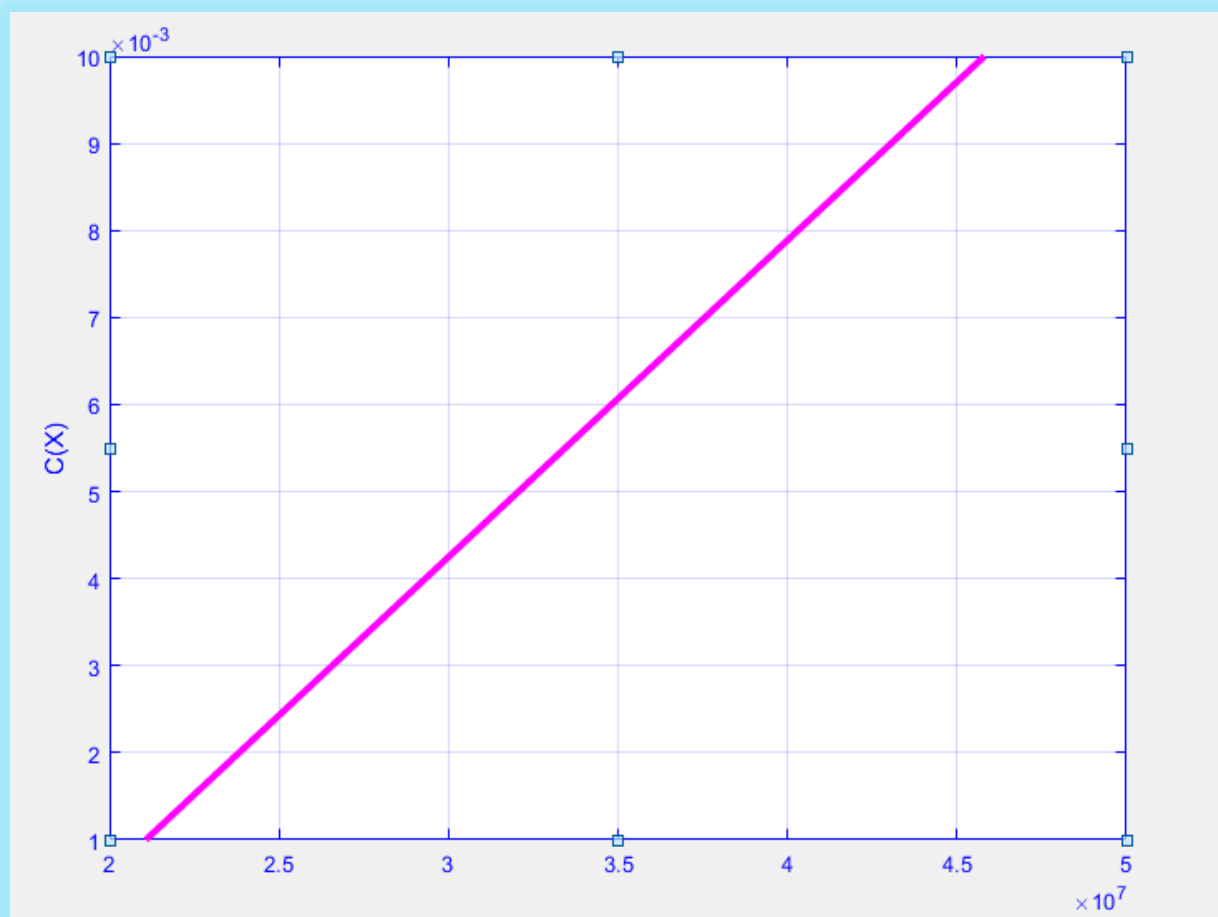
```

```

>> Untitled
1.0e+07 *

2.1072    2.3820    2.6569    2.9317    3.2066    3.4814    3.7563    4.0311    4.3060    4.5809

```



