

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

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
İddiaçı: **Fəridə Şahbaz qızı Ağayeva**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Sumqayıt–2024

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin “Elektronika və kompüter texnikası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru, professor
Məzahir Məhəmməd oğlu İsayev

Rəsmi opponentlər: texnika elmləri doktoru, professor
Hikmət Həmid oğlu Əsədov

texnika elmləri doktoru, professor
Orxan Ziyəddin oğlu Əfəndiyev

texnika elmləri namizədi, dosent
Vüqar Hacımahmud oğlu Abdullayev

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

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor
_____ **Nurəli Adil oğlu Yusifbəyli**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
_____ **Vahid Qara oğlu Fərhadov**

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor
_____ **Məzahir Məhəmməd oğlu İsayev**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktualığı. İnformasiya texnologiyalarının və elektron qurğuların müasir inkişaf səviyyəsi informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemlərinin yeni strukturda layihələndirilməsi zərurətini gündəmə gətirmişdir. Avtomatlaşdırmada əsas hədəf intellektual sistemlərin yaradılması, onların funksional modullarının smart texnologiyalarla təmini, bütün qurğu və avadanlıqların bir-biri ilə uyğunlaşdırılması və iteqrasiyası kimi qəbul edilir. Bu cür yanaşma son nəticədə yüksək metroloji xarakteristikaya malik informasiya sistemlərinin ərsəyə gəlməsinə gətirib çıxarır.

SMART texnologiya – yığcam və aydın, ölçülə bilən, kəmiyyət baxımından qiymətləndirilən, mövcud resurslarla əldə edilə bilən, əhəmiyyətli və zamana bağlılıq anlayışlarını özündə iteqrasiya 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 eynilə qalır. Qeyd edilən səbəblərlə yanaşı tutum vericilərində digər problem, çıxışlarında sabit siqnal almaq üçün onların yüzlərlə kilohers və bəzən də onlarla MHz-ə qədər yüksək tezlikli gərginliklə qidalandırmaq tələb olunur. Belə olan halda parazit tutumlar, birləşdirici naqillərdə və digər elementlərdə kifayət qədər itgilər yaranır.

TV-nin çıxış siqnalının amplitudasının artırılması və digər göstəricilərinin sabitliyinin təmin olunması üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilirdi. Bu məqsədlə, gücləndiricinin birinci kaskadında

idarəedicı şəbəkənin dövrəsinə yüzlərlə meqəom yük qoşulmasına imkan verən elektrometrik lampalar tətbiq edilirdi. Lakin bu vasitələr TV-nin sabitliyinin sxematik yaxşılaşdırılmasına az təsir edir, cihazların konstruksiyasını xeyli mürəkkəbləşdirirdi.

Aparılan araşdırmalar göstərir ki, TV bazasında ölçmə sisteminin işlənməsi zamanı qeyri-sabitliyin yaranmasına səbəb bu vericilərin konstruksiyalarının mükəmməl olmaması, xüsusilə də izolyasiya edən vasitələrin yanlış yerləşdirilməsindən irəli gəlir. Eyni zamanda həmin vasitələrin xüsusiyyətlərinin qeyri-sabitliyi elektron qurğuların işləməsində xətalara gətirib çıxarır. Bu xətaları aradan qaldırılmaq üçün yüksək dəqiqliyi və sabitliyi təmin edən, ağır istismar şəraitinə davam gətirən, sadə konstruksiyaya və birləşmə sxemlərinə malik olan TV-lər və onların əsasında ölçmə sistemləri yaradılır.

TV-lər digər vericilərlə müqayisədə: onların sənaye istehsalının sadəliyi, ucuz materiallardan istifadə, kiçik qabarit, az çəki, aşağı enerji istehlakı, yüksək həssaslıq, mexaniki kontaktların olmaması, uzun müddətli istismar, hərəkətli hissənin yerdəyişməsi üçün olduqca az gücün sərf olunması, formasının və konstruksiyasının müxtəlif məsələlərə uyğunlaşmasının sadəliyi və s. üstünlüklərə malikdirlər.

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 xətasının 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 Hz 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 TV-lər, onların elementləri, strukturu, parametrləri, metroloji xarakteristikaları (MX), ölçmə xətalrı, onların təshihedici alqoritmləri və s. məsələlərdir. Tədqiqatın predmeti – böyük yerdəyişməli TV-nin çevirmə xarakteristikalarının identifikasiyası, ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi, nəticələrin qiymətləndirilməsi, təsiredici faktorların avtokompensasiyası və s. 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. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin işlənməsi və ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorların tədqiqi.
2. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin konstruksiyasının və sxem birləşmələrinin işlənməsi.
3. Vericinin həssaslığına təsir göstərən faktorların təyini, onların avtokompensasiyası üçün üsul və alqoritmlərin işlənməsi.
4. Hərəkət edən nüvəli böyük yerdəyişməli tutum vericisinin ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorların tədqiqi.
5. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin ölçmə diapazonunun genişləndirilməsi üçün üsul və vasitələrin işlənməsi.
6. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin ölçmə xətalrının tədqiqi, xəta təşkilediciləri üçün təshihedici alqoritmlərin işlənməsi.

Tədqiqat üsulları. Dissertasiya işinin əsas tədqiqat üsulları fundamental və ənənəvi eksperimental yanaşmalar fonunda nəzəri tədqiqatlara, laboratoriya təcrübələrinə və real sınaqlara əsaslanmış ölçmə və idarəetmə nəzəriyyəsi, modelləşdirmə, eksperimentlərin planlaşdırılması, ölçmə nəticələrinin qiymətləndirilməsi, ehtimal nəzəriyyəsi, riyazi-statistika, informasiya texnologiyaları və digər fundamental nəzəri-təcrübi vasitələrdir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar.

1. Böyük yerdəyişməli tutum vericisinin işlənməsi, tədqiqi və çevirmə xarakteristikasının identifikasiyası.
2. Tutum vericisinin ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorların təyini, qiymətləndirilməsi və metroloji xarakteristikasının yaxşılaşdırılması.
3. Tutum vericisinin ölçmə diapazonunun genişləndirilməsi üçün üsul və alqoritmin işlənməsi.
4. Tutum vericisinin ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün hibrid test ölçmə üsulunun və alqoritmin sintezi.
5. Böyük yerdəyişməli tutum vericilərinin ölçmə xətasının tədqiqi və xəta təşkilediciləri üçün təshihedici alqoritmlərin işlənməsi.

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.
3. Tutum vericisinin ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün hibrid test tənliklərinin qurulması metodikası verilmişdir [8].
4. Testləşdirilmiş tutum vericilərinin korrelyasiyasız statik xətalara, qeyri-adekvatlıq və yekun xətalara 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 nəticələrin, ölçmə üsul və vasitələrin müvafiq texnoloji proseslərdə parametrlərin yüksək dəqiqliklə ölçülməsində, avtomatlaşdırılmış ölçmə və idarəetmə sistemlərində, ölçü cihazlarında, vericilərin xarakteristikalarının avtokalibrovkasında, xəta təşkiledicilərinin avtokorreksiyasında və s. sahələrdə tətbiqi praktiki dəyərə malikdir.

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

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 yerinə yetirilməsi zamanı alınmışdır.

- Tədqiqat işinin nəticələri AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun 22 sayılı “İntellektual informasiya-ölçmə sistemləri” laboratoriyasında, SDU-nun “İnformasiya və kompüter texnikası” kafedrasında, “Neftqazavtomat” EİM-də sınaqlardan keçirilmiş və nəticələrin adekvatlığı uyğun aktlarla təsdiqlənmişdir.

