

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİNİN nəzdində
BAKİ TEXNİKİ KOLLECI

“ÜMUMİXTİSAS” FƏNN BİRLİYİ

Fənn: ELEKTRODLAR və VERİCİLƏR

MÜHAZİRƏ MƏTNLƏRİ

BAKİ-2022

MÜNDƏRİCAT

1.Giriş. Vericilər və elektrodlar haqqında ümumi məlumat.....	1
2.İlkin ölçmə çeviricilərinin (İÖÇ-nin) əsas xarakteristikaları.....	4
3.İlkin ölçmə çeviricilərinin dinamik modelləri.....	6
4.İlkin ölçmə çevirmələrin struktur sxemləri.....	9
5.Vericilərin təsnifatı.....	12
6.Rezistiv ilkin ölçmə çeviriciləri.....	13
7.Maqnitrezistiv ilkin ölçmə çeviriciləri ,tenzorezistiv İÖÇ, fotorezistiv İÖÇ.....	21
8.Tutum ilkin ölçmə çeviriciləri.....	29
9.Termoelektrik ilkin ölçmə çeviriciləri , pyezoelektrik İÖÇ.....	35
10.Elektromaqnit ilkin ölçmə çeviriciləri.....	40
11.Transformator ilkin ölçmə çeviriciləri, maqnitelastik İÖÇ.....	44
12.İnduksiya ilkin ölçmə çeviriciləri, maqnit-modulyasiyalı İÖÇ.....	46
13.Burulğan cərəyanlı ilkin ölçmə çeviriciləri , nüvə-rezonans İÖÇ, Holl İÖÇ.....	55
14.Elektrokinetik ilkin ölçmə çeviriciləri, qalvanik İÖÇ, ionlaşdırıcı İÖÇ, çox funksiyalı İÖÇ.....	63
15.Rezistiv ilkin ölçmə çeviricilərinin xətalrı.....	68
17.Rezistiv ilkin ölçmə çeviriciləri ölçmə dövrləri.....	71
18.Tutum ilkin ölçmə çeviricilərinin xətalrı.....	74
19.Tutum ilkin ölçmə çeviriciləri ölçmə dövrləri.....	75
20.Termoelektrik ilkin ölçmə çeviricilərinin xətalrı və ölçmə dövrləri.....	78
21.Pyezoelektrik ilkin ölçmə çeviricilərinin xətalrı və ölçmə dövrləri.....	82
22.Elektromaqnit ilkin ölçmə çeviricilərinin xətalrı və ölçmə dövrləri.....	84

Giriş. Vericilər və elektrodlar haqqında ümumi məlumat.

Verici – ölçülən kəmiyyəti ötürülməyə, sonrakı çevrilməyə və ya qeydiyyatı yararlı siqnala çevirən qurğudur. Vericinin növü və konstruksiyası aparılan çevrilmənin növündən asılıdır, yəni, giriş qeyri-elektrik siqnalının və çıxış elektrik siqnalının konkret fiziki təmsil olunmaları ilə təyin olunur, həmçinin vericinin iş şərtlərindən asılıdır.

Həssas element – çevirici dövrədə ölçülən kəmiyyətlə birbaşa əlaqədə olan birinci hissədir.

Ölçmə çeviricisi (ÖÇ) – ölçülən informasiyanı ötürmə və sonrakı emal üçün, həmçinin müşahidəçi tərəfindən birbaşa qəbul edilməyən münasib siqnal formasında hasil edən vasitədir. ÖÇ-nin tərkibində verici ola və ya olmaya bilər, lakin, daha çox həssas element olur.

Tibbi elektronukada verici və ÖÇ əlqalı problem sonuncular sahəsindəki inkişafın tibb texnikasını qabaqlamasından irəli gəlir. Belə ki, hər bir yeni tədqiqat üsulu üçün uyğun vericilərin yaradılması lazım gəlir.

Vericilərə qoyulan tələblər. Fizioloji ölçmələr sisteminin vericiləri bir sıra xüsusi xüsusiyyətlərə malik olmalıdırlar. Konkret texniki realizasiyanın xüsusiyyətindən asılı olmayaraq onlar aşağıdakıları təmin etməlidirlər:

- Dayanıqlı informativ siqnalın alınması;
- Faydalı siqnalın minimal təhrifi;
- Küydən maksimal müdafiə;
- Lazım olan ölçmə hissəsində rahat yerləşdirilmə;
- Orqanizmə əks - qıcıqlandırıcı və ya digər təsirlərin olmaması;
- Sterilizə olunma (xarakteristikaların saxlanması şərti ilə) və çoxsaylı istifadə imkanı.

Bundan başqa vericilər imkan daxilində miniatur, istifadə və yerləşdirmə üçün konstruktiv rahat olmalı, sərt və çıxıntılı kənarları olmamalı, maye və yarım maye (spirt, yağ) saxlamamalı, imkan daxilində enerji sərf etməməli və tədqiqat obyektinə elektrik təsiri göstərməməlidirlər.

Vericinin gücləndirmə aparatı ilə birləşdirilməsi vacib məsələlərdəndir. Uzunmüddətli ölçməni təmin etmək üçün vericinin çıxış kontaktları ayırıcı naqillər sistemi ilə lehim vasitəsilə birləşdirilir. Periodik istifadə olunan vericilərdə miniatur sökmə (razyom) istifadə olunur. Son illərdə verici-ötürücülər istehsal edilir. Bu qurğular öz daxillərində lazımı məsafəyə ötürməni təmin edən verici, gücləndirici və ötürücüyə malik olurlar.

Biotibbi vericilərin seçilməsi və işlənməsində ilk olaraq nəzarət olunan fizioloji prosesin parametrləri, həmçinin tətbiq şərtlərinin xüsusiyyətləri nəzərə alınmalıdır. Nəzarət olunması üçün vericinin işlənməsi nöqeyi nəzərindən ixtiyari fizioloji prosesi xarakterizə edən əsas parametrləri nəzarət olunan kəmiyyətin dinamik və tezlik diapazonudur.

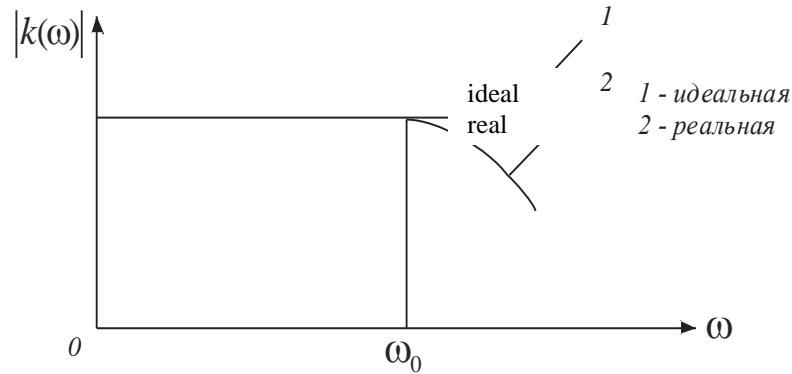
Müxtəlif elektrofizioloji üsullarda analiz olunan siqnalların amplitud və tezlik zolağının qiymətləri cədvəl 2.1-də verilmişdir.

Cədvəl 2.1.

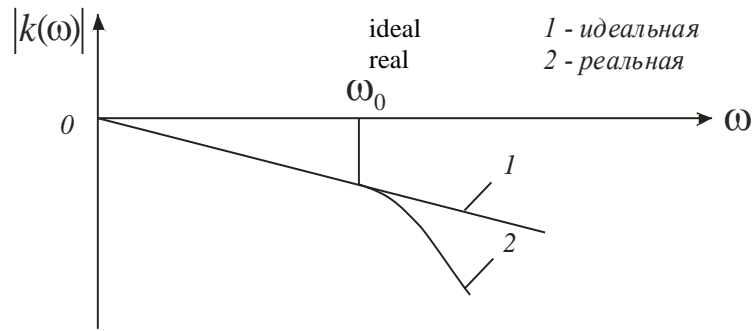
Müxtəlif elektrofizioloji siqnalların amplitud və tezlik zolağı

Parametr	EKQ	EEQ	EMQ	EOQ	DQR
Amplitud, mV	0.1-5.0	0.02-0.3	0.01-1.0	0.02-2.0	1-100
Tezlik, hs	0.01-2000	0.1-2000	1-10000	0-30	0.05-10

Vericilərin əsas metroloji və texniki xarakteristikaları.Hər bir verici ayrıca metroloji göstəricilərlə xarakterizə olunur:



Şəkil 2.2. Vericinin amplitud-tezlik xarakteristikası (ATX)



Şəkil 2.3. Vericinin faza-tezlik xarakteristikası (FTX)

1)Ötürmə xarakteristikası (ÖX):

$$x_{çix} = f(x_{gir})$$

burada x_{gir} – ölçülən giriş kəmiyyəti; $x_{çix}$ - vericinin çıxış kəmiyyətidir.

Vericilərə qoyulan əsas tələb onun işçi xarakteristikasının xəttiliyidir, yəni, giriş siqnalının dəyişməsi çıxış siqnalının dəyişməsilə xətti asılıdır. Xətti xarakteristikalı vericilər eksperimental verilənlərin sonrakı emalı üçün xüsusilə rahatdır. Vericilərin xəttiliyi xüsusilə informasiyanın sürətli analizinin əhəmiyyət kəsb etdiyi operativ nəzarət kanallarında daha vacibdir. Qeyd etmək lazımdır ki, fizioloji informasiyanın emalı üçün avtomatlaşdırılmış vacitələrin tətbiqi xəttilik probleminin aktuallağını azaldır.

Əgər ÖX xəttidirsə, onda

$$x_{çix} = K \cdot x_{gir}$$

K kəmiyyəti ötürmə əmsalı adlanır və ölçüsü aşağıdakı kimi hesablanır:

$$[K] = [x_{çix}] \cdot [x_{gir}]^{-1}$$

2)Vericinin həssaslığı:

$$S = \frac{\Delta x_{çix}}{\Delta x_{gir}}$$

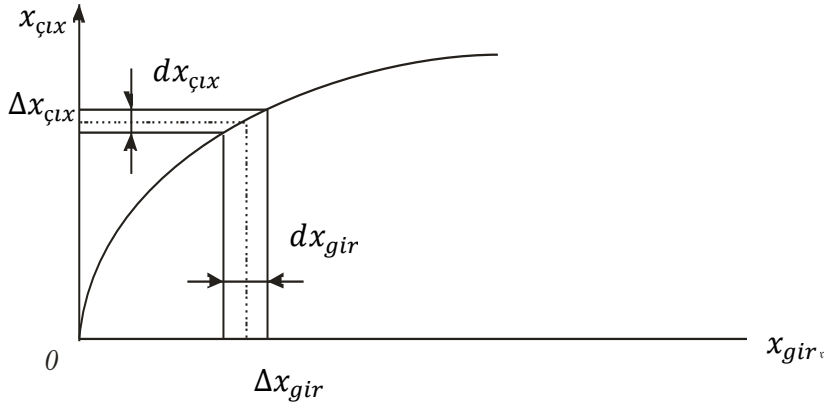
yəni, çıxış kəmiyyətinin giriş kəmiyyətinə nisbətində bərabərdir.

- xətti çevrilmə üçün: $S = K$;

- qeyri-xətti çevrilmə üçün:

$$S = \frac{dx_{çlx}}{dx_{gir}}$$

və ötürmə xarakteristikasının işçi nöqtəsilə təyin olunur (şək.2.4).



Şəkil 2.4. Həssaslığın ÖX

Əgər çıxış siqnalı gərginlik, giriş isə damar divarının mexaniki yerdəyişməsidirsə (sfiqmoqramın qeydiyyatı üçün pyezoelektrik verici) həssaslıq mikrovoltun mikrona nisbəti kimi ölçülür, damar divarlarının yerdəyişməsi 100 mk və daha yüksək qiymətə çatır. Analoji tenzometrik çevirici üçün həssaslıq Om-un hissələrinin yerdəyişmənin mikronlarına və ya mikroamperin (ölçmə körpüsü dövrəsində cərəyan) yerdəyişmənin mikronlarına nisbəti kimi ölçülür.

Termistorlu verici üçün 30-dan 40⁰C temperatur diapazonuna müqavimətin xüsusi diapazonu uyğun gəlir. Verici elə yaradılmalıdır ki, onun müqavimətləri verilən ölçmə diapazonuna uyğun gəlsin. Damar divarlarının yerdəyişməsi üçün həssaslığın işçi diapazonu 10-100 mk sərhədlərində götürülməlidir.

3. Həllətmə qabiliyyəti küy səviyyəsindən fərqlənən, giriş siqnalının çıxış siqnalının dəyişməsinə səbəb olan minimal dəyişməsidir. Həllətmə qabiliyyəti vericinin daxili küy səviyyəsilə təyin olunur.

4. Dinamik diapazon –hiss olunmayacaq yayınmalarla maksimal sərhəd qiymətindən minimaladək olan, xətanın səviyyəsi və ya həssaslığın astana qiymətilə məhdudlaşan ölçülən giriş kəmiyyətinin diapazonudur.

5. Xəta – çıxış kəmiyyətinin nominal qiymətilə ölçülən qiyməti arasındakı maksimal fərkdir.

6. Dinamik rejimin parametrləri. Dinamik rejimdə verici zamana görə dəyişən giriş kəmiyyətini yayınsız (qəbul olunan yayınmalaradək) dəyişməlidir. Dinamik rejimdə vericinin xüsusiyyətlərinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi üçün praktikada daha çox amplitud tezlik xarakteristikası, az hallarda tezlik diapazonu, zaman sabitləri, reaksiya zamanı istifadə olunur. Vericinin tezlik xarakteristikası giriş siqnalının tezlik diapazonuna uyğun olmalıdır. Giriş siqnalı vericinin özündə integrallana və ya differensiallana bilər. Belə ki, elektromaqnit (induksion) verici vasitəsilə nəbz qeydiyyatında adətən differensial əyri alınır (sürətin qeydiyyatı). Bu onunla əlaqədardır ki, elektromaqnit vericilər 20 Hs-dək tezliklərdə aşağı həssaslığa malikdirlər, onların tezlik xarakteristikaları 50-500Hs sərhədlərində olduğu halda nəbz dalğalarının tezlik

diapazonu 0.1-40Hz hədlərində dəyişir. Əksinə, potensiometr şəklində vericilər 0-dan 20-30Hz-dək tezlik xarakteristikasına malikdir, onların hətta nəfəsalma kimi alçaq tezlikli prosesin qeydiyyatında istifadəsi inteqrallanmış əyrinin alınmasına gətirir.

7. Vericinin zaman sabiti (ZS) – vericinin pilləvari təsirli girişinə signal ötürməsi zamanı keçid prosesi qurtardıqdan sonra tam fərqlərdən çıxış signalı 0.63 qiyməti aldığı zaman intervalıdır. Zaman sabiti yuxarı tezlik kəsimi ilə əlaqəlidir:

$$ZS = 1/t_{kəs}$$

8. Reaksiya vaxtı – çıxış kəmiyyətinin giriş kəmiyyətinin dəyişmiş səviyyəsinə uyğun səviyyəyə qurulması üçün sərf edilən minimal vaxt kəsiyidir.

Vericilərdə adətən xətlər onları yaradan səbəb üzrə (metodik, aparat, xarici) və xəta mənbələrini göstərən operatorların növünə görə (determinə olunmuş və təsadüfi) xarakterizə olunur.

İlkin ölçmə çeviricilərinin (İÖÇ-nin) əsas xarakteristikaları

(İÖÇ). Ölçmə dövrəsində yerlərinə görə ÖÇ-i ilkin (birinci) və ikinci ÖÇ-nə bölünürlər. İlkin çeviricilərə vericilər aiddir. Onlarda elektrik signalı birbaşa müşahidə olunan hadisəyə təsirdə yaranır (ürək döyüntülərini yazan mikrafon, hərəkətin qeydiyyatı üçün patensiometr). İkinci ÖÇ-i vericidən signalın ölçmə dövrəsinin sonrakı elementlərinin qəbul edəcəyi formaya çevirmək üçündür və aralıq (ARÇ, RAÇ və s. çeviricilər əsasında), miqyas və ötürücü növləri vardır.

ÖÇ-nin dinamik xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi üçün girişinə zamandan asılı dəyişən $x_{gir}(t)$ nəzarət signalı verilir, çıxışda isə $x_{çix}(t)$ cavabı qeyd olunur.

Nəzarət giriş funksiyaları kimi 1) pilləvari; 2) vahid (δ) və sin –funksiyaları istifadə olunur.

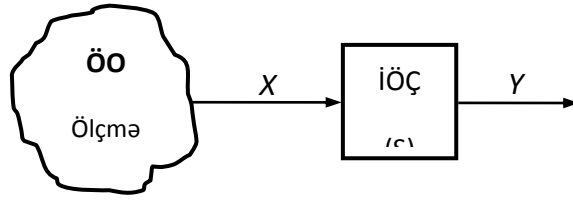
Qeyri-elektrik kəmiyyətlərinin ölçülməsi üçün biosensorlar və ölçmə çeviriciləri. *Rezistiv sensorlar və ölçmə çeviriciləri*

Rezistiv verici və ÖÇ-də ölçülən parametr həssas elementin omik müqavimətini dəyişir.

Rezistiv vericilərə mexaniki kəmiyyətin təsirindən müqavimətini dəyişən vericilər aiddir.