```

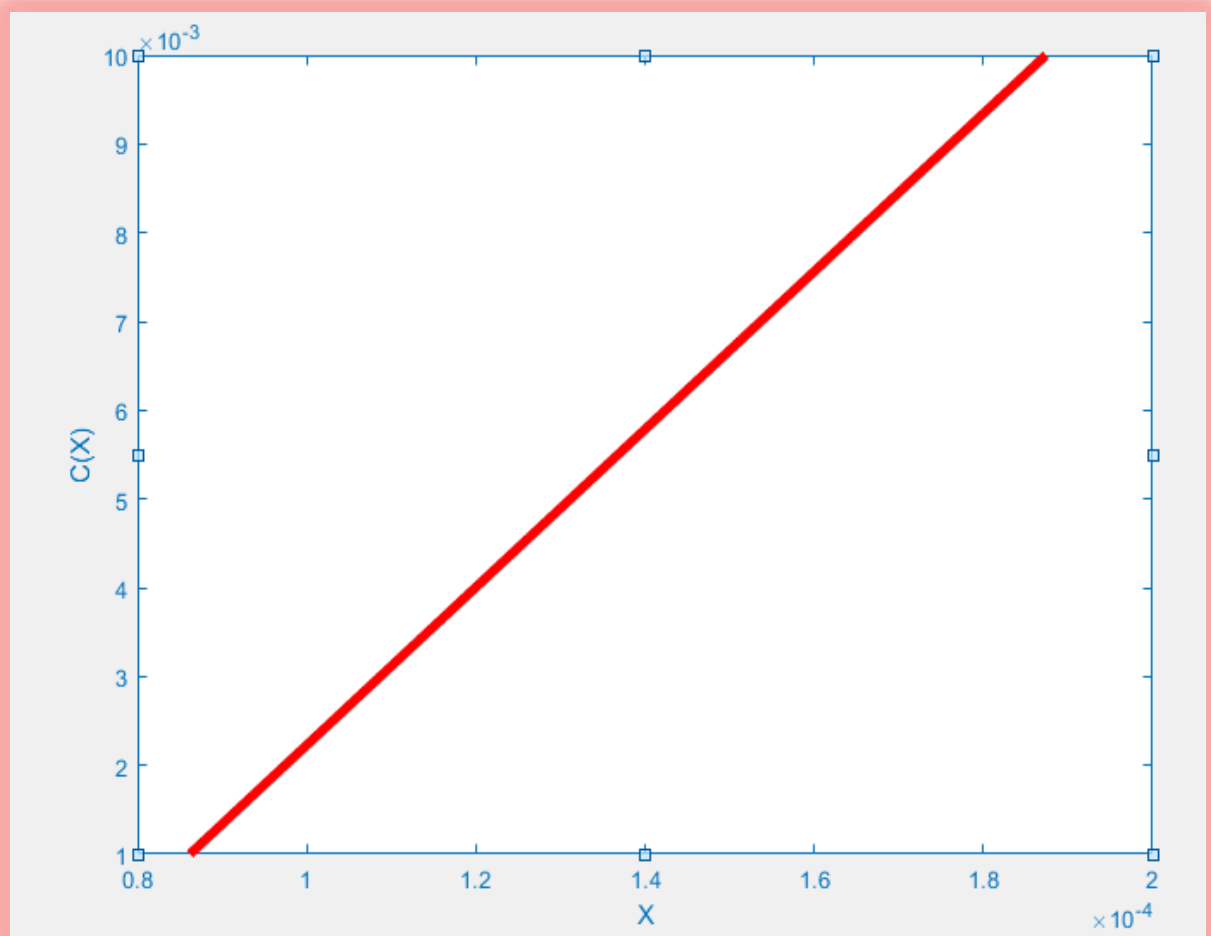
Untitled2.m  x  +
1 - a=10^(-2);
2 - b=10^(-2);
3 - d0=6*10^(-4);
4 - E0=1.00057; %hava
5 - E=8.0 ; % shüse
6 - X= [0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
7 - C=((E*E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
8 - disp(C)
9 - plot(C,X)
10 - xlabel('X');
11 - ylabel('C(X)');

```

```

>> Untitled2
1.0e-03 *
0.0862    0.0974    0.1087    0.1199    0.1312    0.1424    0.1537    0.1649    0.1761    0.1874

```