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

4^{əf} Международная научно техническая конференция МЭПП (Баку-Сумгаит, 2003); Azərbaycanca televiziyanın 50. rədiyunun 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); Doktorantların və gənc tədqiqatçıların 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” I-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);

Çap olunmuş elmi əsərlər. Dissertasiya işi üzrə 25 elmi iş: onlardan 8 məqalə, o cümlədən 3-ü xarici ölkə jurnallarında (3 məqalə PИHЦ beynəlxalq bazaya daxildir), 17 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 ixtisarlara 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.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə aparılan tədqiqatların aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqata cəlb olunan məsələlər, tədqiqat obyektı və predmeti,

tədqiqatın məqsədi və vəzifələri, tədqiqat üsulları, müdafiyyə çıxarılan əsas məsələlər, tədqiqat nəticəsində əldə olunan elmi yeniliklər, işin nəzəri və praktiki dəyəri, tədqiqatın nəticələrinin realizasiyası, işin aprobasiyası, çap olunmuş elmi əsərlər, dissertasiyanın həcmi və strukturu təqdim edilmişdir.

Birinci fəsildə – tutum vericiləri və onların qurulma prinsipi analiz edilmiş, xarakteristikalarına və təyinatına görə təsnifatı verilmişdir. Tək və çox tutumlu vericilərin qurulma prinsipi analiz olunaraq onların mənfəi və müsbət cəhətləri ayırd edilmişdir. Diferensial tutum vericilərinin üstünlükləri və onların xətalərinin kompensasiya edilməsi üçün diferensial konstruksiyanın əhəmiyyəti qeyd olunmuşdur. 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.

İki tutumlu vericilərin, iki ölçülü fiziki kəmiyyətlərin ölçüyə gəlməz 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.

TV-lərin konstruktiv sxemləri, onların təyinatından asılı olaraq müxtəlif variantlarda yerinə yetirilir.

TV-lər obyektin vəziyyətini, yerdəyişməsini, təcilini ölçməklə yanaşı həm də lövhələrin təsir dairəsində mühitin xüsusiyyətlərini də təyin etməyə qadirdilər. TV-lər sadəliyi, yüksək həssaslığı, statik stabilliyi, hərəkətin detektəlməsi, yaxınlaşma, kiçik qiymət, dreyf, aşağı temperatur həssaslığı, enerji tələbi, yüksək keyfiyyət, səs-küyə davamlılığı, asan sxematik realizasiyası və s. xüsusiyyətlərinə görə geniş tətbiq olunurlar.

Parametrik TV-lər ölçülən parametrin dəyişməsi, tutum müqavimətinin dəyişməsi ilə xarakterizə olunurlar. Bu vericilər qeyri-elektrik parametrlərin qiymətlərinin dəyişməsini elektrik tutumunun qiymətinin dəyişməsinə çevirir. TV-nin konstruksiyaları

yastı-paralel və ya silindrik elektrik kondensatorlardan ibarətdir. Hərəkəti lövhələr arasındakı aralığın və ya onların qarşılıqlı örtülməsinin dəyişilməsinə, dielektrikin deformasiyasına, onun vəziyyətinin, tərkibinin və ya dielektrik nüfuzluğunun dəyişilməsinə əsaslanan vericilər TV-dir. TV-lər daha çox maye, dənəvər halında olan maddələrin səviyyəsinin ölçülməsində, mexaniki yerdəyişmələrin dəqiq ölçülməsində tətbiq edirlər.

Onların dəqiqliyinin aşağı olması, vaxtaşırı kalibrləmənin tələb olunması, parazit tutuma və ölçü rezistorunun temperatur əmsalına qarşı həssaslığı tutum ölçmə üsulunun çatışmayan cəhətləridir. Parametrik TV-lər çıxış siqnallarının işlənməsi sxemlərinə, həssas elementin tutum dəyişilməsinin analoq gərginliyinə, zaman-impuls modulyatorunun (ZİM) cərəyan çıxışına və ya sızmaya, həm də parazit tutumların minimal itkilərlə tezlik siqnalına çevrilməsinə əsaslanır. Tutum vericisindən çıxış siqnalının alınmasının aşağıdakı müxtəlif üsulları mövcuddur:

- vericinin tutumunun sabit cərəyanda ölçülməsi üsulu – bu zaman, sabit cərəyan mənbəyindən qidalanan kondensatorun köynəklərində bilavasitə düşən gərginlik götürülür;

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

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

- demodulyatorun sxemində, dəyişən cərəyandan qidalanan kondensatorunda impedansın ölçülməsi;

- yük gücləndiricisində tutumun ölçülməsi;

- modulyatorun siqma-delta sxemində tutumun ölçülməsi və s.

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 dəyişilməsini tezlikli və ya ZİM siqnala çevrilməsi ilə həyata keçirir və həmçinin sadə şəkildə

reallaşır. Köynəklər arasında məsafənin dəyişməsi ilə vericilərdə istifadə olunan RC-generatoru məsafəyə mütənəşib olan tezliklə xətti tezlikli çıxış signalı əmələ gətirir. Köynəklərin örtülməsi variantı ilə kondensatorlar, impulsların eninin ölçülməsi ilə xəttilləşdirilir.

TV-lər və çeviricilərinin kiçik inersiyalı olmaları onlardan sürətlə dəyişən həcmələri ölçməkdə və sürətli prosesləri idarə etməkdə istifadə edilməsinə imkan verir.

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

TV-nin 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 sayılması üçün tutumlu sayğaclar daxildirlər.

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

Lövhələr arasındakı mühitin dielektrik keçiriciliyinin dəyişdirilməsi 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 TV-nin köməyi ilə iki qarışmayan mayələrin ayrılma sərhəddinə nəzarət, həmçinin kimya, neft emalı, qida, ağac, kağız və digər sənaye sahələrində maddələrin tərkibinin ekspress analizi kimi avtomatik nəzarətin ən çətin məsələləri həll olunur.

Kondensatorun tutumunun dəyişməsi lövhələr arasında məsafənin, dielektrik keçiriciliyinin, lövhələrin sahəsinin dəyişməsi və ya sadalanan ölçülərin eyni zamanda dəyişməsi zamanı ola bilər. Dəyişən tutumlu kondensatorların bu xüsusiyyətləri TV-nin əsasını təşkil edir.

Aydın olur ki, TV-nin konstruksiyası hər şeydən əvvəl ölçülən kəmiyyətin növü və onun tutumun dəyişməsinə təsir üsulu ilə müəyyən edilir. Vericinin tutumunun dəyişmə xarakteri, tətbiq sahələri və konstruksiyaları haqqında müfəssəl məlumatlar analiz edilmişdir.

TV-nin mümkün tətbiq sahələri son dərəcə müxtəlifdir. Onlar sənayenin demək olar ki, bütün sahələrində istehsal proseslərinin tənzimlənməsi və idarə edilməsi sistemlərində istifadə olunur. TV-lər 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 mötəbərliyindən başqa 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.

Bu tip vericilərin istifadəsinin səciyyəvi sahələri aşağıdakılardır:

- plastik və ya şüşədən olan tutumların doldurulması zamanı siqnalizasiya;
- şəffaf qablaşdırmaların doldurulması səviyyəsinə nəzarət edilməsi;
- dolama naqilinin qırılması siqnalizasiyası;
- lentin gərilməsinin tənzimlənməsi;
- istənilən növ və s. ədəd üzrə hesabı.