Mexaniki kəmiyyətlərin rezistiv ÖÇ-nə aiddir: reostat vericiləri; tenzorezistorlar; pyezorezistorlar. Ölçmələrin hamısı ölçülən kəmiyyətlərin qəbul olunmasından və ölçmə signalına çevrilməsindən başlayır, sonra bu signal tələb olunan çevrilmələrə məruz qalır. Kəmiyyətlərin qəbul olunması dedikdə verici-lərin giriş kəmiyyətini ayıraraq, üzərində aparılacaq sonrakı əməllərin əl-verişli olacağı şəkllə gətirmək başa düşülür. Fiziki qeyri-elektrik kəmiyyətlərin əksəriyyəti ölçmə prosesində elektrik kəmiyyətlərinə çevrilir. Belə çevrilmələri yerinə yetirmək üçün müxtəlif ilkin ölçmə çeviriciləri (İÖÇ) - sensorlar (S) geniş tətbiq olunur.

İÖÇ – ümumi ölçmə çevirmə dövrəsində bilavasitə ölçülən kəmiyyətin təsiri altında olan ölçmə çeviricisidir. Deməli, İÖÇ – bilavasitə tədqiq olunan ölçmə obyektinə qarşı-lıqlı əlaqədə olan ölçmə çeviricisidir. Başqa sözlə, İÖÇ – bir kəmiyyətin (Y) digərindən (X) birqiymətli funksional asılılığını yerinə yetirən ölçmə çeviricisidir (şəkil 4.1).



Şəkil 4.1

X kəmiyyəti elektrik, qeyri-elektrik, maqnit, mexaniki, optik və digər kəmiyyət ola bilər. Y isə elektrik kəmiyyəti olur. İÖÇ-nin təbii giriş kəmiyyəti X kimi onun ölçmə obyektini (ÖO) xarakterizə edən kəmiyyətlərdən hər-hansı birinə reaksiya verdiyi fiziki kəmiyyət qəbul olunur. Bu, İÖÇ-nin təbii giriş kəmiyyətinə həssaslığını və ikinci dərəcəli kəmiyyətlərə reaksiya verməməsini xarakterizə edir. Giriş kəmiyyətini qəbul etmə funksiyasını həssas element yerinə yetirir. Bu halda kəmiyyətin təbiəti müəyyənləşdirilir və onun qəbul olunması prosesi baş verir. Həssas element (HE) – ölçmə dövrəsində ölçmə çeviricisinin giriş kəmiyyətini qəbul edən hissəsidir. Həssas elementlərin əsası maddə (material) olub, o, giriş fiziki kəmiyyəti qəbul edir və müəyyən fiziki effektlərin köməyi ilə giriş kəmiyyətini sonrakı ölçmə dövrəsinə verilən siqnala çevirir. Ölçmə dövrəsi gücləndiricilərdən, bölücülərdən, modulyatorlardan və ölçmə siqnalını digər çevirmə qurğularından ibarət olur. Qeyd etmək lazımdır ki, ilkin ölçmə çeviricisi ixtiyari ölçmə vasitəsinin ölçmə dövrəsində ola bilər və verici olması mütləq deyildir. Ümumi halda verici dedikdə konstruktiv cəhətdən ayrılmış, bir və ya bir neçə giriş kəmiyyətini qəbul edən və onları ölçmə siqnallarına çevirən *ilkin çeviricilər çoxluğu* başa düşülür. Bundan sonra giriş fiziki kəmiyyəti qəbul edən və onu ölçmə siqnalına çevirən ölçmə qurğularını nəzərdən keçirdikdə *ilkin ölçmə çeviricisi* (İÖÇ) və *verici* terminləri istifadə olunacaqdır.

Elektrik kəmiyyətlərini elektrik kəmiyyətinə çevirən İÖÇ-nə şunt, əlavə müqavimət, düzləndirici, gücləndirici və s. aiddir.

Qeyri-elektrik kəmiyyətləri elektrik kəmiyyətlərinə çevirən İÖÇ-nə termoelektrik, tenzohəssas, fotoelektrik, reostat, pyzoelektrik və s. ölçmə çeviriciləri aiddir.

Maqnit kəmiyyətlərini elektrik kəmiyyətlərinə çevirmə İÖÇ-nə Φ maqnit selinin, B maqnit induksiyasının, H maqnit sahəsi gərginliyinin və s. ölçmə çeviriciləri aiddir. Bu qrupun tipik İÖÇ-ləri ferrozondlar, Holl sensorları, solenoidlər və s.-dir.

Tam mexaniki İÖÇ-nə membranlar, yaylar, lingli ötürmələr, reduktorlar və s. aiddir.

İÖÇ-nin xüsusi qrupunu əks və ya çevrilmiş İÖÇ təşkil edir. Onlar adətən elektrik kəmiyyətini qeyri-elektrik kəmiyyətinə çevirirlər.

Son zamanlar çoxfunksiyalı İÖÇ-lər geniş inkişaf və yayımlanma tapmışdır. Çoxfunksiyalı İÖÇ-lər (ÇFİÖÇ) məkanın çox kiçik həcmində cəmlənmiş bir neçə giriş fiziki kəmiyyət haqqında eyni zamanda siqnal yaratmağa imkan verirlər. Ona görə də ÇFİÖÇ-lər bir neçə fiziki kəmiyyətlərin təsiretmə zonasında bir sıra birləşmiş həssas elementlərin cəmindən ibarətdir. ÇFİÖÇ-lər eyni zamanda maraqlı doğuran informativ kəmiyyətlərə seçici və əsas olmayan kəmiyyətlərə qeyri-seçici olmalıdırlar.

Fiziki təbiətlərindən asılı olmayaraq, İÖÇ-nin ümumi xarakteristikalarını nəzərdən keçirək. Əvvəlki fəsilərdə İÖÇ-nin də aid olduğu ÖV-nin bir sıra ümumi xarakteristikalarına baxılmışdır. Bu xarakteristikalardan əlavə ədəbiyyatda İÖÇ-nin statik xarakteristikalarını təsvir etmək üçün ötürmə funksiyası və ya çevirmə tənliyi (funksiyası, statik xarakteristika); ölçülən və ya çevrilən qiymətlərin diapazonu (maksimal giriş siqnalı); çıxış qiymətləri diapazonu; dəqiqlik;

histerezis; qeyri-xəttilik; canlandırılma; həlletmə qabiliyyəti və digər anlayışlardan istifadə olunur.

Çevirmə funksiyası – vericinin çıxış signalı Y və xarici (giriş) təsir X arasında qarşılıqlı əlaqəni müəyyən edən ideal (nəzəri) ifadədir: $Y = f(X)$. Bu qarşılıqlı əlaqə cədvəl, qrafik və ya riyazi ifadə şəklində təsvir oluna bilər.

Ümumi halda $Y = f(X)$ çevirmə funksiyası xətti və qeyri-xətti ola bilər. Xətti olması arzuolunandır, çox halda isə qeyri-xətti olur. Həm də qeyri-xəttiliyin yaranma səbəbi bir neçə ola bilər, çox halda bu İÖÇ-nin işləmə prinsipinin əsaslandığı fiziki qanundur.

Beləliklə, İÖÇ-in çevirmə funksiyasının əsas xassələri aşağıdakılardır:

a) çevirmə funksiyasının qəbuletmə qabiliyyəti o deməkdir ki, İÖÇ elə konstruksiya edilməli və hazırlanmalıdır ki, bir neçə giriş kəmiyyətindən yalnız birindən təsirlənsin. Bu kəmiyyətə təbii giriş kəmiyyəti deyilir. Eyni zamanda İÖÇ ikinci dərəcəli signalara reaksiya verməməlidir. İkinci dərəcəli kəmiyyətlərə ətraf mühitin temperaturu T , rütubət W , təzyiq P və digər kəmiyyətlər aiddir. Temperaturun qiyməti məftilə, W isə izolyasiyaya və gövdəyə təsir edir.

b) çevirmə funksiyasının növü, qeyd etdiyimiz kimi, xətti və qeyri-xətti ola bilər.

c) çevirmə funksiyasının zaman ərzində stabilliyi.

İxtiyari İÖÇ-nin çevirmə funksiyası zaman ərzində sabit qalmır, burada xarici faktorların, köhnəlmənin və s. təsiri olur.

Ümumi halda ölçmə informasiyası aşağıdakı funksiya kimi müəy-yən olunur:

$$Y(t) = f[X(t), Z(t)] = f[*], \quad (4.1)$$

burada $Y(t)$ – çıxış signalı cəmi; $X(t)$ – giriş faydalı signalın cəmi; $Z(t)$ – həm girişə, həm çıxışa, həmçinin sensorun tərkib (daxili) hissələrinə təsir edən xarici mühit faktorlarının, zərərli signalın təsirini müəyyən edən küy və maneələrin cəmidir. $f[*]$ funksiyası İÖÇ-nin reallaşdırdığı çevirmə funksiyasıdır.

Birölçülü çevirmə funksiyası – çıxış signalını yalnız bir xarici təsirlə (bir giriş kəmiyyəti ilə) əlaqələndirən funksiyadır.

Çoxölçülü çevirmə funksiyası – çıxış signalını bir neçə xarici təsirlərlə əlaqələndirən funksiyadır.

Birölçülü ötürmə funksiyalı vericiyə termorezistiv verici, ikiölçülü ötürmə funksiyalı vericiyə isə çıxış signalı (gərginliyi) ölçülən T_x mütləq temperaturu ilə $U_{cix} = C(T_x^4 - T_s^4)$ asılılığı ilə əlaqədar olan infraqırmızı temperatur vericisi misal ola bilər; burada C – sabit, T_s – həssas elementin səthinin mütləq temperaturudur.

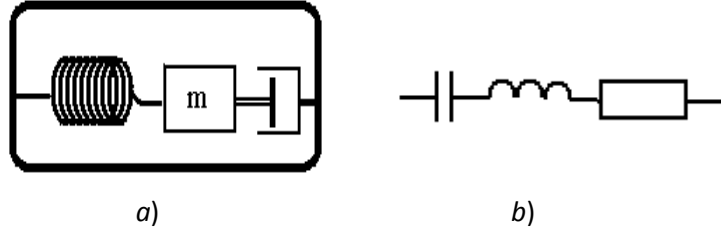
İlkin ölçmə çeviricilərinin dinamik modelləri

Müxtəlif çeviricilərin, o cümlədən İÖÇ-nin, mümkün ola bilən xarakteristikalarını təhlil etmək üçün statik və dinamik ola bilən riyazi modelləşdirmə istifadə olunur. Statik modelləşdirmə statik ötürmə funksiyalarının istifadə olunmasına əsaslanır. Dinamik xarakteristikaları qiymətləndirmə üsullarından biri çeviricinin (İÖÇ, verici) ayrı-ayrı elementlərə bölündüyü və hər elementin ayrılıqda nəzərdən keçirildiyi, sonra isə ayrı-ayrı elementlərin riyazi təsvirinin vahid modeldə birləşdirildiyi üsuldur. Dinamik modellərin

tərkibində mütləq *asılı olmayan də-yişən – zaman* olmalıdır.

Dinamik modellərin bəzi elementlərini nəzərdən keçirək.

Mexaniki elementlər. Dinamik mexaniki elementi yay və dempferləyici (sakitləşdirici) qurğu ilə birləşmiş kütlə (ətalətli komponent) şəklində təsvir etmək olar. Şəkil 4.5, *a* və 4.6, *a*-da qüvvə, təzyiq, təcil və s. vericilərin mexaniki modellərinin iki mümkün olan variantı göstərilir.



Səkil 4.5

Onlarda m kütləsi sərtlik əmsalı k olan yayla saxlanılır. Bu kütlənin hərəkəti sönmə (sakitləşdirmə) əmsalı b olan qurğu ilə dempferlənilir.

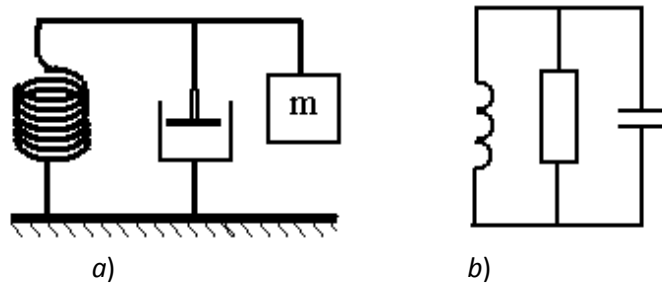
Şəkil 4.5, *a*-da göstərilən model üçün hərəkət vaxtı qurğuya $a = d^2x/dt^2$ təcili təsir edir, çıxış siqnalı isə kütlənin Y məsafəsinə meyilməsinə mütənəsbidir. Nütonun ikinci qanununa əsasən alarıq:

$$m \cdot a = -b \frac{dx}{dt} - kx, \quad (4.9)$$

sərbəst düşmə təcilini nəzərə aldıqda hərəkət tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = mg, \quad (4.10)$$

burada x – tərپənən hissənin sürüşməsi; g – sərbəst düşmə təcilidir.



Səkil 4.6

Şəkil 4.6, *a*-da göstərilən model üçün sistemə F qüvvəsi təsir etdikdə m kütləsinin hərəkət sürəti v yerə nəzərən aşağıdakı bərabər-likdən tapıla bilər:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} + bv + k \int v dt = F. \quad (4.11)$$

$v = dx/dt$ olduğu üçün mexaniki sistemin tərپənən hissəsinin hərəkət tənliyini alarıq:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F. \quad (4.12)$$

(4.10) və (4.12) tənlikləri ikinci tərtibli diferensial tənliklərdir və (4.8) tənliyinə ekvivalentdirlər. Belə vericilərin çıxışında arzu olunma-yan rəqsləri aradan qaldırmaq üçün k

sönmə əmsalını tənzim etməklə kritik sönmə vəziyyəti əldə edirlər.

İstilik elementləri. İstilik elementlərinə aşağıdakılar aiddir: istilik İÖÇ, qızdırıcı elementlər, radiatorlar, istilik uducuları və s. Ümumi halda ölçmə çevirici-ləri, o cümlədən vericilər də, müxtəlif qurğuların tərkib hissələridir. ÖÇ-nin xarakteristikalarını təhlil etdikdə çevirici və ətraf elementlər, qurğu-lar, mühit arasındakı istilik mübadiləsi proseslərini nəzərə almaq lazımdır. İstilik üç üsulla ötürülür: istilik keçiriciliyi, konveksiya və istilik şüalanması ilə. Cəmlənmiş parametrlı modeldə obyektin parametrini istilik balansını tənliyindən müəyyən etmək olar. Termodinamikanın bi-rinci qanununa görə onu aşağıdakı kimi yazmaq olar :

$$C \frac{dT}{dt} = \Delta Q, \quad (4.13)$$

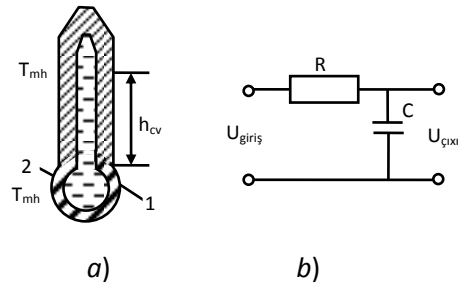
burada $C = mc$ – cismin istilik tutumu, C/K; m – cismin kütləsi, kq; c – cismin materialının xüsusi istilik tutumu, C/(kq·K); ΔQ – istilik axını intensivliyidir, Vt.

Cisimdən keçən istilik axınının intensivliyini xətti qəbul edərək, yazmaq olar:

$$\Delta Q = \frac{T_1 - T_2}{R}, \quad (4.14)$$

burada $T_1 - T_2$ – elementdə temperatur qradienti; R – istilik müqavimətidir, K/Vt.

Civəli termometrin misalında istilik elementinin davranışına baxaq (şəkil 4.7, a).



Səkil 4.7

Termometrin çıxış siqnalı 2 civə sütununun h_{cv} uzunluğunun dəyişməsi, giriş siqnalı isə ətraf mühitin ölçülən T_{mh} temperaturudur. He-sab etmək olar ki, belə termometrə civə sütununun uzunluğunun dəyişməsi 1 rezervuarında civənin T_{cv} temperaturunun dəyişməsinə düz mü-tənəsbidir, yəni çıxış kəmiyyəti kimi T_{cv} kəmiyyətini qəbul etmək olar.

Rezervuardakı civə ilə ətraf mühit arasında istilik mübadiləsi R istilik müqavimətli divarcıq (adətən şüşə) vasitəsilə yerinə yetirilir. Bu element üçün (4.13) və (4.14) tənliklərindən aşağıdakı birinci tərtibli diferensial tənlik alınır:

$$RC \frac{dT_{cv}}{dt} + T_{cv} = T_{mh}. \quad (4.15)$$

İstilik çeviricisinin pilləvari xarici təsirə çıxış reaksiyası istilik tutumunun istilik müqavimətinə hasilinə bərabər olan $\tau = RC$ istilik zaman sabiti ilə xarakterizə olunur. (4.15) tənliyi istilik vericiləri üçün tipik tənlikdir.

Elektrik elementləri. Üç əsas elektrik elementi vardır: kondensator, induktivlik sarğacı və rezistor. Elektrik elementlərindən ibarət olan sistemləri (elektrik sxemlərini) təsvir etmək üçün Kirxhofun *birinci* və *ikinci* qanunlarından geniş istifadə olunur. Şəkil 4.5, b; şəkil 4.6, b və 4.7, b-də göstərilən sxemlər belə sistemlərə misal ola bilər.

$L-C-R$ elektrik konturu üçün (şəkil 4.5, b) yazmaq olar:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = U . \quad (4.16)$$

Paralel elektrik konturu üçün (şəkil 4.6, b) aşağıdakı tənliyi yazmaq olar:

$$LC \frac{d^2 I_L}{dt^2} + \frac{L}{R} \frac{dI_L}{dt} + I_L = I . \quad (4.17)$$

(4.16) və (4.17) tənlikləri iki enerji toplayan elementli sistemi təsvir edən ikinci tərtibli xətti diferensial tənliyə ((4.8)tənliyi) uyğun gəlir.