```

1 - a=10^(-2);
2 - b=10^(-2);
3 - d0=6*10^(-4);
4 - E0=8.85*10^(-12); %vaakum
5 - E=4.5 ; % rezin
6 - X= [0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
7 - C=((E*E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
8 - disp(C)
9 - plot(C,X)
10 - xlabel('X');
11 - ylabel('C(X) ');

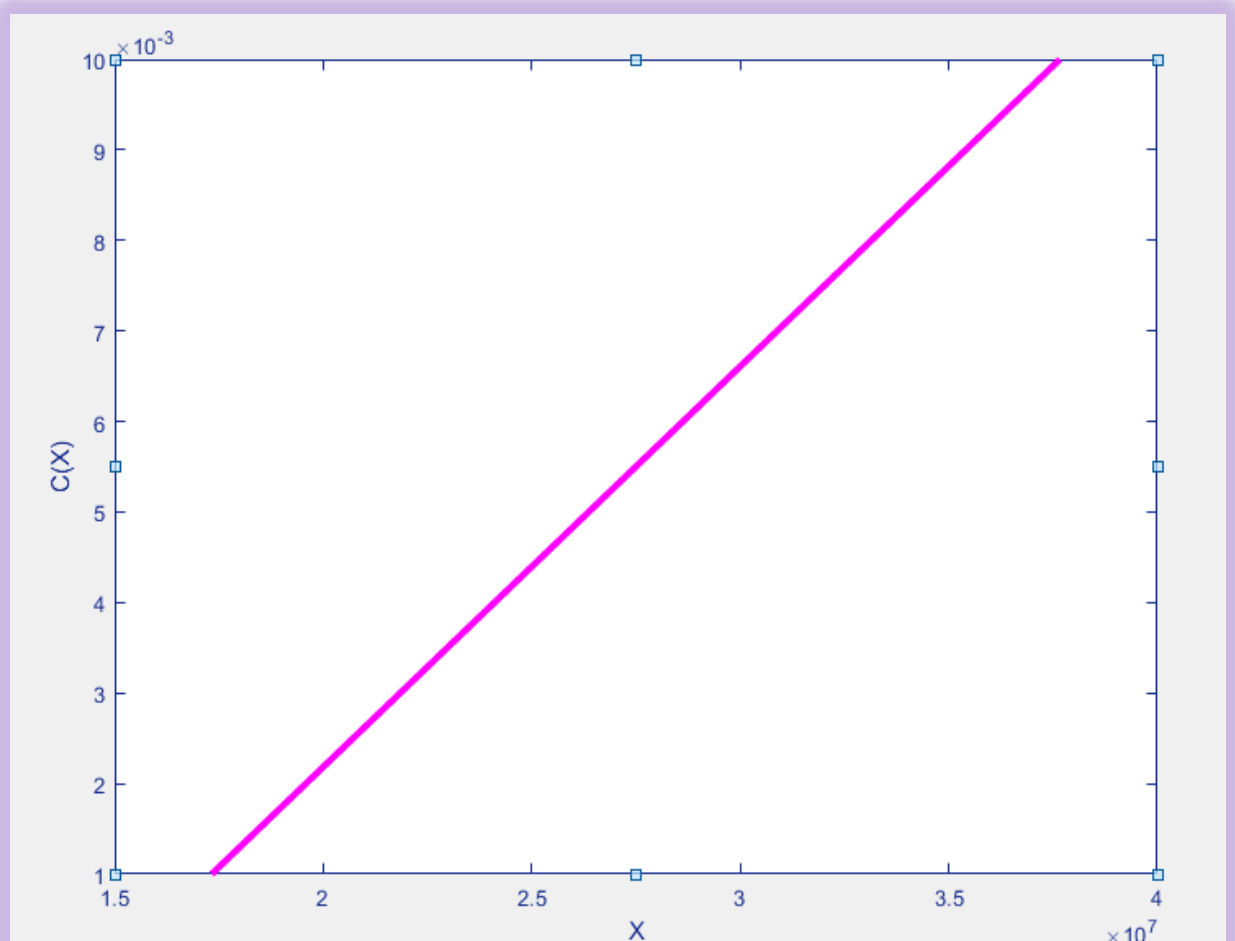
```

```

>> Untitled3
1.0e+07 *

1.7326    1.9586    2.1846    2.4105    2.6365    2.8625    3.0885    3.3145    3.5405    3.7665

```