Beləliklə, TV-lər, onların çevirmə xarakteristikaları və parametrləri analiz edilmiş, İÖS-də, avtomatik idarəetmə sistemlərində ilkin informasiya mənbəyi kimi səciyyələndirilmişdir. TV-lər tətbiq sahəsinə baxmayaraq aşağıdakı əsas parametrlərlə xarakterizə edilirlər:

- tutumun ilkin qiyməti:

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

- tutumun maksimal dəyişməsi:

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

- reaktiv müqavimət: $X_c = \frac{1}{2\pi f C_0}$,

- aktiv müqavimət - R_c ,

- aktiv itkilər: $tg\delta = f(R_c, C_0, \omega)$, burada, $\omega = 2\pi f$, san^{-1}

- tutumun elektrik yükünü saxlama vaxtı: $\tau = R_c C_0$, san ;

- elektrodların qarşılıqlı təsirinin gücü:

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

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

Hər bir TV əsas parametrləri ilə yanaşı funksional xüsusiyyətlərə malikdir ki, bu onun statik və dinamik xarakteristikaları ilə müəyyən olunur. Statik xarakteristika TV-nin çıxış və giriş parametrləri arasındakı funksional asılılığı – dəyişmələrin analitik və ya qrafiki asılılığını, dinamik xarakteristika isə vericinin çıxış parametrinin qiymətinin dəyişməsinin çıxış parametrinin qiymətinin dəyişmə dərəcəsindən asılılığını əks etdirir.

Beləliklə, fiziki parametrlərin ölçülməsində tətbiq olunan müxtəlif növ TV-lər analiz edilmiş, onların üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri təsnifatlaşdırılmışdır. TV-nin ÇX-nın qeyri-xətti olduğu yəqinləşdirilmiş, bu xarakteristikaların yüksək dəqiqliklə identifikasiyası üçün hissə-hissə qeyri-xətti aproksimasiya və testlə ölçmə alqoritminin tətbiqinin səmərəliliyi əsaslandırılmışdır.

İkinci fəsilə – böyük yerdəyişməli TV-lərin geniş seçimi, müxtəlif təsir prinsipləri, nümunələri, optimal strukturu, konstruksiyaları, çevirmə xarakteristikaları, riyazi modelləri tədqiq edilmişdir.

Böyük yerdəyişməli TV-nin müasir texnologiyalar əsasında işlənməsi, onların səmərəliliyinin yüksəldilməsi məqsədilə metroloji xarakteristikaları tədqiqata cəlb edilmiş, yeni üsul və vasitələrin tətbiqi ilə onların metroloji xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması və funksional imkanlarının genişləndirilməsi tövsiyyə edilmiş, müxtəlif topoloji variantlar təklif edilmişdir.

Məlumdur ki, kondensatorun tutumu onun lövhələrində qərarlaşan elektrik yükünün miqdarının lövhələri arasındakı potensiallar fərqi ilə müəyyən edilir. Eyni zamanda kondensatorun tutumunun qiyməti onun lövhələrinin formasından, onların bir-birinə nəzərən vəziyyətlərindən və arasındakı mühitin xüsusiyyətlərindən asılıdır. TV-nin lövhələri arasında mühitin əsas xarakteristikası dielektrik nüfuzluğudur və bu parametr onun tətbiq imkanlarını genişləndirir.

Qeyri-elektrik ölçmə kəmiyyətinin TV-nin hansı parametrinə təsir etməsindən asılı olaraq aşağıdakı fərqli cəhətlər mövcuddur:

- lövhələr arasındakı məsafəsinin dəyişməsinə əsaslanan;
- lövhələrin üst-üstə düşmə sahəsinin dəyişməsinə əsaslanan;
- mühitin nisbi dielektrik nüfuzluğunun dəyişməsinə əsaslanan.

TV-nin geniş çeşidli konstruktiv realizasiyasını nəzərə alaraq onların lövhələrinin fəaliyyətindən asılı olaraq, hesablamaların sadəliyini təmin etmək üçün kondensatorun həndəsi göstəricisi anlayışı daxil olunur ki, bu da kondensatorun tutumunun təyini düsturunda istifadə olunur. Lövhələri paralel və müstəvi şəkildə olan kondensatorlar üçün bu göstərici $\lambda = \frac{S}{d}$ şəkildə ifadə olunur və kondensatorun tutumu $C = \varepsilon_0 \varepsilon \lambda$ ifadəsi ilə təyin edilir.

TV-lər bir çevirici elementli – kondensatorlu birpolyar, iki çevirici elementli – kondensatorlu diferensial və körpülü olurlar. DÇ 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. TV-lər aşağı tutumlu olduqları üçün adətən yüksək tezlikli dəyişən cərəyan dövrlərində istifadə olunurlar. Körpü sxeminin qida tezliyi yük müqaviməti ilə müqayisə edilməklə hesablamadan alınan tutum müqavimətinin qiymətinə görə seçilir.

Çeviricinin tutumunu artırmaq üçün onun elektrodları arasındakı boşluq kifayət qədər yüksək nisbi dielektrik nüfuzluğuna malik və dəyişən ətraf mühit amillərinə dözümlü dielektrik maye ilə (adətən, metanol $\varepsilon=32,63$ istifadə olunur) doldurulur.

Kondensator lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsini dəyişdirmək prinsipilə işləyən yerdəyişmə çeviriciləri ən çox körpü sxemlərində

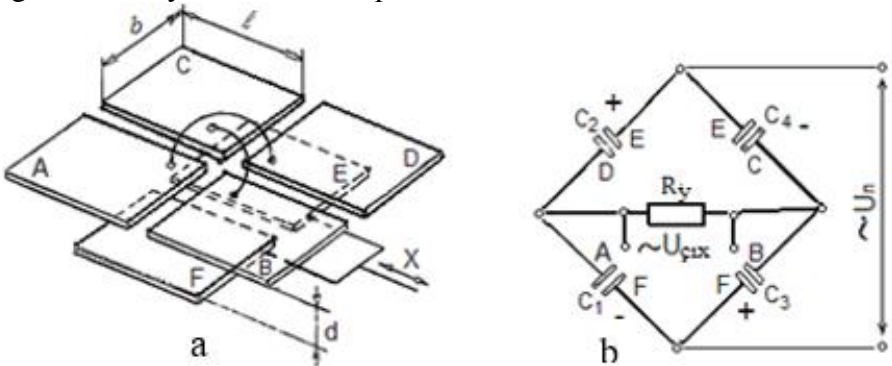
istifadə olunurlar (şəkil 2.1).

Körpü sxemlərində iki paralel lövhədən ibarət kondensatorun tutumu, stasionar lövhənin müvafiq sahəsinin qarşısında yerləşən hərəkətli lövhənin sahəsinə mütənasibdir. Körpü sxeminin körpü qolundakı tutumun qiyməti aşağıdakı ifadədən müəyyən edilir:

$$C_n = \frac{\varepsilon_0 b}{d} \left(\frac{l}{2} \pm x \right) \text{ və ya } C \pm \Delta C = \frac{\varepsilon_0 b \cdot l}{2d} \pm \frac{\varepsilon_0 b \cdot x}{d}. \quad (2.1)$$

Körpünün əks qollarının kondensatorlarının tutumları təxminən bir-birinə bərabərdir $C_2 = C_3$ və $C_1 = C_4$. Çeviricinin simmetriya müstəvisinə görə hərəkətli lövhələrin X istiqamətində yerdəyişməsi körpünün tarazlığının pozulmasına və körpünün diaqonalında hərəkətsiz lövhələr qrupunun simmetriya oxuna görə hərəkətli lövhələrin yerdəyişmə istiqamətindən asılı olaraq müəyyən qütblü $U_{çix}$ çıxış signalının yaranmasına səbəb olur.

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 şərtdən 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.