Elektrik elementli birinci tərtibli sistemlərə misal şəkil 4.7, b -də göstərilir. Bu sistem aşağıdakı diferensial tənliklə təsvir olunur:








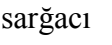

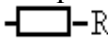
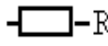
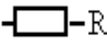
$$C \frac{dU_{cix}}{dt} + U_{cix} = U_{gir} \quad (4.18)$$

(4.18) tənliyi bir enerji toplayan elementli sistemin tənliyidir.

Elektrik analoqları. Yuxarıda gətirilən asılılıqlar göstərir ki, baxılan sistemi xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər arasında uyğun əlaqə olduqda mexaniki, istilik və elektrik elementləri eyni riyazi asılılıqlarla təsvir olunur. Bu əlaqə adətən *ekvivalentlik münasibəti* adlanır və bir sıra qeyri-elektrik fiziki sistemlərin davranışını *elektrik analoqunun* köməyi ilə təsvir etmək olur. Bu o deməkdir mexaniki və ya istilik elementi götürüb, onun üçün ekvivalent elektrik sxemi qurmaq və onu Kirxhof qanunlarının köməyi ilə təhlil etmək olar. Cədvəl 4.1-də mexaniki, istilik və elektrik sxemlərinin cəmlənmiş elementləri onların davranışını təsvir edən tənliklərlə birlikdə göstərilir.

Elektrik analoqları vericilərin, həmçinin obyekt və ətraf mühit arasındakı aralıq mexaniki və istilik elementlərinin parametrlərini qiymətləndirdikdə istifadə oluna bilərlər.

Cədvəl 4.1

Sxemlər			
Mexaniki	İstilik	Elektrik	
Kütlə  $F = m \frac{d(v)}{dt}$	Tutum  $Q = C \frac{dT}{dt}$	İnduktivlik sarğacı  $U = L \frac{di}{dt}$	Tutum  $i = C \frac{dU}{dt}$
Yay  $F = k \int v dt$	Tutum  $T = \frac{1}{C} \int Q dt$	Kondensator  $U = \frac{1}{C} \int i dt$	İnduktivlik sarğacı  $i = \frac{1}{L} \int U dt$
Dempfer  $F = bv$	Müqavimət  $Q = (T_2 - T_1) / R$	Rezistor  $U = iR$	Rezistor  $i = U / R$

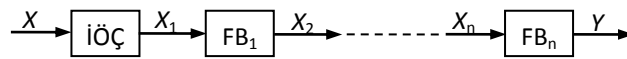
İlkin ölçmə çevirmələrin struktur sxemləri

İÖÇ-lərdə ölçmə çeviriciləri ilə alınan və bir fiziki kəmiyyətin ölçüsünün digər fiziki kəmiyyətin ölçüsü ilə əks olunmasından ibarət olan giriş və çıxış kəmiyyətləri arasındakı müxtəlif fiziki əlaqələrdən istifadə olunur. İÖÇ-nin giriş və çıxış kəmiyyətləri arasındakı fiziki

əlaqələr həm xətti, həm də qeyri-xətti ola bilər və bu İÖÇ-nin qurulması və işlənməsinin əsasını təşkil edən fiziki prinsiplə müəyyən olunur. İÖÇ-nin çevirmə funksiyasının qeyri-xəttiliyi səciyyəvi xətlərin yaranmasına və informasiyanın sonrakı emal olunma alqoritminin mürəkkəbləşməsinə səbəb olur. Bu çatışmazlıq İÖÇ-nin çevirmə funksiyasının xəttləşdirilməsi yolu ilə aradan qaldırılır. Çevirmə funksiyasını xəttləşdirmək üçün müxtəlif qeyri-xətti çevirmə və təshihəci düzəlişlər daxiletmə metodlarından istifadə olunur. Qeyri-xətti çevirmə metodundan istifadə etdikdə İÖÇ-nin çevirmə funksiyasına nəzərən əks olan qeyri-xətti asılılıq yaratmaq lazımdır. Təshihəci düzəlişlər daxiletmə metodu İÖÇ-nin qeyri-xətti və arzu olunan xətti xarakteristikaları arasındakı fərqdən ibarət olan düzəliş funksiyası yaratmağa əsaslanır. Qeyri-xətti funksiyanın dəqiq yaradılması texniki cəhətdən mürəkkəbdir. Ona görə də təcrübədə təxmini metodlardan istifadə olunur. Reallaşmasının sadəliyi və nisbətən yüksək dəqiqliyin birləşməsinə görə yaradılan funksiyanın kəsik-xətti (və ya kəsik qeyri-xətti) aproksimasiyası geniş yayılmışdır.

Ümumi halda İÖÇ-lərin müxtəlif tipləri müxtəlif təbiətli, səviyyəli və təsvir edilməli siqnallarla işləyirlər.

Çox halda ardıcıl dövrə strukturu istifadə olunur. Bu halda müxtəlif çevirmələr yerinə yetirən müxtəlif funksional bloklar ($FB_1 - FB_n$) İÖÇ-lə ardıcıl birləşdirilirlər (şəkil 4.8).



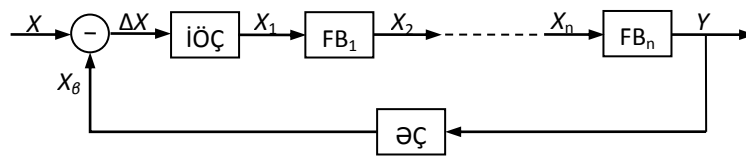
Şəkil 4.8

Şəkil 4.8-də verilən sxem düz çevirmə sxemi adlanır, X_1, X_2, \dots, X_n isə aralıq çevrilmiş kəmiyyətlərdir. Bütün struktur sxemin çıxış Y və giriş X kəmiyyətləri arasındakı əlaqə aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$Y = K \cdot X,$$

burada $K = K_S \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n$ – sxemin ümumi çevirmə əmsalı; $K_S, K_1, K_2, \dots, K_n$ – uyğun olaraq İÖÇ-nin (S) və FB-lərin çevirmə əmsallarıdır.

Daha yüksək metroloji xarakteristikalara kompensasiyalı çevirmə strukturu (şəkil 4.9) malikdir.



Şəkil 4.9

Kompensasiyalı çevirmə sxeminin əsasında müvazinətlənmə prinsipi durur, yəni girişdə iki eyni cinsli X və X_β kəmiyyətlərinin müqayisəsi (kompensasiyası) yerinə yetirilir. Bu kəmiyyətlərin fərqi

$$\Delta X = X - X_\beta.$$

Əks rəbitə dövrəsindəki ƏÇ əks çeviricisi İÖÇ-ni və FB-lərin hamısını əhatə edir.

$$\Delta X \rightarrow 0 \text{ olduqda, } X \rightarrow X_\beta.$$

Burada aşağıdakı iş rejimləri mümkündür:

1. Əgər qərarlaşmış rejimdə $\Delta X = 0$, onda tam kompensasiya baş verir. Bu astatik rejim adlanır.
2. Əgər $\Delta X \neq 0$, onda tam olmayan kompensasiya baş verir və rejim statik adlanır.

Kompensasiyalı çevirmə sxemi üçün çıxış Y və giriş X kəmiyyətləri arasındakı əlaqə aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$Y = \frac{K}{1 + K\beta} \cdot X .$$

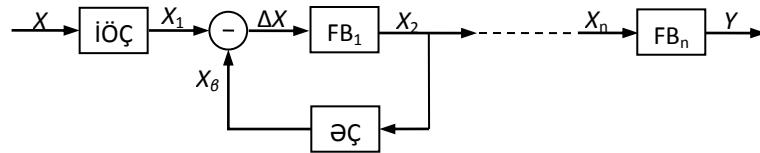
Deməli, çıxış Y kəmiyyəti giriş X kəmiyyətinə mütənasibdir və həm K -dan, həm də β -dan asılıdır. β – ƏÇ-nin çevirmə əmsalıdır. Əgər $K \gg 1$ şərti ödənilərsə, onda

$$Y = \frac{1}{\beta} \cdot X ,$$

yəni Y yalnız əks rabitə dövrəsinin çevirmə əmsalı β -dan asılı olur, K isə artıq sxemin işinə təsir etmir. Beləliklə, düz çevirmə dövrəsinin çevirmə əmsalı K -nın qeyri-stabilliyi sxemin işinə təsir etməyəcəkdir. Eyni zamanda β əmsalının və deməli, bütövlükdə sxemin stabilliyini təmin etmək çətin deyil. $K\beta$ -nın qiyməti nə qədər böyükdürsə, bir o qədər K sxemin işinə az təsir edir.

Qarışıq və ya kombinasiyalı çevrilməli sxemlərdən də istifadə olunur və onlar yuxarıda nəzərdən keçirdiyimiz düz və kompensasiyalı çevrilmə sxemlərinin birləşməsindən ibarətdir (şəkil 4.10).

İkikanallı sxemlərdən ibarət olan diferensial və loqometrik strukturlar da istifadə olunur. Bu halda kanallar eyni olmalı və eyni şəraitdə yerləşməlidir.



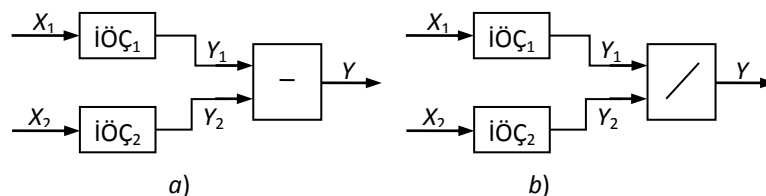
Şəkil 4.10

Şəkil 4.11, a-da göstərilən diferensial sxem üçün çıxış siqnalı

$$Y = f(Y_1 - Y_2) ,$$

xüsusi halda

$$Y = Y_1 - Y_2 .$$



Şəkil 4.11

Diferensial sxemlər iki tipli olur:

1) Ölçülən X_1 kəmiyyəti bir girişə təsir edir, eyni zamanda digər girişə həmin təbiətli, lakin sabit qiymətli X_2 fiziki kəmiyyəti təsir edir. İkinci kanal İÖÇ-nin işləmə şəraitinin

dəyişməsi yaranan xətləri kompensasiya etməyə xidmət edir.

2) Ölçülən kəmiyyət müəyyən çevrilmədən sonra hər iki kanala təsir edir. Bir kanalın girişində giriş kəmiyyəti artdıqca, digər kanalın girişində azalır. Tutaq ki, İÖÇ₁ və İÖÇ₂ xətti çevirmə funksiyalarına malikdirlər.

$$Y_1 = SX_1 + Y_0; \quad Y_2 = SX_2 + Y_0,$$

burada S – sxemin həssaslığı; Y_0 – müxtəlif növ maneələrin təsirindən yaranan çıxış siqnalının başlanğıc qiymətidir.

Diferensial sxemin çıxış kəmiyyəti bərabər olar:

$$Y = Y_1 - Y_2 = S(X_1 - X_2) .$$

Birinci tip sxemlər üçün $X_1 = X$; $X_2 = const = C$. Bu halda diferensial sxemin həssaslığı

$$S_d = \frac{dY}{dX} = S ,$$

əni bir kanalın həssaslığına bərabərdir.

İkinci tip diferensial sxem üçün $X_1 = X_0 + X$; $X_2 = X_0 - X$, həm də $X_0 = const$.

Deməli $S_d = 2S$, yəni bir kanalın həssaslığından iki dəfə çoxdur.

Şəkil 4.11, b-də göstərilən loqarifmik sxemdə də eyni şəraitdə yerləşən iki eyni kanal vardır, həm də $Y_1 = f(X_1)$ və $Y_2 = f(X_2)$.

Birinci və ikinci kanalların müntənasib çevrilmə funksiyalarında yazmaq olar:

$$Y_1 = KX_1; \quad Y_2 = KX_2 .$$

Loqarifmik sxem üçün çıxış kəmiyyəti

$$Y = F\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right) = F\left(\frac{X_1}{X_2}\right) .$$

Göründüyü kimi, Y kanalların həssaslığının dəyişməsi asılı deyildir. Bir sıra hallarda çevrilmə həssaslığı qidalandırma gərginliyindən çox asılı ola bilər və çox halda hesab etmək olar ki, o, həmin gərginliyə mütənasibdir. Belə asılılıq həssaslıq xətası (multiplikativ xəta) yaradır. Loqometrik sxem göstərilən xətanı azaltmağa imkan verir.

Vericilərin təsnifatı

Vericilər və ölçmə çeviriciləri müxtəlif prinsiplər əsasında təsnifat oluna bilər: təyinatı, çıxış siqnalının növü, təsir prinsipi və s. bunlar arasında vacibi vericinin iş prinsipidir (şəkl.2.1).

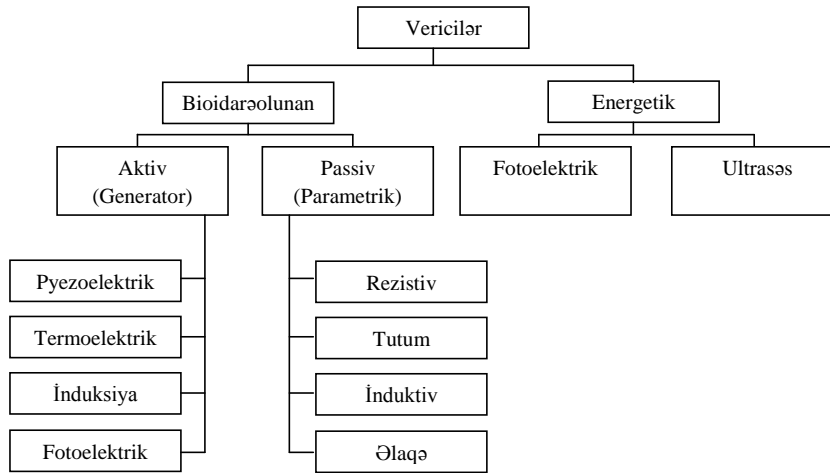
Bu meyar baxımından tibbi-bioloji informasiya vericiləri iki qrupa ayrılır: bioidarəolunan və energetik. Bioidarəolunan vericilər birbaşa ölçmə obyektindən daxil olan tibbi-bioloji informasiyanın təsirindən öz xarakteristikalarını dəyişirlər. Öz növbəsində bioidarəolunan vericilər aktiv (generator) və passiv (parametrik) olmaqla iki hissəyə ayrılırlar.

Aktiv vericilərdə ölçülən parametr birbaşa elektrik siqnalına çevrilir, yəni, ölçülən kəmiyyətin təsiri ilə aktiv vericilər özləri uyğun amplitud və tezlik hasil edirlər. Mahiyyət etibarilə miniaturun daxilində bioloji idarə prosesi gedir: obyekt vericinin işini idarə edir, onu elektrik siqnalı hasil etməyə və ya öz elektrik parametrlərini dəyişməyə vadar edir. Belə vericilərə pьezoelektrik, induksiya çeviriciləri, termoelementlər daxildir.

Passiv vericilər giriş kəmiyyətinin təsiri ilə öz elektrik parametrlərini dəyişirlər: müqavimət, tutum və ya induktivlik. Aktiv vericilərdən fərqli olaraq passiv vericilər çıxış gərginliyi və ya cərəyanının uyğun qiymətini almaq üçün elektrik dövrəsinə kənar qida mənbisi ilə qoşulur.

Belə vericilərə tutum, induktivlik, rezistiv, əlaqə vericiləri aid edilir.

Bioidarəolunanlardan fərqli olaraq energetik vericilər orqan və toxumalara aktiv təsir edirlər. Onlar tədqiq olunan orqanda belə demək olarsa zamana görə sabit, ciddi təyin edilmiş modulyasiya olunmayan enerji axını yaradırlar.



Şəkil 2.1. Biovericilər və ölçmə çeviricilərinin təsnifatı

Ölçülən parametr bu axının xarakteristikalarına təsir edir, onu parametrin öz dəyişmələrinə proporsional (mütənasib) olaraq modulyasiya edir. Energetik informasiya çeviricilərinin obyektə təsir və modulyasiya olunmayan enerji axını üçün mənbədə əlavə enerjiyə ehtiyacları vardır.

Tibbi elektron qurğuların tərkibinə daxil olan həssas element ya bilavasitə olaraq elektrik signalı generasiya edir, ya da öz elektrik parametrlərini bioloji sistemin təsiri ilə dəyişir.

Vericiləri sensorlar və ya ilkin ölçmə çeviriciləri də adlandırırırlar. Vericilərin əsas xarakteristikaları şəkil 2.2, 2.3-də verilir.

Rezistiv ilkin ölçmə çeviriciləri. Reostat, termorezistor vericiləri.

Hal-hazırda ölçmə texnikasında rezistiv ölçmə çeviriciləri (RÖÇ) ən geniş yayılmışdır. RÖÇ-nin işləmə prinsipi giriş kəmiyyəti dəyişdikdə onların elektrik müqavimətinin dəyişməsinə əsaslanır. RÖÇ-ə müxtəlif fiziki kəmiyyətlər – elektrik X_E ; maqnit X_{MAQ} ; mexaniki X_{MEX} ; istilik X_I ; optik X_{OP} ; kimyəvi X_{KIM} ; radio-aktiv X_{RAD} ; məkan X_{MK} ; zaman X_Z – təsir edir. Ümumi halda İÖÇ- nin çevirmə tənliyi aşağıdakı kimi olur:

$$R = F(X_E, X_{MAQ}, X_{MEX}, X_I, X_{OP}, X_{KIM}, X_{RAD}, X_{MK}, X_Z) \quad (4.19)$$

Fiziki təbiətinə görə müxtəlif olan giriş kəmiyyətlərinə RÖÇ-nin həssaslığı $S = \partial R / \partial X_i$ düsturu ilə hesablanır.

RÖÇ-ləri yaratdıqda R müqavimətinin bir giriş (az halda iki) kəmiyyətinin təsiri ilə dəyişməsinin baş verməsinə çalışırlar.