```

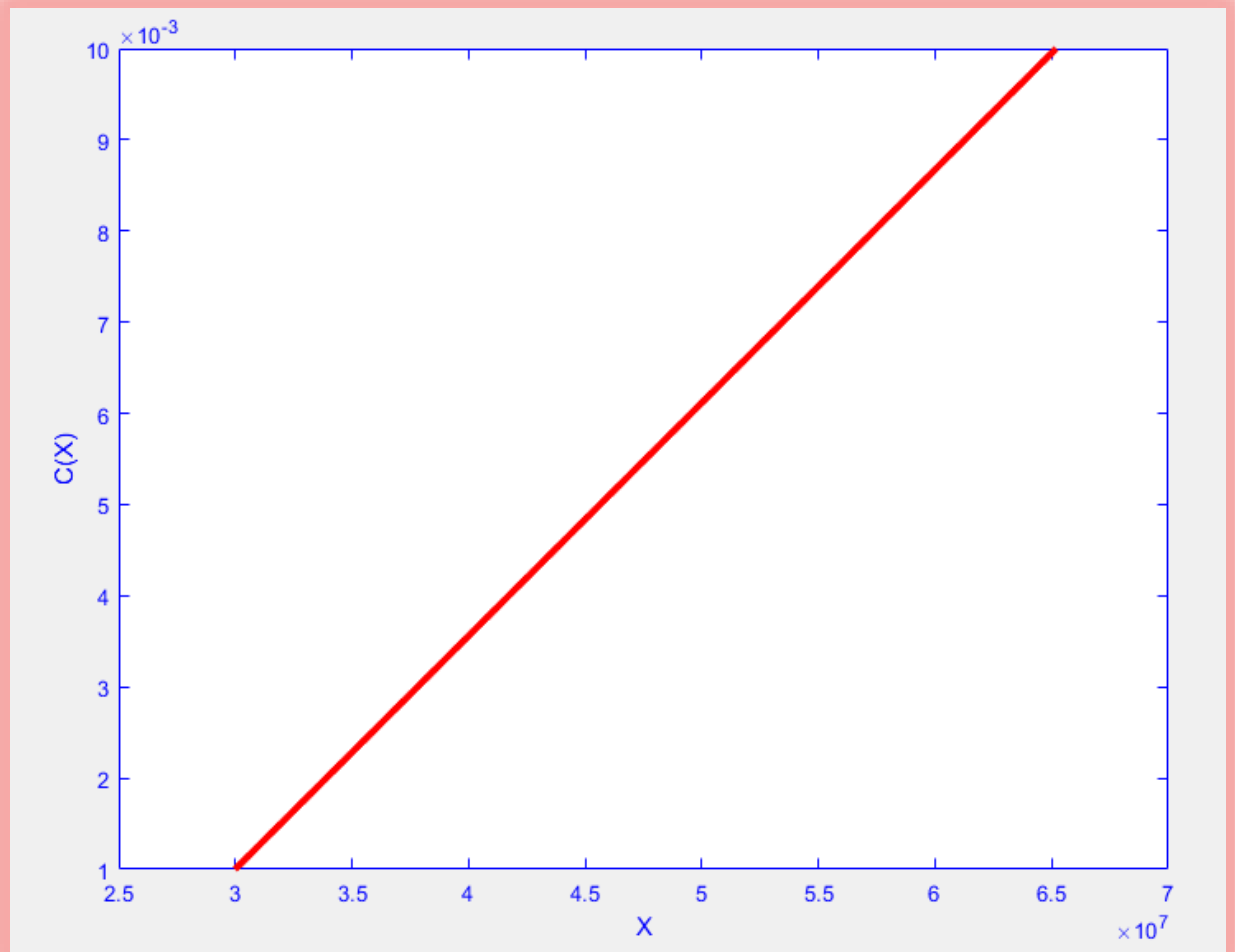
1 - a=10^(-2);
2 - b=10^(-2);
3 - d0=6*10^(-4);
4 - E0=8.85*10^(-12); %vaakum
5 - E=2.6 ; % demir
6 - X= [0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
7 - C=((E*E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
8 - disp(C)
9 - plot(C,X)
10 - xlabel('X');
11 - ylabel('C(X)');

```