Şəkil 2.1. Tutum yerdəyişmə çeviricisi

Baxdığımız halda körpünün bütün qolları yalnız reaktiv müqavimətə malikdir. Qeyri-tarazlıq vəziyyətində olan bir körpünün iş şəraitindən belə alınır:

$$U_{çlix} \frac{U_m (X_1 X_4 - X_2 X_3) \cdot R_y}{(X_1 + X_2)(X_3 + X_4) \cdot R_y + X_1 X_2 (X_3 + X_4) + X_3 X_4 (X_1 + X_2)} \quad (2.2)$$

burada, $X_1 = \frac{1}{\omega C_1}$, $X_2 = \frac{1}{\omega C_2}$, $X_3 = \frac{1}{\omega C_3}$, $X_4 = \frac{1}{\omega C_4}$, U_m – körpü sxeminin mənbə gərginliyi; R_y – körpünün diaqonalında yük müqaviməti; ω – cərəyanın dairəvi tezliyi $\text{san}^{-1} = \frac{1}{2\pi \cdot f}$ və $U_{çlix}$ – 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 $U_{çlix}$ ifadəsində yerinə yazsaq aşağıdakı düsturu alarıq:

$$U_{çlix} = \frac{U_m \Delta C \cdot R_y}{C \left(R_y + \frac{1}{\omega C} \right)}. \quad (2.3)$$

Öz növbəsində

$$\Delta C = \frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot (\pm X)}{d} \quad \text{və} \quad C = \frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot l}{2d}, \quad (2.4)$$

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

$$U_{çlix} = \frac{U_m \frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot (\pm X)}{d} R_y}{\frac{\varepsilon_0 \cdot b \cdot l}{2d} \left(R_y + \frac{1}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot b \cdot l} \right)} = \frac{U_m (\pm X) R_y}{\frac{l}{2} \left(R_y + \frac{2d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot b \cdot l} \right)}, \quad (2.5)$$

və ya

$$\frac{U_m (\pm X) R_y}{\frac{l}{2} R_y + X_c}, \quad \text{burada} \quad X_c = \frac{2d}{\omega \varepsilon_0 b \cdot l}. \quad (2.6)$$

Alınan ifadə körpü sxeminə uyğun qurulmuş və kondensator lövhələrinin qarşılıqlı əhatə sahəsinin dəyişməsinə əsaslanan

yerdəyişməli tutum çeviricisinin statik xarakteristikasıdır. Bu cür yerdəyişməli tutum çeviriciləri təkcə müstəvi elektrodlarla deyil, həm də istənilən simmetrik konfigurasiyalarda tətbiq oluna bilərlər.

Körpü sxemli yerdəyişməli TV-lər yüksək həssaslığa, xətti statik xarakteristikaya, küylərə qarşı yüksək davamlığa malik olub ətraf mühitin təsirinə məruz qalmırlar. Dəqiqliyi, həssaslığı artırmaq və tutum ölçmə çeviricisinin lövhələrinə təsir edən elektrostatik qüvvələrin təsirini azaltmaq üçün onların körpü sxeminə daxil edilməsi ilə differensial tutumlu yerdəyişmə ölçmə çeviriciləri istifadə olunur.

İşdə bu prinsipə əsaslanan müxtəlif təyinatlı TV-in konstruksiyaları və ÇX-i verilmişdir. Eyni zamanda TV-in funksional sxemlərinin qurulma prinsipi verilmişdir. Bu zaman TV-nin $x(t)$ giriş signalının $y(t)$ çıxış signalına çevrilməsi həyata keçirilir:

$$y = F[x(t)], \quad (2.7)$$

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

Konstruktiv xüsusiyyətindən, iş prinsipindən və elektrik dövrə həllərindən asılı olaraq elektrik tutumları dəyişə bilən TV-lər müxtəlif növ statik xarakteristikalara malik olurlar. Parametrləri dəyişdirilə bilən TV-lər layihələndirilən zaman onların elektrik dövrlərini və dövrənin parametrlərini seçərkən xətti asılılığa yaxın statik xarakteristika əldə etməyə cəhd edilir. Buna nail olmaq üçün çevirici dövrənin parametrləri elektrik sxeminin aktiv və reaktiv müqavimətlərinin balans qiymətlərinə yaxın seçilir¹.

Bu bölmədə bir neçə tək tutumlu çeviricilər üçün elektrik dövrləri və onların parametrlərinin təyini təqdim edilmişdir.

Beləliklə, xətti yerdəyişməli TV-nin (XYTV) nəzəri tədqiqi həyata keçirilmiş, dəyişən tutumlu kondensatorların sxematik birləşmə modelləri verilmiş; xətti yerdəyişməli TV-nin qurulma prinsipi verilmiş və onların çevirmə xarakteristikaları tədqiq edilmiş;

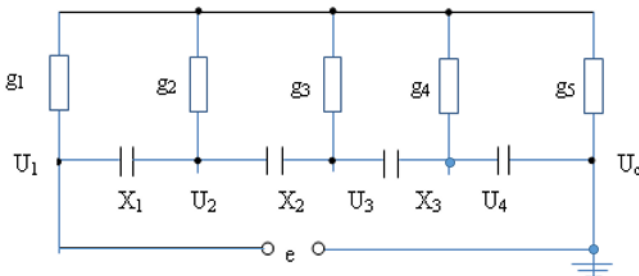
¹ Лунеев, Д.Е. Расчет и анализ измерительных преобразователей с изменяющейся электрической емкостью. –Астрахань: Изд.-во АГТУ, 2008.

XYTV-nin səviyyə və rütubətin ölçülməsində tətbiqi imkanları tədqiq edilmiş, real nümunələrə baxılmış; müxtəlif təyinatlı böyük XYTV-nin qurulma prinsipi və funksional sxemləri verilmiş və nəhayət dəyişən tutum çeviricilərinin statik xarakteristikaları tədqiq edilmişdir.

Üçüncü fəsilə – böyük yerdəyişməli TV-nin sxematik modelləri, parametrləri, çevirmə xarakteristikaları, onlara təsir göstərən faktorlar və digər məsələlər tədqiq edilmişdir.

TV-nin 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 fiziki kəmiyyət həssas elementə (girişinə) təsir etməklə çıxışda həmin təsirin mütənasib elektrik signalı formalaşır və bu signal müvafiq elektron modulda qiymətləndirilir. Yuxarıda qeyd olunan üstünlüklərə və etibarlığına görə BYTV-lər müxtəlif sahələrdə: sənaye, istehsal, texnoloji proses, robototexnika, dəzgah, cihaz, məişət və s.-də avtomatlaşdırılmış nəzarət-ölçmə və idarəetmə, signalizasiya funksiyalarının yerinə yetirilməsində geniş tətbiq olunurlar. Bu çeviricilərin çatışmayan cəhətləri ölçmə prosesində stabilliyi təmin etmək üçün köməkçi vasitələrdən istifadə olunmasıdır və bu da qurğunun səmərəliliyini azaldır.

BXYTV-nin ölçmə diapazonunu artırmaq üçün kondensator lövhələrinin sayını artırmaq lazım gəlir. Nümunə olaraq şəkl. 3.1-də verilmiş tutum vericisinin elektrik sxeminə baxılmışdır.