RÖÇ elektrodlu və uclu həssas elementdən və müxtəlif növ konstruktiv elementlərdən ibarətdir. RÖÇ-nin həssas elementi (HE) keçirici, yarımkeçirici və dielektrik materiallardan hazırlanır.

HE-nin materialı həm bütün istiqamətlərdə eyni elektrik müqavimətinə malik olan elektrik cəhətdən izotrop maddə, həm də müxtəlif istiqamətlərdə müxtəlif müqavimətlərə malik olan elektrik cəhətdən anizotrop maddə ola bilər.

Həssas elementlər aşağıdakı kimi hazırlana bilər: 1) bərk – müəyyən ölçülü və en kəsik

formalı müxtəlif tircik, borucuq, məftil, pylonka şəklində; 2) maye; 3) qazabənzər – müəyyən ölçülü və konstruksiyalı kameraya doldurulmuş həcm şəklində.

Adətən HE baza elementdə – karkasda yerləşdirilir. Xarici təsir-edici faktorlardan qorumaq üçün xüsusi örtüklər, qapaqlar, qılaflar şəklində qoruyucu elementlər istifadə olunur.

RÖÇ-nin əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır: 1) $R = f(X)$ dərəcələmə (çevirmə tənliyi) xarakteristikası; 2) giriş kəmiyyətinə həs-saslıq $S = dR/dX$; 3) R_0 müqavimətinin başlanğıc qiyməti ($T = 0$ və ya 20^0 C olduqda); 4) nominal müqaviməti R_N ; 5) buraxılabilən xətası; 6) buraxılabilən zaman qeyri-stabilliyi (adətən il ərzində); 7) nominal gücü; 8) müqavimətin temperatur əmsalı MTƏ; 9) çevirmə diapazonu; 10) zaman sabiti; 11) xüsusi küylərin səviyyəsi; 12) həddi işçi gərginlik U_m .

Həddi işçi gərginlik:

$$U_m = \sqrt{P_N R_N},$$

burada P_N və R_N – gücün və müqavimətin nominal qiymətləridir.

Rezistiv İÖÇ-lərdəki küylərə aşağıdakılar aiddir:

a) *cərəyan küyləri* – onlar praktiki olaraq dənəvər struktur nəticəsində, yəni məftil olmayan rezistorlarda yaranır. Onların səviyyəsi aşağıdakı nisbətə - U_{ck}/U , yəni cərəyan küyləri gərginliyi (U_{ck}) qiymətinin rezistora tətbiq olunan U gərginliyinin qiymətinə olan nisbətə bərabərdir;

b) *istilik küyü* – bu küyü Conson küyü adlandırılır. İstilik küyü termodinamik hadisələrdən yaranır. Rezistorlarda H_p istilik küyləri olduqda müəyyən gərginlik yaranır ki, bu da Naykvist tənliyinə görə müəyyən olunur.

$$U_T = \sqrt{4\theta R K \Delta f},$$

burada K – Bolsman sabiti; θ – mütləq temperatur; Δf – işçi tezlik zolağı; R – rezistorun müqavimətidir.

H_p istilik küyü öz təbiətinə görə ağ küydür. Ağ küy halında zolağı sonlu qəbul etmək olar. Əks halda alırıq ki, güc sonsuzdur və ya spektral güc sıfıra bərabərdir;

c) *elektrik küyü* – bu küy elektron cihazlı sistemdə elektrik cərəyanının fluktuasiyalı dəyişmələrindən ibarətdir ;

ç) *kəsilmə küyü* – bu küy elektron və ion emissiyası cərəyanının fluktuasiyası ilə müəyyən olunur və səthin strukturunun dəyişməz vəziyyətində elektron və ionların emissiyasının miqdarının fasiləsiz dəyişməsindən yaranır ;

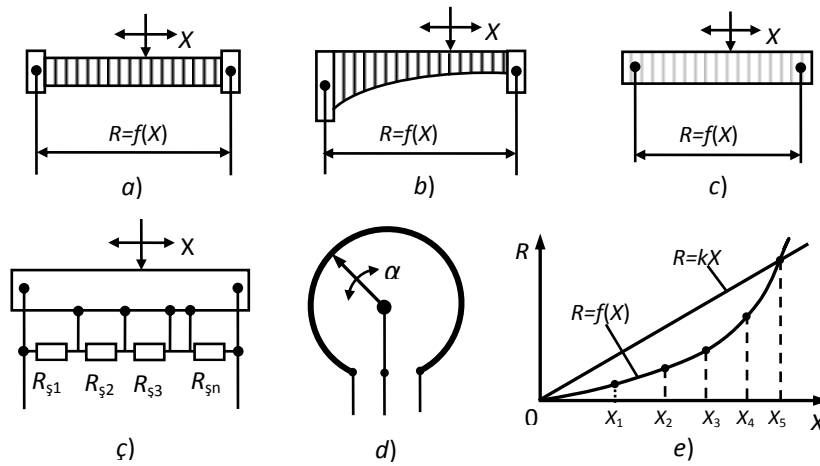
d) *akustik küy* – burada qeyri-müəyyən ucalıqlı səs küyləri nəzərdə tutulur .

Rezistiv vericilərin ən çox tətbiq olunan qrupları aşağıdakılardır:

- reostat;
- termorezistor;
- tenzorezistor;
- fotorezistor;
- maqnitrezistor.

Tipindən asılı olaraq onların çevirmə funksiyaları müxtəlif ola bilər. Ümumi üstünlükləri konstruksiyalarının sadəliyi, kiçik çəki-ölçü göstəriciləri, texnologikləri və s. Beləliklə onlarda R dəyişən (var) olur, nominal qiymətlər diapazonu çox genişdir (1/10 Omlardan – 10^7 Om-a qədər).

Reostat vericiləri. Bunlarda $R = f(X)$ asılılığında X xətti və ya bucaq yerdəyişməsidir. Çevirmə funksiyası xətti və qeyri-xətti ola bilər (şəkil 4.13, e). İkinci halda İÖÇ funksional adlanır.



Şəkil 4.13

a) xətti xarakteristikalı İÖÇ-də sürüncək iki istiqamətdə hərəkət edə bilər. Bu halda çevirici müntəzəm sarğılı olur. Xarici təsirlərdən qorunmaq üçün sürüncəcin yerdəyişmə hissəsindən başqa çeviricinin üzərinə xüsusi material (lak) çəkilir (şəkil 4.13, a);

b) funksional İÖÇ; burada tələb olunan funksiya karkasın profilindən asılıdır (loqarifmik, parabolik və s.). Lakin profilin dəqiq hazırlanması və belə karkasa dolaqların sarınması müəyyən çətinliklər yaradır. Ona görə də şəkil 4.13, b variantı əvəzinə çox halda dolanma addımının dəyişdirilməsindən (şəkil 4.13, c) və ya R -in müəyyən hissələrini kiçik R_{s1}, R_{s2}, \dots şuntlayıcı müqavimətləri vasitəsilə şuntlamadan (şəkil 4.13, ç) istifadə olunur. Həmçinin bucaq yerdəyişməsi də geniş istifadə olunur (şəkil 4.13, d).

Lakin bu çeviricilər aşağıdakı çatışmazlıqlara malikdirlər:

1) sürtünən kontaktın olması. O, zaman ərzində sürtünür, silinir, oksidləşir və yanır. Bu çatışmazlığı azaltmaq üçün sürüncəcin kontaktlarına xüsusi metal qaynaq edirlər və o, yeyilməyə az məruz qalır;

2) reostat çeviricisinin müntəzəm sarınması halında, yəni çeviricinin xətti xarakteristikası halında diskretlik xətası:

$$\delta = \frac{\Delta R_{\min}}{2R} = \frac{1}{2w},$$

burada ΔR_{\min} – çeviricinin bir sarğısının müqaviməti; R – tam müqavimət; w – dolağın sarğılar sayı.

Ölçmə dövrləri kimi dəyişən və sabit cərəyan dövrlərindən istifadə olunur. Belə sxemlərin qidalanma gərginlikləri adətən stabilləşdirilir. Onlara həm idarə olunan gərginlik bölücüsü, həm də körpü ölçmə sxemləri aiddir.

Termorezistor. Termorezistiv İÖÇ-nin iş prinsipi temperaturun təsirindən keçiricilərin, yarımkəçiricilərin və dielektriklərin müqavimətlərinin dəyişməsinə əsaslanır. Keçirici və yarımkəçirici maddələrin temperaturu dəyişdikdə onların xüsusi müqaviməti dəyişir (termorezistiv effekt). Bundan başqa temperatur dəyişdikdə bu maddədən (materialdan) olan nümunənin ölçüləri dəyişir. Bu faktorlar keçirici və yarımkəçirici nümunələrin müqavimətinin onların temperaturu dəyişdikdə dəyişməsinə səbəb olur. Əgər materialın müqavimətinin temperaturdan asılılığı məlum və təkrar olunandırsa, ondan temperaturu ölçmək üçün istifadə etmək olar və bununla da temperaturu ölçməkdən müqaviməti ölçməyə keçmək olar.

Termorezistiv çeviricilərdə əsasən metal keçirici və yarımkəçirici materiallar istifadə olunur. Keçirici metal termorezistiv çeviriciləri başqa cür *müqavimət termometrleri*, polikristal materialdan olan yarımkəçirici termorezistorları isə çox halda *termistor* adlandırılırlar. Termorezistiv İÖÇ-nin (sonralar termorezistorların) materialları aşağıdakılara: müqavimətin temperatur əmsalının (MTƏ) böyük qiymətinə; MTƏ-nin zaman ərzində işçi temperaturlar diapazonunda stabilliyinə; xüsusi müqavimətinin böyük qiymətinə; müxtəlif mühitlərin təsirinə

ətalətliliyə malik olmalıdır.

a) keçirici metal termorezistiv vericilər

Ümumi halda təmiz metalların müqavimətinin temperaturdan asılılığı n -dərəcəli çoxhədli ilə təsvir olunur :

$$R_T = R_0(1 + \alpha_1\Delta T + \alpha_2\Delta T^2 + \alpha_3\Delta T^3 + \dots), \quad (4.20)$$

burada R_T – T temperaturunda keçiricinin müqaviməti; R_0 – müəyyən etalon T_0 temperaturunda, məsələn $T_0 = 273K$ ($0^\circ C$)-də müqavimət; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ – müqavimətin materialının üstlü temperatur əmsal-ları; $\Delta T = T - T_0$.

Dar temperatur diapazonunda metal keçiricilərin müqavimətinin temperaturdan asılılığı xəttiyyə yaxındır və onun təsviri üçün (4.20) çoxhədlisinin ilk iki həddini istifadə etmək kifayətdir.

Materialların T temperaturuna həssaslığı onların elektrik MTƏ -nin qiyməti ilə xarakterizə olunur. O, ümumi halda $MT\Theta = \alpha_R = \partial R / \partial T$, $[1/K]$ kimi müəyyən olunur. Kimyəvi təmiz metalların əksəriyyəti üçün $0 \div 100^\circ C$ temperatur intervalında $MT\Theta = (3 \div 6,8) \cdot 10^{-3} K^{-1}$.

Metal termorezistiv vericilər üçün material kimi çox halda platin, mis və nikel tətbiq olunur. Keçirici termorezistiv vericiləri müqavimət termometrleri adlandırılır.

Mis termorezistiv vericilərin çevirmə tənliyi – 50 -dən $+ 180^\circ C$ temperatur intervalında xətti asılıqla ifadə oluna bilər:

$$R_T = R_0(1 + \alpha_R T), \quad (4.21)$$

burada $\alpha_R = 4,26 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ – misin müqavimətinin temperatur əmsalı; R_0 – $0^\circ C$ -də müqavimət; T – temperaturdur, $^\circ C$.

Mis termorezistiv vericinin həssaslığı bu diapazonda $S = \alpha_R R_0$ kimi tapılır.

Mis müqavimət termometrleri – 200 -dən $+ 200^\circ C$ temperatur diapazonunda tətbiq olunur. Fərdi dərəcələmə halında onlardan – $260^\circ C$ temperatura qədər istifadə etmək olar.

Mis termorezistorların çatışmayan cəhəti $T > 180^\circ C$ temperatur-larda onların güclü oksidləşməsidir, bu da onların temperatur diapazo-nunu məhdudlandırır.

Platin termorezistorların çevirmə tənliyi 0 -dan $+ 650^\circ C$ -yə qədər temperatur diapazonunda aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunur:

$$R_T = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2), \quad (4.22)$$

burada R_0 – $0^\circ C$ -də müqavimət; $\alpha_1 = 3,90784 \cdot 10^{-3} K^{-1}$; $\alpha_2 = 5,7841 \cdot 10^{-7} K^{-2}$; T – temperatur, $^\circ C$.

Bu diapazonda həssaslıq $S = R_0(\alpha_1 + \alpha_2 T)$ kimi tapılır.

Platin termorezistorun müqavimətinin 0 -dan $- 200^\circ C$ -yə qədər temperatur diapazonunda temperaturdan asılılığı aşağıdakı kimi müəyyən olunur :

$$R_T = R_0[1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 (T - 100)], \quad (4.23)$$

burada $\alpha_3 = - 4,482 \cdot 10^{-12} K^{-4}$.

Platin müqavimət termometrleri – 263 -dən $+ 1100^\circ C$ -yə qədər temperatur diapazonunda tətbiq olunurlar.

Nikel müqavimət termometrleri müqavimətin temperatur əmsalının yüksək qiyməti ilə ($MT\Theta = 6,28 \cdot 10^{-3} K^{-1}$), $- 200$ -dən $+ 300^\circ C$ -yə qədər diapazonda temperaturdan praktiki olaraq xətti asılıqla xarakterizə olunurlar.

Nikel müqavimət termometrleri – 200 -dən $+ 500^\circ C$ -yə qədər temperatur diapazonunda tətbiq olunurlar.

Çatışmayan cəhəti yüksək temperaturlarda nikelin oksidləşməsi-dir, bu da işçi temperatur diapazonunu $+250^\circ C$ -yə qədər məhdud-landırır.

Yüksəksürətli qaz axınlarında temperaturu ölçmək üçün müqavimətinin temperaturdan

asililiğinin xəttilyə yaxın olması ilə xarakte-rizə olunan *volfram termorezistorlar* tətbiq olunur. Ölçmə diapazonu $+ 600^{\circ}\text{C}$ temperatur ilə məhdudlanır.

Volfram termorezistorların üstün cəhəti həssas elementin karkas-sız sarınmasıdır.

3,5 K-ya qədər aşağı temperaturlar sahəsində müqavimətinin temperaturdan asılılığı :

$$R = A + BT^5 \quad (4.24)$$

ifadəsi ilə müəyyən olunan *indium termorezistorlar* tərbiq olunur; burada A və B – reper nöqtələrində termorezistorun etalonlaşmasından alınan sabitlərdir.

$+ 2000^{\circ}\text{C}$ -yə qədər yüksək temperaturları ölçmək üçün *qızıl-gümüş və platin-palladium ərintiləri* əsasında olan termorezistorlar tət-biq olunur.

Metal termorezistorların üstünlüklərinə yüksək stabillik və xarak-teristikalarının təkrarlanması aid edilə bilər.

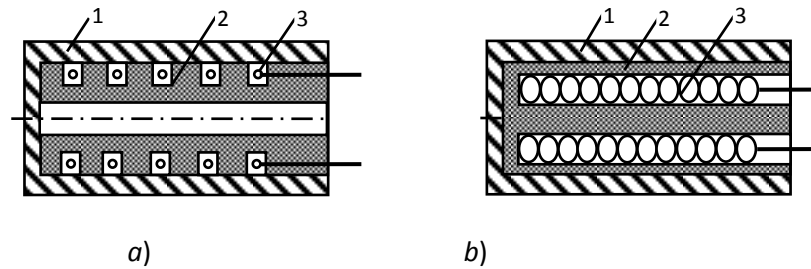
Metal müqavimət termometrlərinin həssas elementlərinin kons-truksiyalarının müxtəlif variantları vardır. Keçirici termorezistiv verici-lər nazik plyonkalı və məftildən hazırlanır.

Nazik plyonkalılar platinin və ya onun ərintilərinin nazik təbəqə-sinin uyğun altqatının, məsələn, qalınlığı $1 \div 2$ mkm keramik əsasın və ya silisiumdan kiçik membranın üzərinə yandırma və ya başqa üsulla çəkilməklə hazırlanırlar. Plyonkanın eni $0,1 \div 0,2$ mm və uzunluğu $5 \div 10$ mm olduqda vericinin müqaviməti $200 \div 500$ Om olur . Uzun-luğunun eninə yüksək nisbətini təmin etmək üçün plyonka vericilər çox halda serpantin strukturlu hazırlanır. Plyonkanın altqatına hər iki tərəfdən çəkildiği vericilər temperatur qradientini ölçmək üçün isti-fadə olunur və həssaslıq astanası $(1 \div 5) \cdot 10^{-5}$ K/m olur.

Məftil müqavimət termometrlərinin həssas elementləri induksi-yasız sarğı şəklində hazırlanır və karkassız və ya karkaslı ola bilər . Metal müqavimət termometrlərinin konstruksiyalarının variantları şəkil 4.14-də göstərilir.

Müqavimət termometrinin (şəkil 4.14, *a*) həssas elementi induksi-yasız sarğı, məsələn, 2 izolyatorundan olan karkas üzərində yerləşən 3 mis məftildən ibarətdir. Sarğı nazik divarlı 1 metal korpus daxilində yerləşdirilir.

Platin müqavimət termometrinin həssas elementi çox halda bir ne-çə (məsələn, iki və ya dörd) ardıcıl birləşmiş 3 platin spirallardan yara-dılır (şəkil 4.14, *b*). Spirallar 1 korpusunun daxilindəki izolyatorndan olan iki və ya dördkanallı karkasın kanallarında yerləşdirilir.