```

>> Untitled4
1.0e+07 *
2.9987 3.3898 3.7810 4.1721 4.5632 4.9544 5.3455 5.7366 6.1278 6.5189

```



```

1 - a=10^(-2);
2 - b=10^(-2);
3 - d0=6*10^(-4);
4 - E0=8.85*10^(-12); %vaakum
5 - E=2.6 ; % demir
6 - X= [0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
7 - C=( (E*E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
8 - disp(C)
9 - plot(C,X)
10 - xlabel('X');
11 - ylabel('C(X) ');

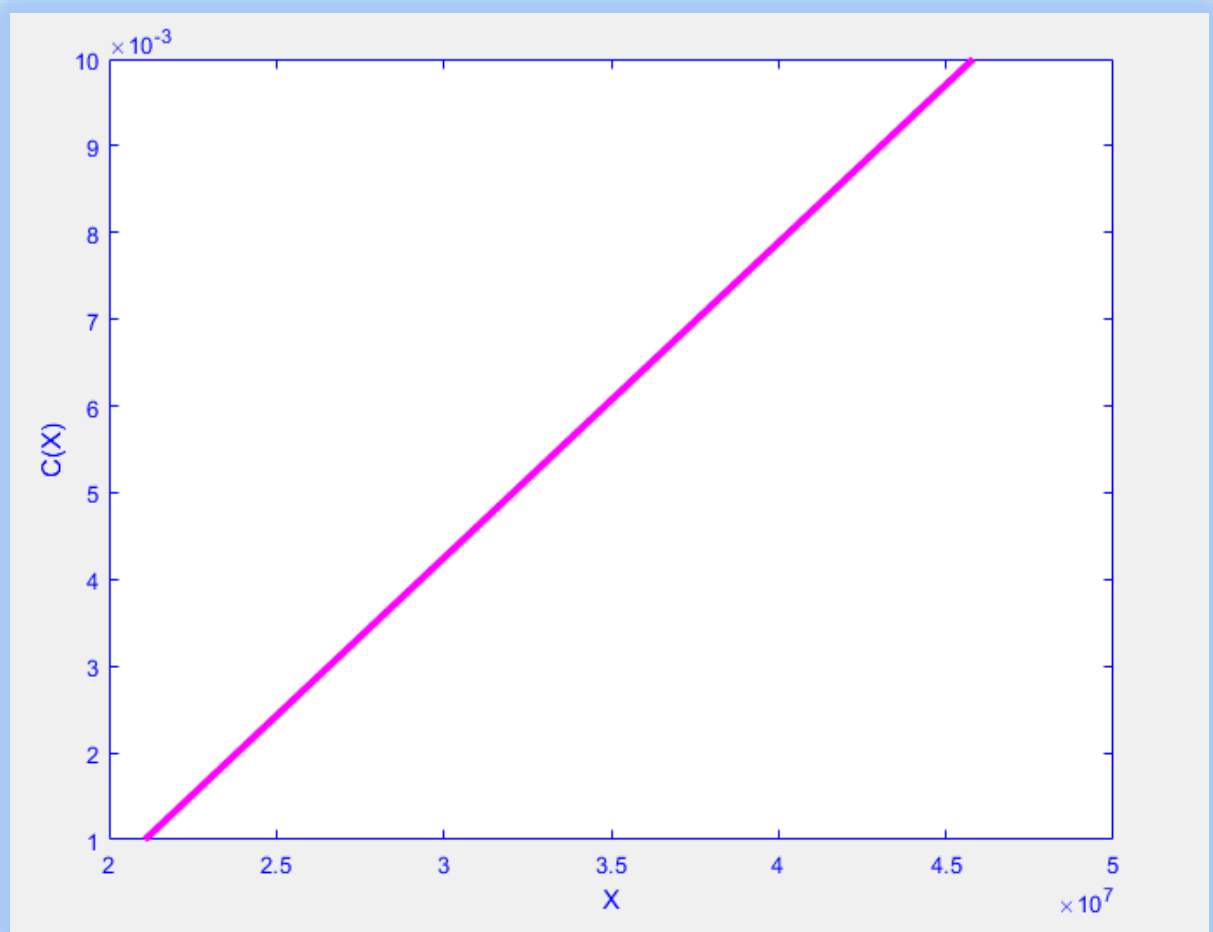
```

```

>> Untitled5
1.0e+07 *

```