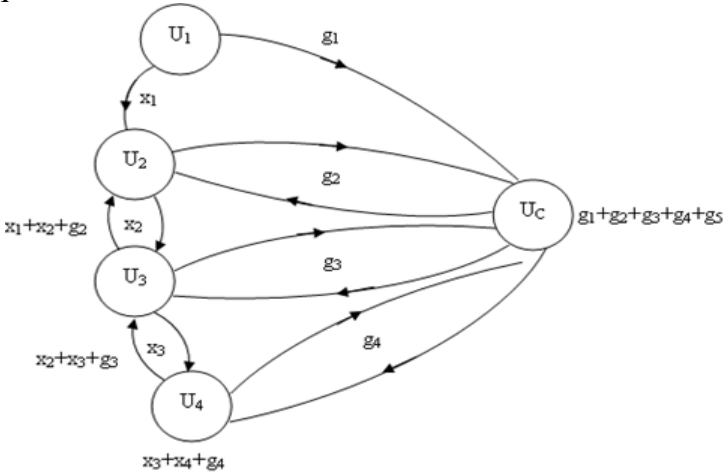


Şəkil 3.1. Ardıcıl birləşmiş tutum vericisinin elektrik sxemi

Sxem öz aralarında ardıcıl birləşmiş 4 ədəd paralel müstəvi lövhəli kondensatordan, onların birləşmiş orta nöqtələri ilə əlaqələndirilən 5 ədəd eyni nominala malik rezistordan, kondensator lövhələri arasında hərəkət edən 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.

Sxemdə X_1, X_2, X_3 –ölçmə parametrləri; U_1, U_2, U_3, U_4 – uyğun çıxış gərginlikləri; g_1, g_2, g_3, g_4 və g_5 –uyğun elektrik keçiricilikləridir.

Şək. 3.1-də verilmiş elektrik sxemin qraf strukturu aşağıdakı kimi olacaq:



Şəkil 3.2. Tutum vericisinin qraf strukturu

Şək. 3.2-ə uyğun olaraq aşağıdakı xətti tənliklər sistemi qurulur:

$$\begin{aligned}
 U_2(x_1 + x_2 + g_2) &= U_1x_1 + U_3x_2 + U_c g_2 \\
 U_3(x_2 + x_3 + g_3) &= U_2x_2 + U_4x_3 + U_c g_3 \\
 U_4(x_3 + x_4 + g_4) &= U_3x_3 + U_c g_4 \\
 U_c(g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5) &= U_1g_1 + U_2g_2 + U_3g_3 + U_4g_4
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Əgər $g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = g_5 = g$ qəbul etsək, onda $5U_c = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$ olar və buradan aşağıdakı tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{aligned}
 U_2(x_1 + x_2 + g) - U_3x_2 - U_cg &= U_1x_1 \\
 -U_2x_2 + U_3(x_2 + x_3 + g) - U_4x_3 - U_cg &= 0 \\
 -U_3x_3 + U_4(x_3 + x_4 + g) - U_cg &= 0 \\
 -U_2g - U_3g - U_4g + 5U_cg &= U_1g
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

MatchCad proqram paketindən istifadə etməklə hesablama aparılmışdır.

$$M := \begin{bmatrix} x_1 + x_2 + g & -x_2 & 0 & -g \\ -x_2 & x_2 + x_3 + g & -x_3 & -g \\ 0 & -x_3 & x_3 + x_4 + g & -g \\ -g & -g & -g & 5g \end{bmatrix},$$

$$V := \begin{bmatrix} U_1 \cdot x_1 \\ U_1 \cdot 0 \\ U_1 \cdot 0 \\ U_1 \cdot g \end{bmatrix}. \tag{3.3}$$

Ümumi halda həssaslığın analitik metodla hesablanmasına əsaslanaraq sxemin elementlərinin dəqiqliyi müəyyənləşdirilir. Bunun üçün sxemin həssaslığının təyin edilməsi vacibdir.

$$S_x^F = \frac{dF}{F} : \frac{dx}{x} = \frac{dF}{dx} \times \frac{x}{F}, \tag{3.4}$$

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

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

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

burada 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 [6].

BYTV 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.

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

$$C_x = \frac{\varepsilon S}{d_0 - X}, \quad (3.5)$$

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

$$S_x = \frac{dC_x}{dx}, \quad (3.6)$$

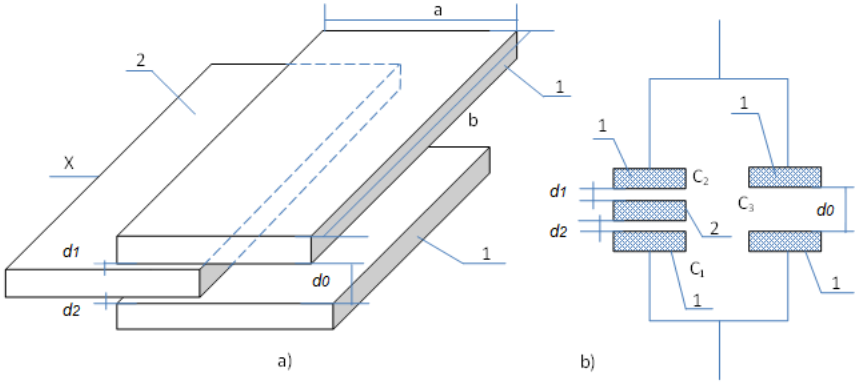
(3.5) düsturu əsasında aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$S_x = -\frac{\varepsilon S}{(l_0 - X)^2}. \quad (3.7)$$

BYTV-də istifadə edilən 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 millimetrin hissələri qədər kiçik, yəni minimum olmalıdır ki, nüvənin hərəkəti normal olsun.

TV-nin həssaslığını təyin etmək üçün bir ədəd tutum çeviricisini tədqiq etmək kifayət edir. Baxılan halda TV-nin konstruksiyası şəkl. 3.3.a, ekvivalent sxemi isə şəkl. 3.3.b şəklində araşdırılır.

Şəkildən görüldüyü 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 3.3. TV-in 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 (şək. 3.3, 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:

$$C_1 = \frac{\varepsilon \cdot x \cdot b}{d_1}, \quad (3.8)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon \cdot x \cdot b}{d_2}, \quad (3.9)$$

$$C_3 = \frac{\varepsilon (a - x) \cdot b}{d_0}. \quad (3.10)$$

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

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

$$C_x = \frac{\varepsilon \cdot x b}{2d} + \frac{\varepsilon (a - x) b}{d_0}; \quad (3.11)$$

$$C_x = \frac{\varepsilon b [d_0 x + 2d(a - x)]}{2d \cdot d_0}.$$

Beləliklə, tutum çeviricisinin həssaslığı (3.11) ifadələrinə uyğun aşağıdakı kimi təyin olunacaqdır:

$$S_x = \frac{dC_x}{dx}, \quad (3.12)$$

$$S_x = \frac{\varepsilon b (d - 2d)}{2d \cdot d_0}. \quad (3.13)$$

və ya

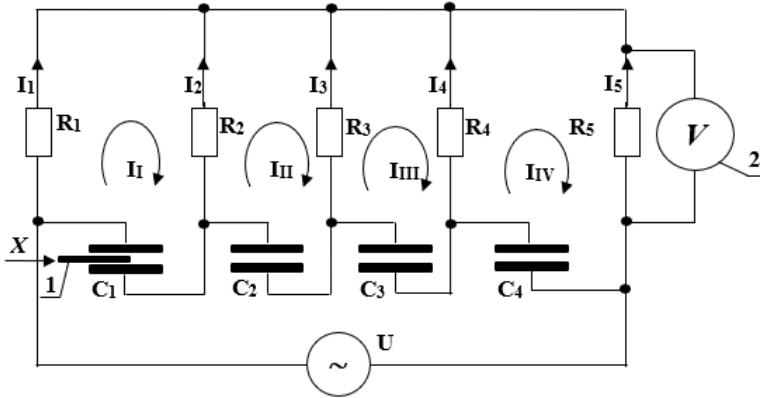
$$S_x = \varepsilon b \left(\frac{1}{2d} - \frac{1}{d_0} \right). \quad (3.14)$$

Konstruksiyanı eynilə təkrarlasaq və kondensatorları bir-biri ilə ardıcıl qoşsaq, onda hərəkət edən nüvə ardıcıl olaraq qonşu kondensatorların tərpənməz lövhələri arasında hərəkət edərək onların tutumunu mütənasib olaraq dəyişəcəkdir. Bu zaman kondensatorun lövhələri arasında nüvə eyni ölçüdə, simmetrik olmalıdır.