Səkil 4.14

Əksər məftil termorezistorların həssas elementlərində uzunluğu başlanğıc müqavimətin qiyməti ilə müəyyən olunan $(0,05 \div 0,1)$ mm diametrli metal məftil istifadə olunur.

b) məftil termorezistiv İÖÇ-in əsas xarakteristikaları

Metal termorezistiv vericilərin xarakteristikalarına aşağıdakılar aiddir: çevirmə tənliyi, həssaslıq, nominal müqavimət, istilik zaman sa-biti, xətalər.

Termorezistorların mühüm xarakteristikalarından biri onların isti-lik ətalətini xarakterizə edən τ *istilik zaman sabitidir*:

$$\tau = C/(\xi s) , \quad (4.25)$$

burada C – termorezistorun istilik tutumu; ξ – istilik vermə əmsalı; s – termorezistiv vericinin səthinin sahəsidir.

Zaman sabiti τ – termorezistiv vericini temperaturu 0°C olan mühitdən temperaturu 100°C olan hava mühitinə keçirdikdə onun temperaturunun 63°C -yə qədər artması müddətidir. Müxtəlif kon-struksiyalar üçün τ saniyənin onda birlərindən onlarla saniyəyə bərabər olur.

Nominal müqavimət – termorezistorun etalon T_0 temperaturunda müqavimətidir. Məftil termorezistiv İÖÇ üçün nominal müqavimət R_0 adətən $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$ -də müəyyən olunur.

Buraxılış sinfi – müqavimətin 0°C -də nominal qiymətdən buraxılılabılən meylini müəyyən edir.

Sənayedə istehsal olunan platin, mis və nikel müqavimət termo-metrləri ümumi halda həssas elementdən, qoruyucu armaturdan və sı-xaclı çevirici başlıqlarından ibarət olur. Standarta uyğun olaraq üç bu-raxılış sinifli və aşağıdakı nominal statik çevirmə xarakteristikalı müqavimət termometrləri istehsal olunur: platin – 1P, 5P, 10P, 50P, 100P, 500P; mis – 10M, 50M, 100M.

Termoçeviricinin tipindəki və dərəcələmə xarakteristikasındakı şərti işarələrin həriflərinin mənası: T – termometr; C – müqavimət; P – platin; M – mis; N – nikel; ədəd isə 0°C -də termometrin müqavimətini göstərir.

Cədvəl 4.2-də bəzi müqavimət termometrlərinin standarta görə buraxılış sinifləri göstərilir.

Cədvəl 4.2

Çeviricinin nominal statik xarakteristikasının şərti işarəsi		Bura-xılış sinfi	0°C -də müqavimətin nominal qiyməti, R_0 , ΩM	0°C -də müqavimətin nominal qiymətdən buraxılılabılən meyletməsi	
MDB ölkələrində	Beynəlxalq			$\pm\%$	$\pm\Omega\text{M}$
50Π	Pt50	A	50	0,05	0,025
100 Π, 100M	Pt100, Cu100		100		0,05
50Π, 50M	Pt50, Cu50	B	50	0,1	0,1
100Π, 100M	Pt100, Cu100		100		
50Π, 50M	Pt50, Cu50	C	50	0,2	0,2
100Π, 100M	Pt100, Cu100		100		

Metal müqavimət termometrlərinin (MT) xarakteristikalarından biri MT-nin 100°C temperaturdakı müqavimətinin (R_{100}) 0°C -dəki müqavimətinə (R_0) nisbəti olan W_{100} -dür. $W_{100} = R_{100}/R_0$. Standarta uyğun olaraq platin müqavimət termometrləri üçün $W_{100} = 1,3910$ (beynəlxalq qiyməti – 1,3850), misdən olanlar üçün $W_{100} = 1,4280$ (beynəlxalq qiyməti – 1,4260) və nikeldən olanlar üçün $W_{100} = 1,6170$.

Nikel müqavimət termoçeviriciləri C buraxılış sinfinə malikdirlər ($\Delta R/R_0 = \pm 0,24\%$).

Sənaye müqavimət termometrlərinin çatışmayan cəhəti τ istilik zaman sabitinin böyük qiymətli və ölçülərinin böyük olmasıdır. Müxtəlif tipli rezistorlar üçün istilik sabiti vahidlərdən onlarla saniyəyə qədər qiymətlər alır.

c) *yarımkəçirici termorezistiv İÖÇ*

Yarımkəçiricinin müqavimətinin dəyişməsi əsasən sərbəst yük daşıyıcılarının sayının dəyişməsi ilə əlaqədardır. Temperatur nə qədər yüksək olarsa, bir o qədər valent zonasından böyük sayda elektronlar qadağan olunmuş zonanı aşır və keçiricilik zonasına düşür (və ya aktivlənmiş akseptor və ya akseptor atomlarının sayı artır).

Yarımkəçirici termorezistiv vericilərin temperaturdan asılılığı aşağıdakı ifadə ilə ən yaxşı təsvir olunur :

$$R = R_0 \cdot e^{-(\alpha_T \cdot \Delta T)} = R_0 \left(1 - \alpha_T \cdot \Delta T + \frac{\alpha_T^2 \cdot \Delta T^2}{2} + \dots \right), \quad (4.26)$$

burada R_0 – başlanğıc T_0 temperaturundakı müqavimət; $\Delta T = T - T_0$; α_T – sabit əmsal, $1/\text{K}$.

Yarımkəçirici termorezistorun müqaviməti aşağıdakı düstura görə də tapıla bilər:

$$R = A \cdot e^{B/T}, \quad (4.27)$$

burada A – termorezistorun materialını və konstruksiyasını xarakterizə edən əmsal; B – materialı xarakterizə edən əmsaldır.

A və B əmsalları da temperaturdan asılıdır, ona görə də daha dəqiq ifadə belə olur:

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{B(1/T - 1/T_0)}, \quad (4.28)$$

burada T_0 – başlanğıc temperatur, K; R_{T_0} – T_0 temperaturundakı müqavimət; B – materialın xarakteristik temperaturudur, K.

Yarımkəçirici termorezistiv İÖÇ-lərinin əksəriyyəti üçün B -nin qiyməti 2000-dən 5000 K hədlərində yerləşir və dar zona hədlərində temperaturdan asılı olmayan hesab oluna bilər.

Ümumi halda yarımkəçirici termorezistiv vericilərin müqaviməti-nin temperatur əmsalı temperaturdan asılıdır və aşağıdakı düstura görə təyin olunur:

$$\alpha_R = \frac{1}{R_T} \frac{dR(T)}{dT} = -\frac{B}{T^2}. \quad (4.29)$$

300 K temperaturda yarımkəçirici termorezistorun həssaslığı me-tal termorezistorlarından 10 dəfə və daha çox olur.

Yarımkəçirici termorezistiv İÖÇ-nin çatışmayan cəhətləri: çevir-mə xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi, nümunədən nümunəyə nominal müqavimətin qiymətinin və B sabitinin böyük hədlərdə dəyişməsidir.

Yarımkəçirici termorezistiv İÖÇ-nin materialı kimi aşağıdakılar istifadə olunur: 1) monokristal yarımkəçiricilər (Si, Ge); 2) yarımkəçirici birləşmələr.

Müsbət MTƏ-yə malik olan rezistiv temperatur vericiləri hazır-lamaq üçün n -tip qarışıqlarla aşqarlanmış silisium geniş istifadə olunur.

Tipik silisium verici n -tip silisium kristalından ibarət olub, ölçüləri bir neçə yüz mikrometrdən ($200 \div 500$ mkm) artıq olmur və qarşı tərəflərdə kontaktlar yerləşir. Belə vericilərin həssaslığı bir dərəcə Selsiyə faizin onda birlərinə bərabər olur, yəni temperatur 1°C dəyişdikdə onların müqaviməti bir neçə onda bir faiz dəyişir.

Müsbət MTƏ sahəsində vericinin ötürmə funksiyasını ikinci tərtibli çoxhədli ilə aproksimasiya etmək olar :

$$R_T = R_0[1 + A(T - T_0) + B(T - T_0)^2], \quad (4.30)$$

burada R_0 və T_0 – etalon nöqtədə ölçülmüş müqavimət, Om; və temperatur, K; A və B – sabit əmsallardır.

Hal-hazırda silisium termorezistiv vericilər temperaturu və temperatur kompensasiyasını ölçmək üçün geniş istifadə olunur. Müsbət MTƏ-li vericilərin yuxarı ölçmə həddi $+200^\circ\text{C}$ -dən artıq olmur, aşağı həddi mənfi temperaturlar hissəsindədir və qiyməti bir neçə onlarla Selsi dərəcəsinə bərabərdir (məsələn, KTY-81 vericisinin işçi diapazonu $-55 \dots +150^\circ\text{C}$ -dir).

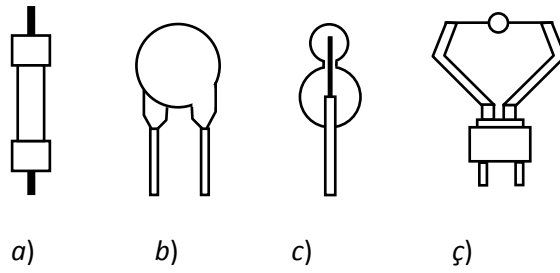
Monokristal yarımkəçiricilərdən (germanium, silisium) olan termorezistorlar MTƏ-nin böyük qiyməti, xarakteristikalarının yaxşı təkrarlanması və geniş temperatur intervalında stabilliyi, istilik zaman sabitinin kiçikliyi ilə xarakterizə olunur.

Yarımkəçirici termorezistorların hazırlanması üçün ən çox periodik sistemin keçid qrupunun metallarının oksidlərinin qarışıqları (məsələn MnO_3 , misin CuO , nikelin NiO , kobaltın CoO_4 və s. oksidlərinin qarışıqları) əsasında olan *çoxkristallı materiallar* tətbiq olunur.

Bir qayda olaraq yarımkəçirici termorezistorlar mənfi MTƏ-yə malikdirlər. Müsbət MTƏ-yə ($\alpha_R \approx 0,3 \div 0,5 \text{ K}^{-1}$) malik olan "pozistor-lar" istisna təşkil edirlər. Pozistorlar seqnetoparelektrik faz keçidi hissəsi yaxınlığında xüsusi müqavimətinin anomal artımı ilə xarakterizə olunan seqnetelektrik yarımkəçiricilərdən hazırlanır. Dəqiq ölçmələr aparmaq üçün yalnız mənfi MTƏ-li termistorlar istifadə olunur.

Konstruksiv cəhətdən yarımkəçirici termorezistiv vericilər ən müxtəlif formalı ola bilər. Həssas element mil (şəkil 4.15, a), disk (şəkil 4.7, b), şayba (şəkil 4.15, c), kürəcik (kiçik

muncuq, şəkil 4.15, ç), plynka və digər formalarda olur. Rütubətdən və digər faktorlardan qorumaq üçün onlar lak təbəqəsi və ya şüşə ilə örtülür, onları germetik şüşə balon və ya korpusda yerləşdirirlər.



Səkil 4.15

ç) yarımkeçirici termorezistiv İÖÇ- nin əsas xarakteristikaları

Yarımkeçirici termorezistiv vericilərin xarakteristikalarına çevirmə tənliyi, həssaslıq, nominal müqavimət, istilik zaman sabiti, xətlər və s. aiddir.

Yarımkeçirici termorezistiv vericilərin çevirmə tənliklərini yuxarıda nəzərdən keçirmişdik.

Nominal müqavimət – etalon T_0 temperaturunda termorezistiv vericinin müqavimətidir. Yarımkeçirici termistorlar üçün R_0 nominal qiyməti kimi $T_0 = 20^\circ\text{C}$ -dəki müqavimət qəbul olunur, bir neçə tip termistorlar üçün R_0 $T_0 = 150^\circ\text{C}$ temperaturda müəyyən olunur (məsələn, KMT4 termorezistoru üçün).

Buraxılış sinfi – 20°C -də müqavimətin nominal qiymətdən buraxılışla bilən meyletməsini müəyyən edir.

Termorezistorların MTƏ-si – $(0,02 \div 0,04) \text{ K}^{-1}$ qiymətinə bərabərdir; nominal R_0 müqaviməti $0,1$ -dən 10^7 Om qiymətli olur; R_0 müqavimətinin nominal qiymətdən buraxılışla bilən meyletməsi 10 -dan 20% -ə qədərdir; xəta $1-2\%$, diapazon -100 -dən $+300^\circ\text{C}$ -yə qədər, istilik zaman sabiti saniyənin onda birlərindən onlarla saniyələrə qədər olur.

Bəzi yarımkeçirici termorezistorların əsas xarakteristikaları cədvəl 4.3-də göstərilmişdir.

Cədvəl 4.3

Tip	20°C -də R_0 -in həddi, kOm	Buraxılışla bilən meyletmə, $\Delta R/R_0$, %	MTƏ, $^\circ\text{C}$, 20°C -də %/	İşçi temperatur diapazonu, $^\circ\text{C}$	τ , san
MMT-8	0,001...1,0	10	2,4 ... 4,0	-40 ... +70	-
KMT-1	22...1000	20	4,2 ... 8,4	-60 ... +180	35
KMT-4	0,51...7500 150°C -də	30	2,3 ... 3,9 150°C -də	-10 ... +300	-
CT1-17	0,3...22	10, 20	-	-60 ... +100	30
CT3-18	0,033 ... 0,33	-	-	-60 ... +300	-
CT3-19	2,2...15	20	-	-100 ... +125	-

**Maqnitrezistiv ilkin ölçmə çeviriciləri,
Tenzorezistor, fotorezistor.**

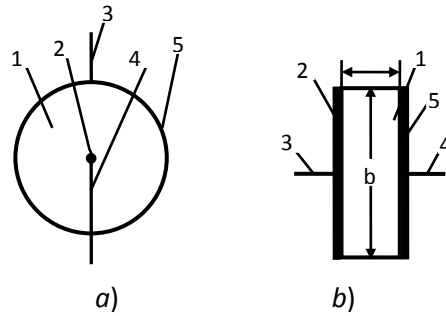
Maqnitrezistiv çeviricilərin işləmə prinsipi maqnit sahəsinin təsiri altında keçiricilərin və yarımkeçiricilərin xüsusi müqavimətinin dəyişməsinə – Qauss effektinə əsaslanır.

Qeyd etmək lazımdır ki, uzununa effekt halında maqnit müqaviməti az dəyişir və maqnitrezistiv İÖÇ yaratmaq üçün əsasən eninə Qauss effekti tətbiq olunur.

a) maqnitrezistiv İÖÇ-in materialları və konstruksiyaları

Maqnitrezistiv çeviricilərin həssas elementlərinin materialları ki-mi təmiz metallar (məsələn, vismut), yarımkeçirici birləşmələr (məsələn, indium antimonidi), ferromaqnetiklər istifadə oluna bilər. Təmiz metallar maqnit əmsalının nisbətən kiçik qiyməti ilə xarakterizə olunurlar (məsələn, vismut üçün $\alpha_V \approx 1$), ona görə də hal-hazırda Qauss effektinə əsaslanan maqnitrezistiv İÖÇ yarımkeçirici materiallardan (məsələn, InSb , InAs yarımkeçirici birləşmələrdən) hazırlanırlar. İndium antimonid InSb və nikel antimonid NiSb evtektik ərintisi geniş tətbiq olunur.

Maqnitrezistiv İÖÇ-in həssas elementi müxtəlif konfigurasiyalı yaradıla bilər: Korbino diski şəklində (şəkil 4.16, a); a/b ölçüləri nisbətinin kiçik olduğu lövhə şəklində (şəkil 4.16, b).



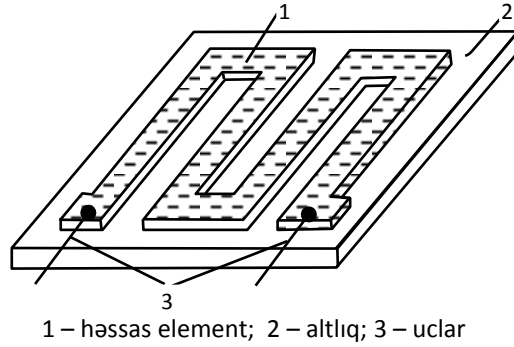
Səkil 4.16

Həssas elementi yarımkeçirici materialdan (məsələn, InSb və ya InAs -dən) disk formasında olan maqnitrezistiv çeviricilər başlanğıc müqavimətin kiçik qiyməti (R_0 -in qiyməti bir neçə onda bir oma bərabərdir) və məhdud yüklənmə qabiliyyəti ilə xarakterizə olunurlar. Həssas elementin qalınlığı millimetrin onda birlərinə bərabərdir. 4 ucunun mərkəzi 2 elektroduna birləşdirilməsi (şəkil 4.16, a) Korbino diskinin qalınlaşmasına səbəb olur və ondan kiçik hava aralıqlarında maqnit sahələrini ölçmək üçün istifadəni qeyri-mümkün edir.

Həssas elementin b eni a uzunluğundan böyük olan düzbucaqlı formalı lövhə şəklində hazırlanması (şəkil 4.16, b) Qauss effektini artırmağa imkan verir. Belə çeviricilərin müqavimətləri onlarla om ola bilər.

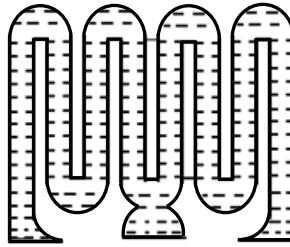
Evtektik ərintilərin (məsələn, InSb-NiSb ərintisinin) istifadə olunması R_0 müqavimətinin qiymətini vahid omlardan onlarla kilooma qədər almağa imkan verir. InSb-NiSb ərintisindən olan həssas elementli maqnitrezistiv İÖÇ-nin konstruksiyası şəkil 4.17-də göstərilir.