2.1072	2.3820	2.6569	2.9317	3.2066	3.4814	3.7563	4.0311	4.3060	4.5809
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------



```

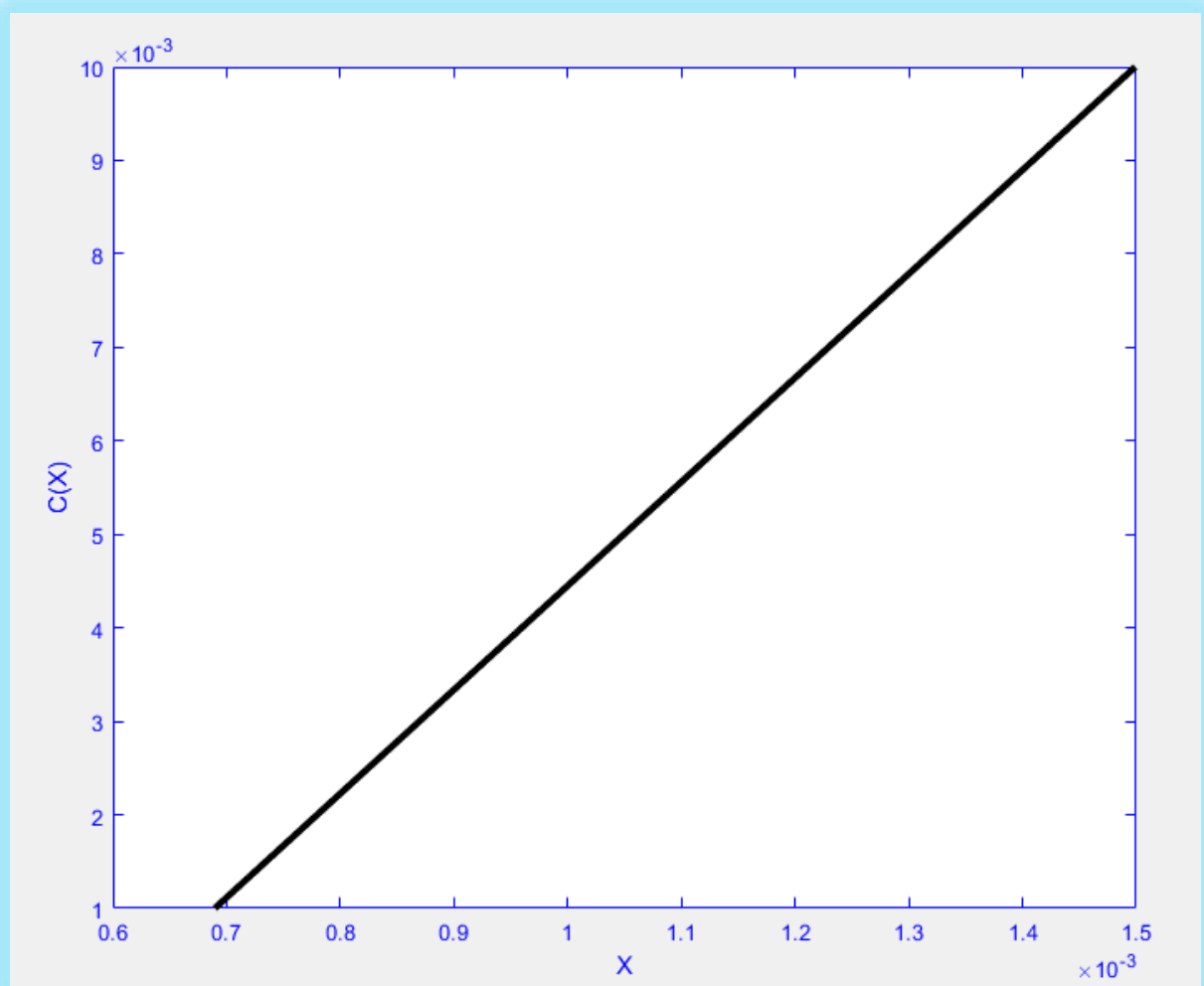
1 - f=10^6;
2 - U=30;
3 - R=10^3;
4 - a=10^(-2);
5 - b=10^(-2);
6 - d0=6*10^(-4);
7 - E0=1.00057; %hava
8 - w=2*pi*f;
9 - X=[0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
10 - C=( (E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
11 - disp(C)
12 - plot(C,X)
13 - xlabel('X');
14 - ylabel('C(X) ');

```