Bu məqsədlə işdə bir neçə struktur sxem təqdim edilmişdir.

BYTV-nin ölçmə xətasının təyininə baxılmışdır. Bu zaman tutum çeviricisi kimi lövhələri paralel və müstəvi şəklində olan kondensatorlardan istifadə edilir. Vericinin struktur sxemi öz aralarında ardıcıl birləşdirilən 4 ədəd paralel müstəvi lövhəli kondensatorlardan, onların birləşmiş orta nöqtələri ilə əlaqələndirilən 5 ədəd eyni müqavimətli rezistorlardan, kondensator lövhələri arasında hərəkət etdirilən nüvədən (1) və dəyişən gərginlik qida mənbəyindən təşkil olunmuşdur (şək. 3.4).

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 düşgüsü təyin edilir [4,5].



Şək. 3.4. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin sxemi

Şəkildən görüldüyü 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:

$$\begin{cases} I_I (R_1 + R_2) - I_{II} R_2 = U_{10} \\ -I_I R_2 + I_{II} (R_2 + R_3) - I_{III} R_3 = U_{20} \\ -I_{II} R_3 + I_{III} (R_3 + R_4) - I_{IV} R_4 = U_{30} \\ -I_{III} R_4 + I_{IV} (R_4 + R_5) = U_{40} \end{cases} \quad (3.15)$$

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

$$\begin{cases} 2RI_I - RI_{II} = U_{10} \\ -RI_I + 2RI_{II} - RI_{III} = U_{20} \\ -RI_{II} + 2RI_{III} - RI_{IV} = U_{30} \\ -RI_{III} + 2RI_{IV} = U_{40} \end{cases} \quad (3.16)$$

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.

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

$$I_{IV} = \frac{1}{5R} (U_{10} + 2U_{20} + 3U_{30} + 4U_{40}), \quad (3.17)$$

Uyğun çevirmələrlə digər kontur cərəyanları üçün ifadələr alınır.

Voltmetrin göstərişinin ümumi halda yerdəyişmədən asılılığı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$U_v = \frac{1}{n+1} \sum_{K=1}^n kU_{K_0} - \frac{K_v}{n+1} X, \quad (3.18)$$

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

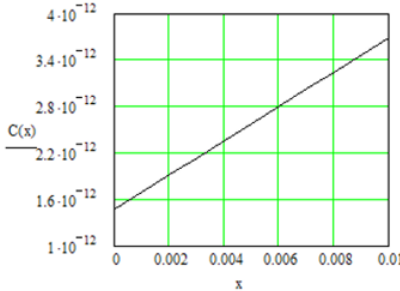
Xətti yerdəyişməli tutum vericisinin $U = \varphi(x)$ çevirmə xarakteristikasının təcrübi yolla alınmış və hesablanmış nəticələri əsasında qurulmuş əyrinin qrafiki aşağıda şəkl. 3.5-də verilmişdir [4].

Çıxış gərginliyin tam ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır:

$$U_{cix}(x) = \sqrt{R_e U_{cix}(x)^2 + I_m U_{cix}(x)^2} \quad (3.19)$$

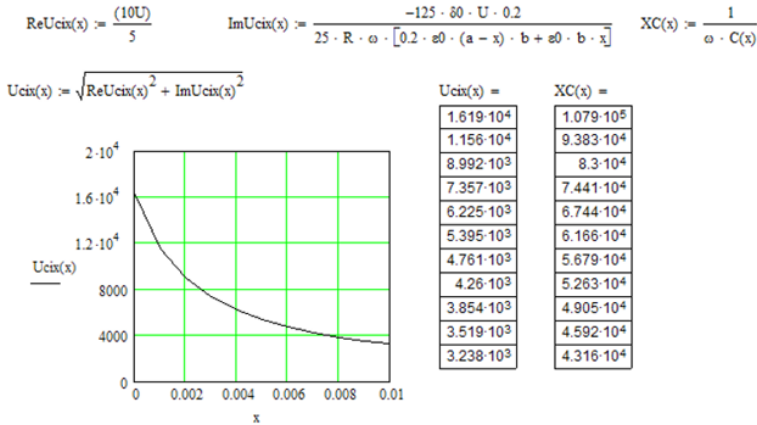
(3.19) tənliyindən “MathCad” proqramlar paketindən istifadə etməklə $U_{cix(x)} = f(x)$ və $C_{(x)} = f(x)$ asılılıqları üçün sınaqlar keçirilmiş və aşağıdakı xarakteristikalar alınmışdır (şəkil 3.5 a, b).

$$C(x) := \left(\frac{a0 \cdot b}{a0} \right) \cdot (a + 1.5 \cdot x)$$



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 3.5 a



Şəkil 3.5 b

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.

Statiki iş rejimində TV-nin xarakteristikası laboratoriya şəraitində çıxarılmışdır. Dissertasiya işində xəталarnın hesablanması və nəticələr cədvəldə əyani rəqəmlərlə təqdim edilmişdir [4].

Təsadüfi xətanın olması halında ölçmə dəqiqliyini yüksəltmək üçün ölçmə prosesini dəfələrlə təkrar etmək lazımdır. Sisteməti xətanın olduğu halda təkrar aparılmış ölçməyə müəyyən düzəliş etmək tələb olunur. Bu halda sisteməti xətanı aradan götürmək olur. Göstərilən şərt daxilində ölçmələrin nəticələri müxtəlif ölçmələrin orta hesabı qiymətinə bərabər olur.

Müxtəlif təyinatlı TV-lərin nümunələri əsasında çoxsaylı ölçmələr aparılmış və sınaqların nəticələrindən belə qənaətə gəlinmişdir ki, bütün vericilər qeyri-xətti ÇX-yə malikdirlər. Odur ki, alqoritmik-test üsulunun ölçmə prosedurlarında tətbiqi vacibdir. Bu məqsədlə BYTV-nin mövcud elektron sxemlərinə müdaxilə etmədən onların ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün növbəti bölmədə hibrid test tənlikləri işlənilmişdir.

Dördüncü fəsilə – böyük yerdəyişməli TV-nin ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün hibrid test üsulunun səmərəliliyi

əsaslandırılmışdır. Bu üsulun tətbiqi zamanı diferensial ölçmə sxemi qurulur və girişlərə ölçüləcək kəmiyyətlə eyni vaxtda multiplikativ, additiv və kombinasiyalı testlər qoşulur.

Test ölçmə üsulu ilkin vericinin ÇX-nin yüksək dəqiqliklə identifikasiyasına əsaslanır və çevirmə funksiyasının (ÇF) riyazi ifadəsinin dəqiqləşdirilməsinə xidmət edir. Bu zaman ÇF-nin ən böyük əyilmə nöqtələri təyin olunur və bu nöqtələrə uyğun gələn, müvafiq test qiymətləri seçilir. Əsasən, sadə additiv, multiplikativ və hibrid testlərdən istifadə olunur.