Həssas element izoləedici (məsələn, keramik) 2 altlığının üzərində yerləşdirilmiş meandr şəkilli 1 zolağından ibarətdir. Zolağa 3 ucları qaynaq edilir. Zolağın qalınlığı onlarla mikrometrə ($10 \div 25$ mkm) bərabərdir.



Səkil 4.17

Həssaslığı artırmaq üçün altlıq kimi yüksək maqnit nüfuzluluqlu ferromaqnit material istifadə olunur. Maqnitrezistiv vericilərin diferensial hazırlanması onların həssaslığını artırmağa və xətlərini azaltmağa imkan verir. Şəkil 4.18-də diferensial çeviricinin meandr şəkilli zolağının konstruksiyası göstərilir.



Səkil 4.18

Şəkil 4.10

Maqnitrezistiv İÖÇ kiçik həndəsi ölçülü olub, 0,4 mm-dən artıq olmayan qalınlıqda 3-4 mm-dən böyük olurlar.

b) maqnitrezistiv İÖÇ-nin əsas xarakteristikaları

Maqnitrezistiv ÖÇ-nin xarakteristikalarına aşağıdakılar aiddur: çevirmə tənliyi (dərəcələmə xarakteristikası); başlanğıc (nominal) müqavimət; maqnitrezistiv nisbəti; maqnit həssaslığı; çevirmə xətası; yüklənmə qabiliyyəti.

Qauss effektinə əsaslanan maqnitrezistiv çeviricinin *çevirmə tənliyi* aşağıdakı kimi müəyyən olunur :

$$R = R_0[1 + A_B(\mu B)^2], \quad (4.31)$$

burada $R_0 - B = 0$ olduqda çeviricinin başlanğıc müqaviməti; A_B – həssas elementin materialının fiziki xassələrindən və formasından asılı olan əmsal; μ – yük daşıyıcılarının çevikliyi

Zəif maqnit sahələrində ($\mu B \ll 1$) R müqaviməti B induksiya-sından kvadratik asılı olur və bu halda S həssaslığı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$S = \frac{dR}{dB} = 2R_0 A_B \mu^2 B . \quad (4.32)$$

Həssaslıq maqnit induksiyasına mütənasibdir.

Güclü maqnit sahələrində ($\mu B \gg 1$ olduqda, əksər hallarda $B > 0,3 - 0,5$ Tl) çevirmə funksiyası xəttidir. Bu halda çeviricinin həssaslığı aşağıdakı kimi müəyyən olunur:

$$S = R_0 A_B \mu . \quad (4.33)$$

Nominal (başlanğıc) R_0 müqaviməti – bu maqnit sahəsi induksi-yasının sıfıra bərabər olduğu haldakı müqavimətdir.

Başlanğıc müqavimətin qiyməti materialın keçiriciliyindən, həs-sas elementin konfigurasiyası və ölçülərindən asılıdır və müxtəlif tipli maqnitrezistorlar üçün onun onda birlərindən (məsələn, InAs-dən olan maqnitrezistor üçün R_0 0,5 Oma bərabər ola bilər) bir neçə kilooma bə-rabər ola bilər (məsələn, InSb-NiSb ərintisindən olan termorezistiv ÖÇ üçün R_0 vahidlərlə kilooma bərabər qiymətlər ala bilər).

Başlanğıc müqavimətin nominal qiymətlərdən fərqlənməsi maq-nitrezistiv ÖÇ-nin materialının eynicinsli olmaması və həssas elementin həndəsi ölçülərinin təkrar olunmamasından yaranır və $\pm 20\%$ -ə qədər çata bilər.

Maqnitrezistiv nisbət R_B/R_0 – maqnit induksi-yasının müəyyən qiymətində (adətən 0,3 və 1,0 Tl) maqnitrezistiv ÖÇ-nin R_B müqavimə-tinin başlanğıc R_0 müqavimətinə nisbətidir.

R_B/R_0 nisbəti temperaturdan güclü asılıdır, ona görə də o, müəyyən temperaturda təyin edilir və müxtəlif termorezistorlar üçün vahidlərdən onlara qədər qiymətlər alır.

Maqnit həssaslığı S – maqnitrezistiv ÖÇ-nin müqavimətinin $\Delta R/R$ nisbi artımının onu yaradan maqnit induksi-yasının ΔB artımına olan nisbətə görə müəyyən olunur:

$$S = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta B} \quad (4.34)$$

Yüklənmə qabiliyyəti – maqnitrezistiv çeviricinin güclü qızma temperaturunun həddi qiyməti ilə müəyyən olunan parametrdir. Bu temperaturun qiyməti adətən 150°C -dən artıq olur. Pasportda yük-lənmə qabiliyyəti buraxıla-bilən səpələnmə gücü ilə normalana bilər.

Cədvəl 4.4-də bir neçə tip maqnitrezistiv vericilərin xarakteristi-kaları verilir.

Cədvəl 4.4

Xarakteristika	Maqnitrezistiv vericinin tipi		
	InAS	InSb	InSB-NiSb
Müqavimət R_0 , Om; $B = 0$ olduqda	0,5 – 100	0,5 – 200	$10 - 2 \cdot 10^3$
R_B/R_0 $B = 1,0$ Tl olduqda	2 – 3	10 – 15	10 – 15
Nominal səpələnmə gücü (havada), Vt	0,2	0,1	0,1
İşçi temperatur diapazonu, $^\circ\text{C}$	-200...+150	-20... +100	-200 ... +100

Maqnitrezistiv ÖÇ sabit və dəyişən maqnit sahələrini (ölçmə dia-pazonu $10^{-2} \dots 10^2$ Tl) və onunla funksional əlaqədar olan kəmiyyətləri ölçmək üçün, həmçinin müxtəlif avtomatika və hesablama texnikası qurğularında tətbiq olunur. Çox halda onlar maqnit sahəsi indikatorları kimi istifadə olunurlar.

Tenzorezistiv vericilər. Tenzorezistiv İÖÇ-nin iş prinsipi keçirici və yarımkəçiricilərin deformasiyası vaxtı onların elektrik müqavimətlərinin dəyişməsindən ibarət olan tenzorezistiv effektdə əsaslanır. Müqavimətin dəyişməsi aşağıdakı düstura görə müəyyən oluna bilər:

$$\Delta R = R \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s} \right),$$

burada R_0 – tenzorezistorun elektrik müqaviməti, ρ – onun xüsusi müqaviməti, l – uzunluğu,

s – en kəsiyinin sahəsidir.

Əksər metalların xüsusi müqaviməti deformasiyadan az asılıdır (α_ε əmsalı çox kiçikdir), metallar üçün Puasson əmsalı $\mu \approx 0,24 - 0,4$, ona görə də əksər keçiricilər üçün müqavimətin dəyişməsinə səbəb əsasən onların ölçülərinin dəyişməsidir.

Yarımkəçirici materiallar deformasiya etdikdə energetik zonaların strukturunun dəyişməsi baş verir, bu da yük daşıyıcılarının konsentrasiya-yasının, onların effektiv kütləsinin dəyişməsinə, onların keçiricilik zona-sında energetik maksimumların və valentlik zonasında minimumların arasında yenidən paylanmasına və uyğun olaraq xüsusi müqavimətin dəyişməsinə səbəb olur. Məsələn, qarışıq olan yarımkəçirici üçün xüsusi müqavimət $\rho = m/(nq^2\tau)$, burada n – qarışıqın konsentrasiyası; q – elektrik yükü; m – effektiv kütlə; τ – yük daşıyıcılarının orta yaşama müddətidir. Yarımkəçiricilər üçün deformasiya əmsalı α_ε 200 və daha çox ola bilər, yəni $\alpha_\varepsilon \gg 1 + 2\mu$, və yarımkəçirici nümunə deformasiya etdikdə onun müqavimətinin dəyişməsinin səbəbi deformasiya əmsalının böyük olmasıdır.

Tenzorezistiv effekt müxtəlif həndəsi formalı cisimlərdə üzə çıxır və deformasiyanın növündən və temperaturdan xeyli asılıdır. Tenzorezistiv İÖÇ-in (tenzovericilərin) işi bu effektə əsaslanır. Metal tenzorezistorlarının müqavimətinin 2 %-dən artıq olmayan dəyişmələrində (əksər hallarda bu belədir) keçirici tenzovericinin çevirmə tənliyi aşağıdakı kimi olur :

$$R = R_0(1 + K\varepsilon_l) . \quad (4.35)$$

Tenzovericilərin həssas elementlərinin materialları aşağıdakılarla xarakterizə olunur: tenzohəssaslıq əmsalının böyük qiymətilə; xüsusi müqavimətin böyük qiymətilə; MTƏ-nin kiçik qiymətilə; kontaktlarda *thermo-e.h.q.*-nin olmaması ilə; $R = f(\varepsilon_l)$ asılılığının xəttliliyi ilə.

Həssas elementlərin materialları kimi keçirici və yarımkəçirici materiallar istifadə olunur. Bəzi materialların xarakteristikaları cədvəl 3.1-də göstərilmişdir.

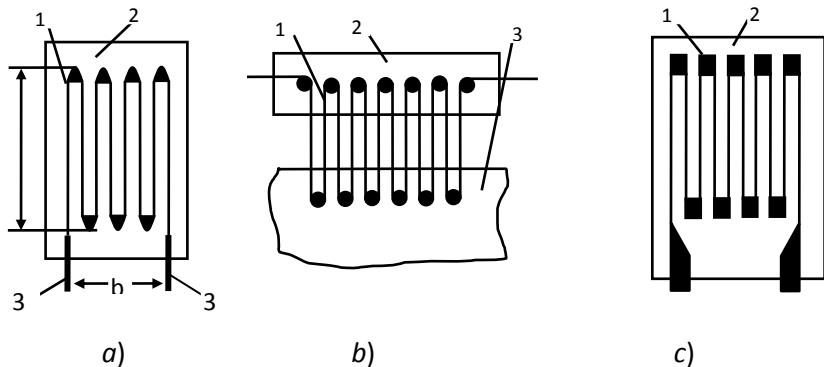
a) tenzorezistiv İÖÇ-nin təsnifatı və konstruksiyaları

Həssas elementin materialının faz vəziyyətindən asılı olaraq bərk-gövdəli və maye tenzorezistiv çeviricilər vardır. Bərk-gövdəliyə məftil, folqalı və plyonka tenzovericilər aiddir.

Məftil tenzovericilər yapışdırılan və yapışdırılmayan növlü olur.

Yapışdırılan məftil tenzorezistiv çevirici 1 (şəkil 4.19, a) diametri 0,02 – 0,05 mm olan ziqzaq şəklində yerləşdirilmiş nazik məftil çərçivə-dən ibarət olub, 2 əsasına (kağız parçasına və ya plyonkaya) yapışdırılır və uclarına 3 mis ucluqları birləşdirilir. Çeviricinin üzərinə lak çəkilir.

Yapışdırılmayan (sərbəst) tenzorezistiv İÖÇ uclarından tərpənməz 2 və tərpənən 3 hissələri arasında bərkidilmiş və həssas element rolunu oynayan bir və ya bir sıra 1 məftilləri şəklində



Şəkil 4.19

hazırlanır (şəkil 4.19, b).

Məftil tenzorezistorların çatışmayan cəhətləri ondan ibarətdir ki, yumrulanmış hissələr deformasiyanı xətti hissələrdən zəif qəbul edirlər, ona görə də materialın nümunəsinin tenzohəssaslıq əmsalı $K_{TH} \approx (0,7 - 0,96) K$. Yumrulanmış hissələrin uzun olması eninə həssaslığın yaranmasına səbəb olur. Məftil tenzorezistorlar üçün eninə və uzununa həssaslıqların nisbəti b/L ilə müəyyən olunur. Eninə həssaslıq uzununa həssaslığın $0,25 - 1\%$ -ni təşkil edir.

Folqalı tenzorezistorlar qalınlığı $4 - 12$ mkm olan 1 metal fol-qadan (məsələn, konstantandan, qızıl-gümüş ərintisindən və s. olan fol-qalar) hazırlanıb, 2 altlığına yapışdırılır. Həssas elementin tələb olunan konfigurasiyası folqanın müəyyən hissələrinin oyulması ilə alınır. Şəkil 4.19, c-də tenzorezistiv vericinin həssas elementinin hazırlanma variant-larından biri göstərilir.

Folqalı tenzorezistorlarda eninə hissələrin genişləndirilməsi hesabına eninə həssaslıq məftil tenzorezistorlarından xeyli azdır.

Plyonka tenzorezistiv çeviricilər üçün həm metal materiallar, məsələn, titan-alüminium ərintiləri, həm də yarımkeçirici materiallar, məsələn, germanium, silisium istifadə olunur. Plyonka tenzorezistiv ÖÇ-nin qalınlığı 1 mkm-dən az ola bilər.

Folqalı və plyonka tenzorezistorların üstün cəhəti maska ilə müəyyən olunan verilmiş formanın alınmasıdır.

Maye tenzorezistiv çeviricilər elektrolit və ya civə ilə doldurulmuş, daxili diametri $0,1 - 0,5$ mm olan rezin kapilyardan ibarətdir. Onlar $30 - 50\%$ -ə qədər böyük nisbi deformasiyaları çevirməyə imkan verirlər.

Bu ÖÇ-nin çatışmayan cəhəti kiçik başlanğıc müqavimətə (məsələn, civə çeviricilərinin başlanğıc müqaviməti vahid omlar ola bilər) və böyük MTƏ-yə malik olmalarıdır.

Yarımkeçirici tenzoçeviricilər adətən yarımkeçiricinin (germanium, silisium) monokristalından müəyyən kristalloqrafik oxlar üzrə kəsilmiş nazik zolaqlar şəklində hazırlanır. Yarımkeçirici tenzorezistorların uzunluğu $2 - 12$ mm və eni $0,15 - 0,5$ mm olur.

Yarımkeçirici termoçeviricilərin fərqləndirici xüsusiyyətləri yük-sək həssaslıq və dərəcələmə xarakteristikasının qeyri-xəttiliyidir.

Hal-hazırda *integral* yarımkeçirici vericilər istehsal olunur və onlar bilavasitə silisiumdan və ya saffirdən olan həssas elementdə yetişdirilir. Bu həssas elementlərin elastiklik xassələri ideala yaxındır, onlar metal tenzorezistorlara nisbətən xeyli kiçik histerezis və xəttilik xətalərinə malikdirlər. Bir həssas elementdə adətən yarı-körpü və ya körpü üzrə birləşmiş bir neçə rezistor və kompensasiyaedici elementlər yetişdirilir. Belə texnologiya tenzorezistorların eyni olmamasından və xarici şəraitdən yaranan xətaləri azaltmağa imkan verir.

b) tenzorezistiv İÖÇ-nin əsas xarakteristikaları

Tenzorezistiv çeviricilərin xarakteristikalarına aşağıdakılar aiddir: tenzohəssaslıq əmsalı, ölçmə bazası, başlanğıc müqavimət, xətalər.

Tenzohəssaslıq əmsalı K tenzorezistorun müqavimətinin $\Delta R/R_0$ nisbi dəyişməsinin $\Delta l/l$ nisbi deformasiyasının qiymətinə nisbətində bərabərdir.

(3.6) düsturundan istifadə edərək, tenzohəssaslıq əmsalı üçün ifadə alırıq:

$$K = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_l} = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 1 + 2\mu + \alpha_\varepsilon. \quad (4.36)$$

Keçirici bərkövdəli tenzorezistiv vericilərin əksəriyyəti üçün $K \approx 1 + 2\mu$ ifadəsi ilə təyin edilə bilər və təxminən 2-yə bərabərdir.

Yaxşı tenzohəssaslıq almaq üçün verici böyük uzununa və qısa eninə hissələrə malik olmalıdır.

Maye tranzistorlar üçün $\alpha_e = 0$ (deformasiya prosesində həcm dəyişmir) , $\mu = 0,5$, ona görə $K_{MAYE} = 2$.

Yarımkəçirici tenzorezistiv ÖÇ üçün $K \approx \alpha_e$ və belə vericilərin tenzohəssaslığı 50-100 dəfə metallarından çoxdur, həm də K -nın işarəsi həm müsbət, həm də mənfi ola bilər.

Ölçmə bazası L tenzorezistiv çeviricinin həssas elementinin yer-ləşdiyi hissənin uzunluğu kimi müəyyən olunur (bax şəkil 4.19, a).

Çeviricinin bazası 1,0 – 100 mm hədlərində yerləşir. Ən çox ba-zası 5 – 20 mm olan məftil çeviricilər istifadə olunur. Folqa çevirici-lərinin ölçmə bazası 1 mm-dən az ola bilər. Yarımkəçirici tenzorezis-torlar 2 – 12 mm-lik bazalı olurlar.

Nominal (başlanğıc) müqavimət R_0 – deformasiya olmadıqda termorezistiv çeviricinin müqavimətidir.

Tenzovericilərin başlanğıc müqavimətlərinin diapazonu onlarla omdan bir neçə min Om-a qədərdir.

Fotorezistiv İÖÇ.Yarımkəçiricini işıqlandırdıqda yük daşıyıcılarının konsentrasiyası dəyişir, bu da yarımkəçiricinin müqavimətinin və ya keçiriciliyinin dəyişməsinə səbəb olur.

Fotorezistiv effekti γ_{is} işıq keçiriciliyinin qiyməti ilə təsvir etmək olar :

$$\gamma_{is} = e\mu_n\Delta n + e\mu_p\Delta p, \quad (4.40)$$

burada μ_n və μ_p – elektronların və deşiklərin çevikliyi; Δn və Δp – optik şüalanma ilə yaranan elektronların və deşiklərin izafi konsentrasi-yasıdır.