```

>> Untitled5
    0.0007    0.0008    0.0009    0.0010    0.0010    0.0011    0.0012    0.0013    0.0014    0.0015

```



```

1 - f=10^6;
2 - U=30;
3 - R=10^3;
4 - a=10^(-2);
5 - b=10^(-2);
6 - d0=6*10^(-4);
7 - E0=81.0; %distille edilmiş su
8 - w=2*pi*f;
9 - X=[0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.007,0.008,0.009,0.01] ;
10 - C=((E0*b)\d0)*(a+1.5*X);
11 - disp(C)
12 - plot(C,X)
13 - xlabel('X');
14 - ylabel('C(X)');

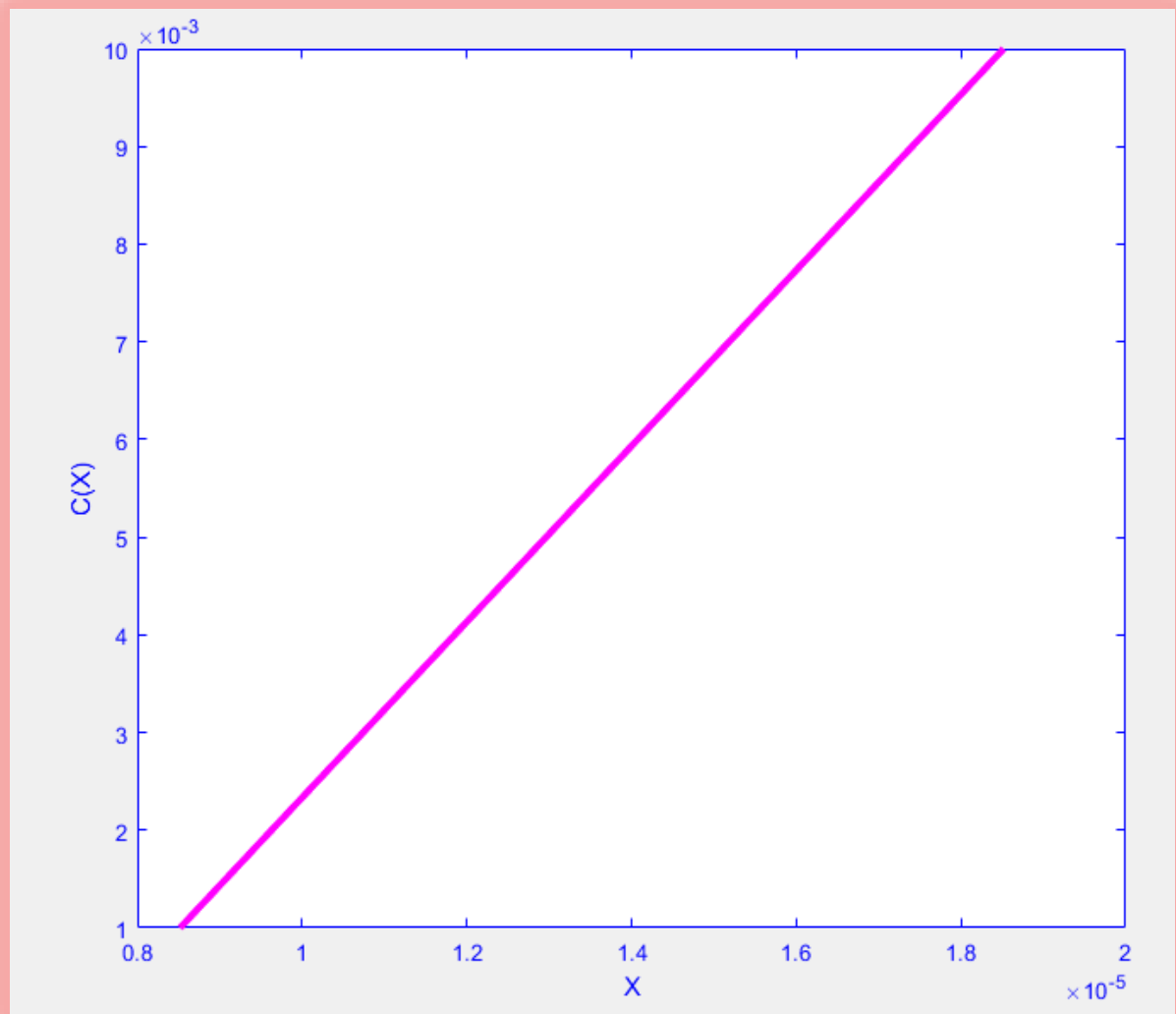
```

```

>> Untitled7
1.0e-04 *

    0.0852    0.0963    0.1074    0.1185    0.1296    0.1407    0.1519    0.1630    0.1741    0.1852

```



İxtisarlara siyahısı

ARÇ	–	analoq-rəqəm çevirici
ATFB	–	additiv testləri formallaşdırıcı blok
ÇF	–	çevirmə funksiyası
ÇX	–	çevirmə xarakteristikası
DÖV	–	diferensial ölçmə vasitəsi
DTV	–	diferensial təzyiq vericisi
DÜİST	–	Dövlət standartı
EHM	–	elektron hesablama maşını
ƏÇ	–	əks çevirmə
ƏƏQ	–	əks-əlaqə qurğusu
ƏTT	–	əsas test tənlikləri
K	–	kontroller