ÇF çox tərtibli çoxhədli şəkildə olduqda o zaman əyri ardıcıl olaraq hissə-hissə qeyri-xətti intervallara (kvadrat üçhədli şəkildə) bölünməklə apraksimasiya edilir. Göründüyü kimi ölçmə nəticəsinin tələb olunan dəqiqliyinin təmin olunması üçün cəbri tənliklər yüksək tərtibdən tələb olunmur və bu da ÇX-nin bütün diapazonu boyunca optimal nöqtələrinin seçilməsini praktik olaraq mümkün edir. Beləliklə, ÇF-nin interpolyasiya əyrisinin – çoxhədlinin dərəcəsi xeyli məhdudlaşır ($n \leq 3$), ölçmə proseduru sadələşir və yüksək ölçmə dəqiqliyi təmin olunur.

Aparılan çoxsaylı sınaqların nəticələri kütləvi istehsal vericilərinin interpolyasiya əyrisinin əsasən kvadrat üçhədli şəkildə seçilməsinin kifayət etdiyini və ölçmə dəqiqliyinin təmin olunmasını təsdiq edir:

$$y = a_{1s} + a_{2s}x + a_{3s}x^2, \quad (4.1)$$

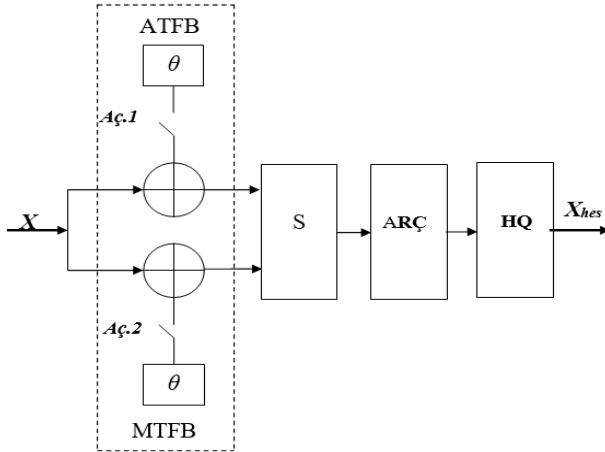
burada a_{1s}, a_{2s}, a_{3s} – çoxhədlinin baxılan aproksimasiya sahələrindəki əmsallardır.

(4.1) kvadrat üçhədlisində x ölçmə kəmiyyəti ilə eyni vaxtda $x + \theta$ –additiv, kx –multiplikativ və $kx + \theta$ –qarışıq testlər növbə ilə vericinin girişinə qoşulmaqla aşağıdakı test tənlikləri alınır:

$$\begin{cases} y_0 = a_{1sN} + a_{2sN}x + a_{3sN}x^2 \\ y_1 = a_{1sN} + a_{2sN}(x + \theta) + a_{3sN}(x + \theta)^2 \\ y_2 = a_{1sN} + a_{2sN}kx + a_{3sN}(kx)^2 \\ y_3 = a_{1sN} + a_{2sN}(kx + \theta) + a_{3sN}(kx + \theta)^2 \end{cases} \quad (4.2)$$

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

(4.2) tənliklər sistemi aşağıdakı struktur sxem vasitəsilə reallaşır:



Şəkil 3.6. Testləşdirilmiş İÖS-in struktur sxemi

burada ATFB–additiv testləri formalaşdıran blok; MTFB–multiplikativ testləri formalaşdıran blok; S1–differensial ölçmə sensoru; ARÇ–analoq-rəqəm çeviricisi; HQ–hesablama qurğusudur.

(4.2) tənliklər sistemini həll etdikdə çevirmə funksiyası (ÇF) üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$y_0 = \frac{(y_1 - y_2)[x(k-1) + \theta] + y_3(xk - x - \theta)}{x(k-1) - \theta}, \quad (4.3)$$

Ölçmə kəmiyyətinin qiyməti üçün isə aşağıdakı ifadə alınır:

$$x_{hes.} = \frac{(y_1 - y_2) + (y_0 - y_3)}{(y_0 - y_3) - (y_1 - y_2)} \cdot \frac{\theta}{(k-1)}, \quad (4.4)$$

Sonuncu ifadədən mütləq xəta üçün aşağıdakı ifadə alınır²:

$$\Delta_T = [x(k-1) + \theta](\Delta_1 - \Delta_2) + [x(k-1) - \theta](\Delta_3 - \Delta_0). \quad (4.5)$$

Testləşdirilmiş ÖS-in nisbi xətasının (4.5) 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:

$$\Delta_T = \theta[\Delta_1 - \Delta_2 - (\Delta_3 - \Delta_0)] + x(k-1) \cdot [\Delta_1 - \Delta_2 + (\Delta_3 - \Delta_0)] \quad (4.6)$$

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

$$\Delta_{gir.} = \frac{\Delta_T}{f_T'(x)}, \quad (4.7)$$

burada:

$$f_T(x) = (y_0 - y_3)[x(k-1) - \theta] + (y_2 - y_1)[x(k-1) + \theta]. \quad (4.8)$$

(4.8) ifadəsi x -ə görə diferensiallandıqda $f_T'(x)$ üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$f_T'(x) = (k-1)[(y_0 - y_3) - (y_1 - y_2)] \quad (4.9)$$

(4.6) və (4.8) ifadələrini (4.7)-də nəzərə alsaq, testləşdirilmiş ÖS-in girişinə gətirilmiş $\Delta_{gir.}$ mütləq xəta üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\Delta_{gir.} = \frac{\{\theta[(\Delta_1 - \Delta_2) - (\Delta_3 - \Delta_0)] + x(k-1)[\Delta_1 - \Delta_2 + (\Delta_3 - \Delta_0)]\}}{(1-k)2\theta\{a_{2SN} + a_{3SN}[(k-1)x + \theta]\}}. \quad (4.10)$$

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

$$\sigma_{\Delta T}^2 = \sigma_{\Delta_0}^2 [z - \theta]^2 + \sigma_{\Delta_1}^2 [z + \theta]^2 + \sigma_{\Delta_2}^2 [z + \theta]^2 + \sigma_{\Delta_3}^2 [z - \theta]^2; \quad (4.11)$$

² İsayev M.M. Ölçmə sistemlərinin dəqiqliyinin yüksəldilməsinin alqoritmik-test üsulları. Bakı, «Elm» nəşriyyatı, 2018, 206s.

burada σ_{Δ_i} – uyğun ölçmə taktlarının (ÖT) xətalərinin orta kvadratik meylləridir.

Son nəticə olaraq ilkin ÖS-in girişinə gətirilmiş mütləq xəta üçün aşağıdakı düstur alınır:

$$\Delta_{gir-T} = \frac{\Delta_M}{k-1} - \frac{\Delta_\theta}{\theta}. \quad (4.12)$$

(4.12) ifadəsindən belə bir mühüm nəticə çıxır ki, (4.8) ölçmə alqoritmi əsasında fəaliyyət göstərən ÖS-in Δ_{gir-T} yekun xətasının təşkilədiciləri testlərin optimal yığımının realizasiyası zamanı ÖS-in ÇF-nin əmsallarının qiymətlərindən asılı olmur.

Δ_θ və Δ_M xətaləri, bir qayda olaraq bir-biri ilə korrelyasiya əlaqəsində olmayıb, fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlərdir və normal paylanma qanununa tabedir. Buna görə ÖS-in girişinə gətirilmiş nisbi xəta (δ_{gir-T}) da öz növbəsində fasiləsiz təsadüfi kəmiyyət olub riyazi gözləmə (M_{δ_T}) və dispersiya ($\sigma_{\delta_T}^2$) ilə xarakterizə olunur.