Tarazlaşmış yük daşıyıcıları ilə yaranan keçiricilik qaranlıq γ_q keçiriciliyi adlanır. Tam keçiricilik qaranlıq və işıq keçiriciliklərinin cə-mi kimi təsvir oluna bilər:

$$\gamma = e\mu_n(n_0 + \Delta n) + e\mu_p(p_0 + \Delta p) = \gamma_q + \gamma_{is}. \quad (4.41)$$

Yarımkəçiricilərin elektrik keçiriciliyinin elektromaqnit şüalan-manın təsiri ilə artması hadisəsi *fotokeçiricilik* adlanır.

Qeyd etmək lazımdır ki, yarımkəçiriciləri işıqlandırdıqda onların müqavimətinin artımı mümkündür. Bu hal əsas olmayan yük daşıyıcıla-rının diffuziya etdiyi həcmdə rekombinasiya sürətinin artımı ilə izah olunur, bu isə əsas yük daşıyıcılarının konsentrasiyasının azalmasına və, deməli, müqavimətin artımına səbəb olur.

Fotokeçiricilik həmçinin şüalanma dalğasının uzunluğundan asılı-dır – daxili fotoeffektin spektral əyrisi maksimumdan keçir və cəld aza-lır. Fotokeçiriciliyin spektral asılılığı əsasən generasiya sürətinin spek-tral asılılığı ilə müəyyən olunur. Həm də işığın güclü udulmasına görə işıq maddənin daxilinə keçdikcə generasiya sürəti kəskin azalır. Bura-dan belə görünür ki, fotokeçiricilik nümunənin həndəsi ölçülərindən ası-lı olmalıdır.

Maddənin *fotohəssaslığı* S_F işıq keçiriciliyinin işığın J intensivliyinə nisbəti ilə müəyyən olunur :

$$S_F = \frac{\gamma_{is}}{J}. \quad (4.42)$$

Fotorezistiv effekt şüalanma enerjisini elektrik enerjisinə çevir-məyə imkan verən fotoelektrik cihazlarının yaradılması üçün istifadə olunur.

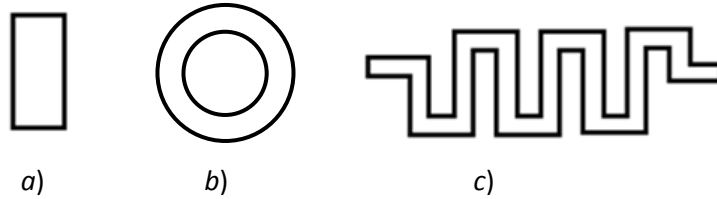
a) fotorezistiv İÖÇ-in materialları və konstruksiyaları

Fotorezistiv vericilərin (sonralar fotorezistorların) həssas elementlərini hazırlamaq üçün istifadə olunan materiallara aşağıdakılar xas olmalıdır: 1) mümkün olduqca böyük fotohəssaslıq; 2) kifayət qədər böyük qiymətli xüsusi müqavimət; 3) $\rho = f(J)$ xarakteristikasının yaxşı

təkrarlanması; 4) müqavimətin temperatur əmsalının mümkün qədər kiçikliyi.

Ən çox aşağıdakı əsasda olan materiallar tətbiq olunur: 1) kadmiyumun (CdSe, CdS), qurğuşunun (PbSe, PbS, PbTe), indiumun (InSb, InAs) birləşmələri; 2) müxtəlif elementlərin (qızıl, sink, bor və s.) qarışıqları ilə aşqarlanmış germanium və silisium; 3) spektral həssaslıq sahəsi geniş hədlərdə dəyişə bilən HgCdTe, PbSnTe tipli üçqat birləşmələr və s.

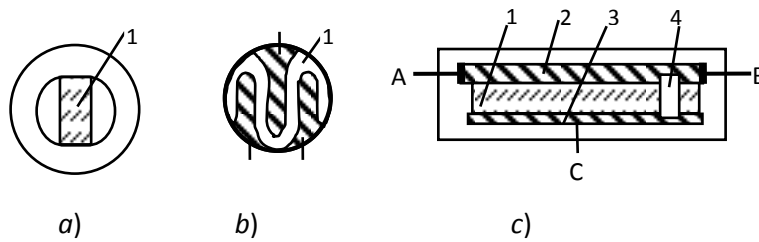
Konstruktiv cəhətdən fotorezistorlar şüşə və ya keramik altlıqda elektrodlu fotohəssas yarımkeçirici materialdan olan nazik təbəqədən ibarətdir. Təbəqəni lakla örtürlər və germetik korpusda yerləşdirirlər. Şəkil 4.21-də həssas elementlərin tipik formaları göstərilir. Onlar düzbucaqlı (şəkil 4.21, a), disk (şəkil 4.21, b), meandr şəkilli zolaq (şəkil 4.21, c) və s. formalı ola bilər.



Şəkil 4.21

Fotorezistiv ÖÇ ən müxtəlif konstruksiyalı olur: germetik, sərt və yumşaq ucluqlu, diferensial, mövqeli-həssas və s.

Şəkil 4.22, a-da birqat fotorezistorun (məsələn, ФСК-1 fotorezis-torunun) konstruksiyası göstərilir. Diferensial fotorezistorlar (məsələn, şəkil 4.22, b-də göstərilən ФСК-7A tipli fotorezistor) üç çıxışa malikdirlər və diferensial ölçmə dövrlərinə qoşula bilərlər.



1-həssas element; 2 - yüksək müqavimətli rezistiv təbəqə; 3 - kiçik

Şəkil 4.22

Mövqeli-həssas fotorezistiv çeviricilərin (şəkil 4.22, c) həssas elementinin üzəri ilə işıq ləkəsi yerini dəyişdikdə müqavimətləri dəyişir.

Mövqeli-həssas çeviricilər yerdəyişməni ölçmək üçün geniş istifadə olunurlar. Bu halda işıq ləkəsi 2 və 3 elektrodları üzrə yerini dəyişdikdə həm A və B ucları, həm də A - C və B - C ucları arasında müqavimət dəyişir.

b) fotorezistiv İÖÇ-in əsas xarakteristikaları

Fotorezistiv ÖÇ-in xarakteristikalarına aşağıdakılar aiddir: çevirmə funksiyası (tənliyi); qaranlıq müqaviməti; müqavimətin dəyişmə dəfəsi; monoxromatik həssaslıq; spektral xarakteristika; işıq xarakteristikası; volt-ampere xarakteristikası; zaman sabiti və s.

Çevirmə tənliyi aşağıdakı ifadə ilə təsvir oluna bilər :

$$R = A \cdot E_{opt}^{-n} , \quad (4.43)$$

burada A – fotorezistorun materialının xassəsindən və konstruksiyasından asılı olan əmsal; $n = 0,5 - 1,0$ (az işıqlanmada $n = 1$, çox işıqlanmada $n = 0,5$).

Fotorezistiv ÖÇ-nin həssaslığı şüalanma intensivliyindən asılıdır və aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$R = -n \cdot A_0 \cdot E_{opt}^{-(n+1)} \quad (4.44)$$

Həssaslıq astanası – fotorezistorun çıxışında küyün səviyyəsindən verilmiş ədəd dəfə çox olan signal yaradan şüalanma selinin minimal qiymətidir. Həssaslıq astanasının qiyməti 10^{-10} -dan 10^{-8} lm-ə qədər ola bilər.

Monoxromatik həssaslıq S_λ – fotocərəyanın ΔI artımının dalğa uzunluğu λ olan monoxromatik selin sıxlığının ΔP_λ dəyişməsinə nisbətində bərabərdir: $S_\lambda = \Delta I / \Delta P_\lambda$, A/Vt (həssaslıq: $10^{-1} \dots 10^2$ A/Vt). Spektral sahə 0,3 ... 30 mkm-dir.

Spektral xarakteristika $S(\lambda)$ – monoxromatik həssaslığın dalğa uzunluğundan asılılığı $S(\lambda) = f(\lambda)$.

Optik şüalanmanın spektrinin görünən hissəsində işlədikdə *inteq-ral işıq həssaslığı* – fotocərəyanın ΔI artımının işıq selinin $\Delta \Phi$ dəyişməsinə nisbəti – istifadə olunur: $S_\Phi = \Delta I / \Delta \Phi$, A/lm. Fotorezistorların qoşulma sxemlərindən asılı olaraq cərəyana görə həssaslıq və gərginliyə görə həssaslıq vardır.

Volt-amper xarakteristikası – işıq selinin sabit qiymətində fotocərəyanın fotorezistora tətbiq olunan qidalandırma gərginliyindən asılılığı müəyyən edir.

Müqavimətin dəyişmə dərəcələri – qaranlıq müqavimətinin müəyyən işıqlanmadakı (adətən, 200 və ya 300 lk) müqavimətə olan $n = R_q / R_{E=200lk}$ nisbətidir. Onun qiyməti $I_{i\check{s}}$ işıq cərəyanının I_q qaranlıq cərəyanına nisbəti kimi də müəyyən edilə bilər (işıq cərəyanı, bir qayda olaraq, işıqlanma 200 ± 20 lk olduqda təyin olunur).

Qaranlıq müqaviməti R_q – $E_{opt} = 0$ qiymətindəki müqavimətdir. R_q müqavimətinin qiyməti 10-dan 10^9 Om-a qədər ola bilər.

İşıq cərəyanı – işçi gərginlikdə və məlum intensivlikli şüalanma seli təsir etdikdə fotorezistordan axan cərəyandır.

İşıq zaman sabiti – fotorezistorun müqavimətinin (fotocərəyanın) onu qaraltdıqda və ya işıqlandırdıqda qərarlaşmış qiymətə nəzərən e də-fə dəyişdiyi müddətdir.

Qaralmada τ_q və işıqlanmada τ_{is} zaman sabitləri vardır. Müxtəlif tipli fotorezistor üçün τ_{az} , τ_{ar} zaman sabitlərinin qiymətləri 10^{-8} -dən 10^{-2} san ola bilər.

Azalmaya görə zaman sabiti τ_{az} – fotorezistoru vahid formalı işıq impulsu ilə işıqlandırdıqda işıqlanma cərəyanının maksimal qiymətin 37 %-nə qədər azaldığı müddət.

Artıma görə zaman sabiti τ_{ar} – fotorezistoru qaraldanda işıq cərəyanının maksimal qiymətin 63% -nə qədər artdığı müddət.

Cədvəl 4.5-də bəzi fotorezistor tiplərinin əsas xarakteristikaları verilmişdir.

Cədvəl 4.5

Tip	$U_{i\check{s}}$, V	$I_{i\check{s}}$, mKA-dan artıq olmayaraq	I_q , mKA-dan artıq olmayaraq	τ_{ar} , mksan	τ_{az} , mksan	λ_{mak} , mkm
CФ2-1	15	500	1	90	40	0,65
CФ2-12	15	200-1200	0,3	25	25	0,54±0,4
ФСК-1	50	1500	15	150	130	0,6
CФ3-1	15	750	0,5	20	60	0,79
CФ3-7Б	1,5	1200	0,01	8	8	0,72

ФЦД-1	20	1500	10	50	80	0,77
-------	----	------	----	----	----	------

Fotorezistorların əsas müsbət xassələri: 1) fotorezistorun yüksək həssaslığı. Fotorezistorlar spektrin infraqırmızı hissəsinə həssasdırlar; 2) böyük işləmə müddəti. Praktiki olaraq bu müddəti sonsuz qəbul etmək olar; 3) işləmə vaxtı 500 saatdan sonra S həssaslığı stabilləşir; 4) çox kiçik ölçüləri və çəkisi.

Fotorezistorların mənfi cəhətləri: 1) xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi; 2) temperatur və tezlik xətalari; 3) bir qədər ətalətli olması.

Tutum ilkin ölçmə çeviriciləri

Tutum ÖÇ (TÖÇ) elektrostatik çeviricilər qrupuna aiddirlər. On-larda giriş ölçülən kəmiyyət sistemin tutumunun dəyişməsilə və ya elek-trik yükünün qiyməti ilə əlaqədardır.

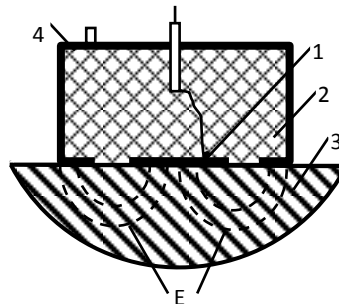
Tutum çeviricilərinin işi giriş kəmiyyətinin kondensatorun tutu-munun dəyişməsinə çevrilməsinə əsaslanır. Tutum ÖÇ-nin informativ çıxış parametrləri C elektrik tutumu və dielektrik itkiləri bucağının tan-gensi $tg\delta$ ola bilər. Onlar ölçmə (nəzarət) obyektinin müxtəlif fiziki-me-xaniki xassələri – ε_r nisbi dielektrik nüfuzluluğu, ölçüləri və forması, sıxlığı, bütövlüyün pozulmasının (boşluqların, qoşulmasının) olması və ölçüləri və s. ilə əlaqədirlər.

Tutum vericilərinin konstruksiyaları və əsas xarakteristikaları

TÖÇ ümumi halda aralarında dielektrik material yerləşən elek-trodlardan, çıxış ucluqlarından və müxtəlif konstruktiv elementlərdən ibarət olur. Dielektrik maye, bərk və qazabənzər vəziyyətdə ola bilər. Elektrodlar düzbucaqlı, dairəvi, halqavari, koaksial silindr şəkildə və di-gər konstruksiya və formada hazırlana bilər. Konstruksiya elementləri kondensatoru xarici faktorlardan qoruyan elektrik izolyasiya materialları və elementləridir.

Ölçmə obyektini və elektrodların qarşılıqlı yerləşməsinə görə TÖÇ üstdən və ortada yerləşən olurlar. Üstdən yerləşən çeviricilərdə elektrodlar ölçmə obyektinin bir tərəfində yerləşir, ikincilərdə elektrod-lar obyektini müxtəlif tərəflərdən əhatə edir. Üstdən yerləşdirilən çeviricilərdə müəyyən formalı metal lövhədən ibarət olan elektrodlar ölçmə ob-yeqtinin səthində yerləşdirilir.

Şəkil 4.26-da silindrik elektrodlu üstdən yerləşdirilən çeviricinin elektrodlarının obyektə yerləşdirilməsi göstərilir. 1 və 4 elektrodları arasındakı tutum elektrodların ölçülərindən, ətraf mühitin (yuxarı yarım-məkanın) ε_1 dielektrik nüfuzluluğundan və ölçmə obyektinin ε_2 dielektrik nüfuzluluğundan asılıdır.



Səkil 4.26

Əgər obyektin qalınlığı və elektrodların üzərindəki məkan elek-trodların elektrik sahəsinin təsir etdiyi hissənin dərinliyindən xeyli artıq-dırsa, o halda dielektrikdə aktiv itkilərdən yaranan elektrodlar arasındakı cərəyanın aktiv və reaktiv təşkiledicilərini nəzərə alan ilkin çeviricinin C kompleks tutumu aşağıdakı kimi müəyyən olunur:

$$C = C^I - jC^{II} = \varepsilon_0 l (A_1 \varepsilon_1 + A_2 \varepsilon_2), \quad (4.50)$$

burada C^I və C^{II} – kompleks tutumun həqiqi və xəyali təşkilediciləri; l – elektrodların uzunluğu; A_1 və A_2 – ətraf və ölçülən mühitin tutumunu müəyyən edən həndəsi əmsallardır. Ümumi halda nisbi dielektrik nüfuzluluğu ε həqiqi ε^I və xəyali ε^{II} təşkiledicilərinə malikdir, yəni $\varepsilon = \varepsilon^I - j\varepsilon^{II}$.

Dielektrik itkiləri bucağının tangensi aşağıdakı ifadə ilə müəy-yən olunur:

$$tg\delta = \varepsilon^I / \varepsilon^{II}. \quad (4.51)$$

(4.50) və (4.51) ifadələrindən ölçmə obyektini üçün aşağıdakı xarakteristikaları almaq olar:

$$\varepsilon_2^I = \frac{C^I}{\varepsilon_0 \cdot l \cdot A_2} - \frac{\varepsilon_1 \cdot A_1}{A_2}; \quad (4.52)$$

$$tg\delta_2 = tg\delta \cdot \left(1 + \frac{A_1 \cdot \varepsilon_1^I}{A_2 \cdot \varepsilon_2^I}\right) - \frac{A_1 \cdot \varepsilon_1^I}{A_2 \cdot \varepsilon_2^I} \cdot tg\delta_1. \quad (4.53)$$

Yastı və silindrik səthli obyektlər üçün və ətraf hava mühitində $A_1 = A_2 = A$; $\varepsilon^I = \varepsilon_1 = 1$, $tg\delta_1 = 0$.

Dielektriklərin çoxu üçün dielektrik itkilər çox kiçikdir və $tg\delta \rightarrow 0$ və hesab etmək olar ki, çeviricinin tutumu $C = C^I$, $C^{II} \rightarrow 0$.

Ölçmə nəticəsinə parazit tutumların təsirini nəzərə almadan, ölçmə obyektinin materialının $\varepsilon_M = \varepsilon_2$ və $tg\delta_M = tg\delta_2$ parametrlərini təyin etmək üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar:

$$\varepsilon_M = (C_c - C_0) / C_0 + 1; \quad (4.54)$$

$$tg\delta_M = (tg\delta_c - tg\delta_0)(1 - 1/\varepsilon_M),$$

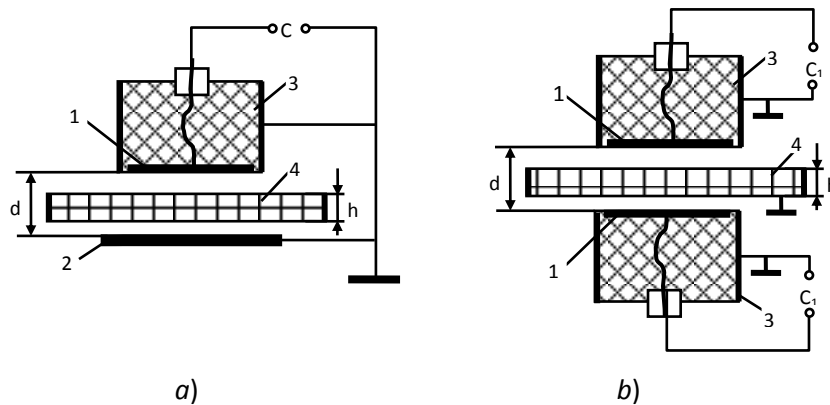
(4.55)

burada C_c və C_0 – ölçmə obyektini ilə çeviricinin tutumu və çeviricinin başlanğıc (obyektsiz) tutumu; $tg\delta_c$ və $tg\delta_0$ – ölçmə obyektini ilə birlikdə və ölçmə obyektini olmadan çeviricinin dielektrik itkiləri bucağının tan-gensidir.