HB	–	hesablama bloku
HQ	–	hesablama qurğusu
HQB	–	həqiqi qiymətlər bazası
İKT	–	informasiya və kommunikasiya texnologiyaları
İÇ	–	ilkin çevirici
İÖİS	–	informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemi
İÖS	–	informasiya-ölçmə sistemi
İÖV	–	ilkin ölçmə vasitələri
İT	–	informasiya texnologiyaları
MK	–	mikrokontroller
MP MPK	–	mikroprosessorlu məntiqi proqramlaşdırılmış kontroller
MTFB	–	multiplikativ testləri formallaşdırıcı blok
MX	–	metroloji xarakteristika
NÖİS	–	nəzarət-ölçmə və idarəetmə sistemi
NÖ	–	nümunəvi ölçmə

ÖÇ – ölçü çeviricisi
ÖQ – ölçmə qurğusu
ÖN – ölçmə nəticəsi
ÖS – ölçmə sistemi
ÖX – ölçmə xətası
PK – proqram kontroller
PMK – proqramlaşdırılan məntiqi kontroller
PT – proqram təminatı
RM – riyazi model
RÖS – radarlı ölçmə sistemi
TÇ – tutum çeviriciləri
TV – tutum vericisi
TİÖS – testləşdirilmiş informasiya-ölçmə sistemi
TP AİS – texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemi
TÜ – test üsulu
ÜTT – ümumi test tənlikləri
FK – fərdi kompüter