Riyazi gözləmə aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$M_{\delta_T} = \frac{M[\Delta_M]}{k-1} - \frac{M[\Delta_\theta]}{\theta}, \quad (4.13)$$

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:

$$\sigma_{\delta_T}^2 = \frac{\sigma_{\Delta_M}^2}{(k-1)^2} + \frac{\sigma_{\Delta_\theta}^2}{\theta^2}, \quad (4.14)$$

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

Beləliklə, $\sigma_{[\delta_T]}$ və $\sigma_{[\delta_T^*]}$ dispersiyalarının hesablanmış qiymətlərini müqayisə etdikdə aydın olur ki, additiv, multiplikativ və hibrid testlərin optimal yığımı ilə reallaşan ÖS-də yaranan yekun xəta təşkilədiciləri qiymətcə, sadə additiv və multiplikativ testlərlə reallaşan analogi ÖS-dəki xətəyə nisbətən kiçik dispersiyaya malik

olur. ÖS-in ÇX-i kvadrat üçhədli olduqda və əsas test tənliklərini həll etdikdə əlavə zamana ehtiyac qalmır.

Test alqoritmlərinin tətbiqi ilə aparılan ölçmə nəticələrinin adekvatlığı və ÇX-nin identifikasiyasının dürüstlüyü real sınaqlarla təsdiqlənmişdir

İŞİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

1. Tutum çeviriciləri, onların metroloji xarakteristikaları, ölçmə dəqiqliyinə təsir göstərən faktorlar analiz edilmiş və böyük xətti yerdəyişmələrin ölçülməsində onların tətbiqi imkanları müəyyən olunmuşdur.

2. Böyük yerdəyişməli TV-nin 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 TV- tədqiq edilmiş, diferensial TV-nin tətbiqinin üstünlükləri əsaslandırılmış, onların çevirmə funksiyaları və riyazi modelləri dəqiqləşdirilmişdir.

4. Böyük yerdəyişməli TV-nin çevirmə funksiyaları və onların parametrləri arasında korrelyasiya əlaqələri tədqiq edilmiş, riyazi ifadələr alınmış, real nümunələr əsasında qiymətləndirmələr aparılmışdır.

5. TV-də ölçmə dəqiqliyinin yüksəldilməsi üçün alqoritmik və test üsullarının tətbiqi imkanları analiz edilmiş, hibrid test üsulunun daha səmərəli olduğu əsaslandırılmış və real sınaqlarla təsdiqlənmişdir.

6. Testləşdirilmiş TV-nin korrelyasiyasız statik xətalrı, qeyri-adekvatlıq xətası və yekun xətalrı tədqiq edilmişdir.

7. Böyük yerdəyişməli TV-nin çevirmə funksiyaları üçün riyazi modellər, onların çevirmə xətalrının təshihedici test alqoritmləri işlənmiş və riyazi-statistik qiymətləndirmələr aparılmış, əyani qrafiklər təqdim edilmişdir.

8. Yekun xətanın paylanma qanunu və yerləşmə sərhədləri təyin edilmiş, ölçmə nəticəsinə təsir göstərən amillər qiymətləndirilmişdir.

DİSSERTASIYA İŞİ ÜZRƏ DƏRC EDİLMİŞ NƏŞRLƏR

1. Yusifov, Ə.A., Ağayeva, F.Ş. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin həssaslığının tədqiqi // SDU-nin Elmi xəbərləri, –Sumqayıt: –2006. –№ 3, s.84-87.
2. Kazımov, N.M., Yusifov, Ə.A., Ağayeva, F.Ş. Mikroprosessorlu böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin tədqiqi // SDU-nin Elmi xəbərləri. – Sumqayıt: – 2006. –№ 4, s.98-100.
3. Kazımov, N.M., Yusifov, Ə.A., Ağayeva, F.Ş. Xətti yerdəyişməni ölçən tutum vericisi // Труды международной конференции «Научно-технический прогресс и современная авиация» посвященной 75-летию академика А.М. Пашаева. –Баку: –2009, с.91-92.
4. Kazımov, N.M., Yusifov, Ə.A., Ağayeva, F.Ş. Böyük xətti yerdəyişməli tutum vericisinin xətasının təyini // Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi xəbərləri, – Sumqayıt: –2011. № 1, –s.90-94.
5. Агаева, Ф.Ш. Емкостный датчик больших линейных перемещений // Вестник Российской Академии Естественных Наук. –СПб.: – 2015. №2, с.140-142.
6. 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.
7. Ağayeva, F.Ş. Qraf üsulu ilə böyük yerdəyişməli tutum vericisinin analizi // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika EK, - Bakı: -25-26 oktyabr, -2017, s.18 -20.
8. Исаев, М.М., Назаров, Р.Б., Бадалова, Н.Х., Агаева, Ф.Ш. Разработка комбинированного алгоритма и информационно-измерительная система для повышения точности измерений // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ–2017), Материалы XVI Международной конференции имени А.Ф. Терпугова. –Томск: 29 сентября – 3 октября 2017, с.292-299.

9. 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.
10. 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 Konfransın Materialları, Sumqayıt. 15-16 noyabr, 2018, s.473-476.
11. Rzayev, Ab.H., İsayev, M.N., Ağayeva, F.Ş., Məmmədova M.B., Xasayeva, N.M. Neftin hazırlığı prosesi üçün nəzarət ölçmə və idarəetmə sisteminin işlənməsi // Azərbaycan neft təsərrüfatı, Bakı, 2019, №8, s.32-36
12. Ağayeva, F.Ş. Tutum vericisinin çevrilmə sxemlərinin tədqiqi // Müasir informasiya ölçmə və idarəetmə sistemləri: problem və perspektivlər 2019, 1-ci Beynəlxalq elmi-praktik konfrans, – Bakı, 2019, s.137-138.
13. 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
14. İsayev M.M., Məmmədova M.B., Xasayeva N.M., Ağayeva F.Ş., Bədəlova N.X. Axında neftin sıxlığının avtomatlaşdırılmış ölçmə sisteminin və xətanın tədqiqi // Azərbaycan neft təsərrüfatı. –№12, 2020, s.39-44
15. Ağayeva.F.Ş. Silindirik içlikli tutum çeviricisinin həssaslığına təsir göstərən faktorların analizi // Tətbiqi fizika və energetikanın müasir problemləri Beynəlxalq Elmi konfransi: Sumqayıt, 12-13 noyabr 2020, s.355-358
16. Агаева, Ф.Ш. Анализ схемы симуляции емкостного датчика фиксирующего существование объекта // Научное обозрение. Технические науки. – Москва: - 2022, № 2, с.5-9
17. Агаева, Ф.Ш. Метод идеализации параметров многоканальной измерительной системы // Известия Тульского Государственного Университета. –Тула. 2022, № 4, с.157-162

Müştərək müəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə müəllifin şəxsi rolu:

- [1-4] – vericinin struktur sxeminin işlənməsi, xətasının təyini, tədqiqatın aparılması;
- [8] – test alqoritmlərinin tətbiqi ilə vericinin dəqiqliyinin yüksəldilməsinin tədqiqi;
- [10] – tutum vericisi əsasında neftin tərkibinin və sərfin ölçülməsi və eksperimentlərin yoxlanması;
- [11] – çeviricisinin ölçmə dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi;
- [14] – neftin sıxlığının ölçülməsində xətanın tədqiqi.

Dissertasiyanın müdafiəsi «__» _____ 2024-cü il tarixdə saat _____-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti 25

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat «__» _____ 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb. 28. 02. .2024-cü il.
Şerti ç.v.1,75. Kağız formatı:60x84/ ^{1/16}
Tiraj: 100 nüsxə

Sumqayıt Dövlət Universitetinin
Redaksiya və nəşr işləri şöbəsi
Sumqayıt şəhəri, 43-cü məhəllə