ε və $tg\delta_M$ -in qiymətlərinə görə onların əlaqədar olduğu kəmiyyətlər – ölçmə obyektinin tərkibi, rütubəti, temperaturu və s. haqqında fikir söyləmək olar.

Üstdən yerləşdirilən çeviricilər dielektrik obyektlərin xətti ölçülərini təyin etmək üçün də tətbiq oluna bilər.

Şəkil 4.27-də üstdən yerləşdirilən TÖÇ-nin köməyi ilə dielektrik və elektrik keçiricilikli obyektlərin qalınlığını ölçmə sxemləri göstərilir.



Şəkil 4.27

1 və 2 elektrodlarını (şəkil 4.27, a) yastı metal lövhə şəklində hazırladıqda elektrodlarının

aralığında dielektrik obyekt yerləşdirilmiş çeviricinin tutumu aşağıdakı düstura görə təyin oluna bilər :

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot s}{\varepsilon \cdot d + (1 - \varepsilon) \cdot h} , \quad (4.56)$$

burada ε_r – ölçmə obyektinin nisbi dielektrik nüfuzluluğu; h – obyektin ölçüsü (qalınlığı); s – elektrodların sahəsidir.

Belə çeviricilər istehsalat prosesində müxtəlif obyektlərin (məsələn, kartonun) qalınlığını 1 mkm həlletmə qabiliyyəti ilə ölçməyə imkan verirlər .

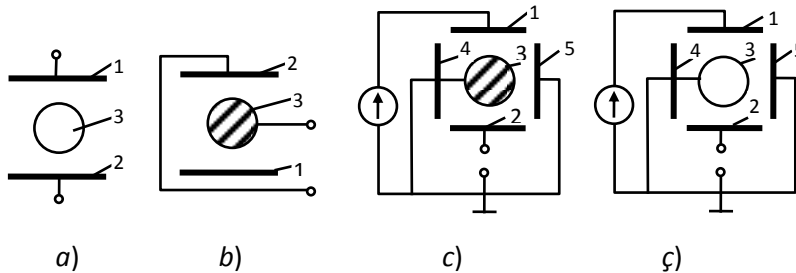
Şəkil 4.27, b-də yastı elektrik keçiricilikli obyektin h qalınlığını iki üstəndən yerləşdirilən TÖÇ-nin köməyi ilə ölçmə sxemi göstərilir. TÖÇ- də elektrodlardan birinin rolunu ölçmə obyektini oynayır. C_1 və C_2 tutumlarının qiymətlərini ölçərək, d_1 və d_2 aralıqlarının qiymətini və sonra obyektin h qalınlığını təyin etmək olar:

$$h = d - (d_1 + d_2) . \quad (4.57)$$

Ortada yerləşdirilən çeviricilər ən müxtəlif konstruksiyalara malik olurlar və dielektrik, həm də elektrik keçiricilikli obyektlərin xətti ölçülərinə nəzarət etmək üçün istifadə olunurlar.

Elektrik keçiricilikli obyektlərin ölçülməsi (nəzarəti) ölçmə obyektini də daxil olmaqla qoşulmuş keçirici elektrodlar sisteminin elektrik tutumunun ölçmə obyektinin en kəsiyinin ölçülərindən asılılığının istifadə olunmasına əsaslanır. Elektrodlardan biri elektrik keçiricilikli obyekt ola bilər.

Ortada yerləşdirilən tutum vericilərinin elektrodlarının yerləşməsi sxemlərinə aid misallar şəkil 4.28-də göstərilir .



Şəkil 4.28

Şəkil 4.28 b, c-dəki sxemlər yalnız elektrik keçirici obyektlər üçün, şəkil 4.28, a, d-dəki sxemlər isə ixtiyari obyektlər üçün tətbiq oluna bilər. Səpələnmə sahələrini azaltmaq üçün əlavə qoruyucu elektrodlar istifadə olunur, bu halda ölçmə xətləri azalır.

Qalınlığı ölçmə diapazonu vahidlərlə mikrometrlərdən vahidlərlə millimetərə qədər olur. Xətanın qiyməti onda birlərdən vahidlərlə faizə bərabər olur.

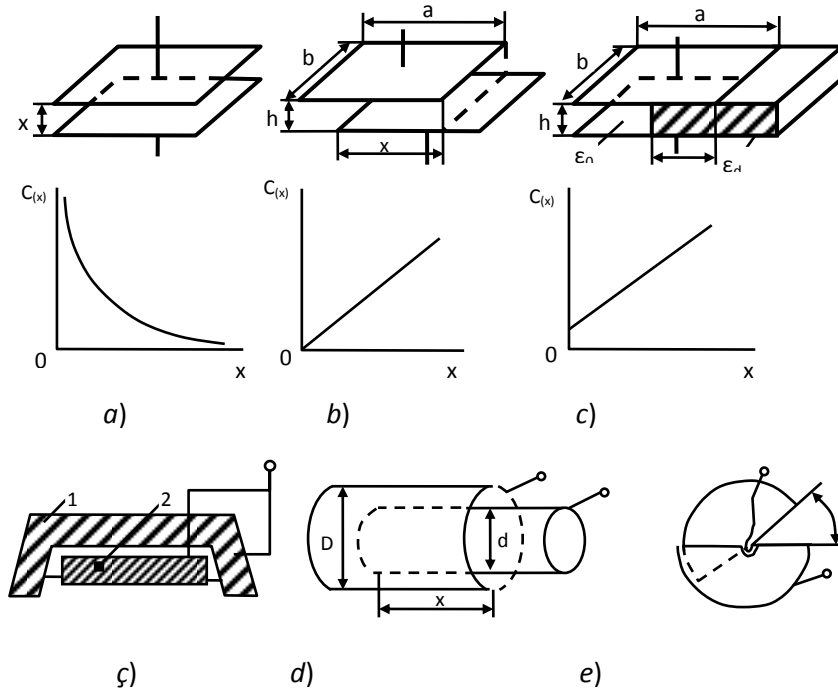
TÖÇ müxtəlif bərk və səpələnən materialların rütubətini ölçmək üçün tətbiq olunurlar. Materialın nisbi dielektrik nüfuzluluğunun qiyməti rütubətdən asılıdır. Nəzarət olunan obyektə asılı olaraq çeviricilər müxtəlif konstruksiyalı olurlar. Ölçmə diapazonu 80 %-ə qədər olur. Ölçmə xətası onda birlərdən vahidlərlə faizə bərabər olur.

TÖÇ xətti və bucaq yerdəyişmələrini ölçmək üçün geniş tətbiq olunurlar.

Tutum İÖÇ-nin iki konstruksiyası ən çox istifadə olunur. Birinci *yastı paralel elektrodlu kondensatordan* ibarət olub (şəkil 4.29, a), əgər kənar effektlər nəzərə alınmazsa tutumu aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 s / x, \quad (4.58)$$

urada s – elektrodların qarşılıqlı dayananan hissələrinin sahəsi; x – elektrodlar arasına məsafədir.



Şəkil 4.29

İkinci konstruksiya *silindrik kondensatordan* ibarət olub (şəkil 4.29, d), tutumu aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunur:

$$C(x) = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot x}{\ln(D/d)}, \quad (4.59)$$

burada D – xarici silindrik elektrodun diametri; d – daxili silindrik elektrodun diametri; x – hər iki elektrodun üst-üstə düşən hissəsinin uzunluğudur.

Yerdəyişmənin xətti TÖÇ-nin işləmə prinsipinin əsasını aşağıdakılar təşkil edə bilər: 1) elektrodlar arasındakı məsafənin dəyişməsi; 2) elektrodların üst-üstə düşmə sahələrinin dəyişməsi; 3) elektrodlar arasındakı dielektrikin və ya onun müəyyən hissəsinin dielektrik nüfuzluluğunun dəyişməsi.

Elektrodlar arasındakı məsafənin dəyişməsinə əsaslanan xətti yerdəyişmə TÖÇ-nin çevirmə tənliyi, kənar effektləri nəzərə almasaq, qeyri-xətti çevirmə funksiyasına malikdir (şəkil 4.29, a):

$$C(\delta) = \frac{\varepsilon_0 s}{(h_0 + x)}, \quad (4.60)$$

burada h_0 – elektrodlar arasındakı başlanğıc aralıq; x – ölçülən yerdəyişmədir.

Elektrodları arasında məsafənin dəyişdiyi TÖÇ-nin tətbiqi giriş kəmiyyətinin dəyişmə diapazonu kiçik olduqda məqsəduyğundur. Bir qayda olaraq, TÖÇ yerdəyişmələri 1 mm-dən az olduqda (1 mkm-dən 1 mm-ə qədər) tətbiq olunurlar və bu halda maksimal yerdəyişmə (0,1 – 0,2) h_0 olur.

Çeviricinin həssaslığının artırılması elektrodlararası məsafəni azaltmaqla əldə olunur. Onun həddi qiyməti texnoloji mülahizələrlə və tətbiq olunan gərginliklə müəyyən olunur. Elektrodlararası məsafə kiçik olduqda qısa qapanma yarana bilər.

Lövhlərinin sahəsi dəyişən çevirici yastı kondensator şəklində hazırlana bilər (şəkil 4.29, b) və onun çevirmə tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$C(x) = \frac{\varepsilon_0 \cdot b}{h} \cdot x . \quad (4.61)$$

Real xətti xarakteristika kənar effektlər nəticəsində təhrif olunur. Həssaslığı artırmaq və kənar effektləri azaltmaq üçün birpolyarlıqlı tu-tum çeviricilərində aktiv ekranlama tətbiq olunur. Ekran elektrodun işçi olmayan tərəfləri ətrafında yerləşdirilir (şəkil 4.29, ç) və ona elektrodun gərginliyinə bərabər gərginlik verilir. Ekran 1 və elektrod 2 arasında elektrik sahəsi olmadığı üçün, ekrandan kənarında yerləşən komponentlə-rin heç biri vericinin işinə təsir etmir.

Adətən belə tipli çeviricilər ya silindrik elektrodlu kondensator şəklində (şəkil 4.29, d), və ya bucaq yerdəyişmələrini ölçmək üçün dö-nən kondensator şəklində (şəkil 4.29, e) hazırlanır.

Silindrik tipli xətti yerdəyişmələrin TÖÇ-nin çevirmə tənliyi (4.59) ifadəsinə uyğundur.

Dielektrikinin vəziyyəti dəyişən xətti yerdəyişmələrin TÖÇ-nin (şəkil 4.29, c) çevirmə funksiyası aşağıdakı kimidir:

$$C(x) = C_0 \left(1 + \frac{\varepsilon - 1}{a} \cdot x \right) , \quad (4.62)$$

burada $C_0 = C(0) + \varepsilon_0 \alpha \cdot b/h$.

Bucaq yerdəyişmələrinin TÖÇ-nin (şəkil 4.29, e) çevirmə funksiyası α -dan xətti asılıdır:

$$C(x) = C_0 + \frac{k \cdot \varepsilon_0}{h} \cdot \alpha , \quad (4.63)$$

burada k – elektrodların ölçüləri ilə müəyyən olunan əmsaldır.

Sahəsi dəyişən çeviricilər nisbətən böyük yerdəyişmələri: xətti – 1 mm-dən artıq və bucaq – 270^0 -yə qədər ölçmək üçün istifadə olunur. Dönən kondensatorlu konstruksiya elektrik gərginliklərini ölçmək üçün çıxış çeviricisi kimi də tətbiq olunur.

Bu çevirici xətti çevirmə funksiyasına malikdir. Əksər hallarda o, silindrik elektrodlu hazırlanır və rezervuarda elektrik keçirməyən maye-nin səviyyəsini ölçmək üçün istifadə olunur (şəkil 4.30, a). Elektrik ke-çirməyən maye dielektrik rolunu oynayır.

Şəkil 4.30, a-da göstərilən vericinin çevirmə tənliyi aşağıdakı ki-mi yazıla bilər:

$$C(x) = \frac{2\pi}{\ln(D/d)} [\varepsilon_m \cdot x + (l - x)x \cdot \varepsilon_0] , \quad (4.64)$$

burada l – elektrodun tam uzunluğu; ε_m – mayenin dielektrik nüfuzlulu-ğu; x – xarici elektrodun maye ilə doldurulduğu uzunluqdur.

Elektrik keçiricilikli mayenin səviyyə çeviricisində (şəkil 4.30, b) elektrodlardan birinin üzəri elektrik izləyici materialla örtülə bilər. Xüsusi elektrod əvəzinə izolyasiya ilə örtülmüş məftil parçası istifadə oluna bilər. İkinci elektrod keçirici mayenin özü olur. Bu elektrodu ölç-mə dövrəsi ilə birləşdirmək üçün 1 elektrodu istifadə olunur.

Termoelektrik ilkin ölçmə çeviriciləri, pyezoelektrik ilkin ölçmə çeviriciləri.

Termoelektrik çeviricilərin iş prinsipi *Zeyebek effektinə* əsaslanır. Termoelektrik vericilər passiv vericilərə aiddir, çünki onlar xarici qida-landırma mənbəyi tələb etmirlər, özləri *termo-e.h.q.* yaradırlar. Zeyebek effekti və termocütlərin xüsusiyyətləri 3.4. bəndində nəzərdən keçirilmişdir.

Termoelektrik İÖÇ-nin tətbiq olunma sahələri və materialları. Termoelektrik İÖÇ (termocütlər) temperaturu ölçmək (çevirmək) üçün istifadə olunurlar. Termocütün *termo-e.h.q.*-nin işçi ucun temperaturları ilə sərbəst ucların temperaturu arasındakı fərqdən asılılığı ümumi halda (3.20) düsturu ilə ifadə olunur. Hər bir termocüt özünün temperaturdan asılı olmayan α_i əmsalları sırası ilə xarakterizə olunurlar. Əksər materiallar üçün $E_T = F(T_1 - T_0)$ asılılığı ifadəsinin xətasını $\pm 1\%$ -ə bərabər almaq üçün təxminən səkkiz əmsal tələb olunur. α_1 əmsalına Zeyebek əmsalı deyilir.

Dar diapazonda E_T -nin temperaturdan asılılığını bir α_1 əmsallı təxmini ifadə ilə təsvir etmək olar ((3.20) düsturu).

Termocütlər üçün tətbiq olunan materiallar aşağıdakılara malik olmalıdır: *termo-e.h.q.*-nin temperaturdan birqiymətli asılılığı; termo-elektrik xassələrin yüksək stabilliyi; mexaniki möhkəmlik; kimyəvi dayanıqlıq.

Termocütləri hazırlamaq üçün əsas etibarilə metallar və onların ərintiləri istifadə olunur. Yarımqeçiricilərdən olan termocütlər yüksək həssaslıqla xarakterizə olunurlar, məhdud hallarda tətbiq olunurlar.

Termocütləri hazırlamaq üçün materialların bir neçə kombinasiyasını istifadə etmək olar. Termoelektrodlar aşağıdakı kimi seçilir. Əv-vəlcə əsas material, məsələn platin seçilir, sonra termoelektrodları elə cütləşdirirlər ki, onlardan biri platinlə müsbət, digəri isə mənfi *termo-e.h.q.* yaratsın. Bu halda digər faktorları da, məsələn, mühitin təsirini də nəzərə almaq lazımdır.

Termocütlər üçün material kimi metallar (platin, mis, rodium, re-nium, iridium və s.) və ərintilər (xromel, alümel, kopel, mis-nikel ərintiləri, platinrodium, volfram-renium və s.) istifadə olunur.

Aşağı temperaturlar sahəsində, təxminən $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ -dən $+ (100 - 200)\text{ }^{\circ}\text{C}$ -yə qədər aşağıdakı termocütlər istifadə olunur .

1. Mis-konstantan (T tip) – xarakteristikalarının böyük yayımı (fər-di dərəcələmə tələb olunur) və aşağı temperaturlarda həssaslığın azalması ilə xarakterizə olunurlar. Temperatur diapazonu -270 -dən $+ 370\text{ }^{\circ}\text{C}$ -yə qədərdir. İşçi diapazonun yuxarı həddinin məhdudlaşdırılması mis termoelektrodun oksidləşməsi ilə əlaqədardır. Həssaslıq aşağı temperaturlarda xeyli azalır ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -də $40\text{ mkV}/^{\circ}\text{C}$ -dən $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ -də $1,1\text{ mkV}/^{\circ}\text{C}$ -yə qədər). Termocütün üstünlüyü korroziyaya dayanıqlığıdır (onlar rütü-bətli atmosferdə tətbiq oluna bilirlər).

2. Mis-(qızıl $+2,1\%$ kobalt) – aşağı temperaturlarda nisbətən bö-yük həssaslıqla xarakterizə olunurlar ($T = -269\text{ }^{\circ}\text{C}$ -də $S = 3,5\text{ mkV}/^{\circ}\text{C}$).

3. Mis-(mis +0,005 % qalay) – aşağı temperaturlarda nisbətən böyük həssaslıqla xarakterizə olunur ($T = -269^{\circ}\text{C}$ -də $S = 5,7 \text{ mkV}/^{\circ}\text{C}$).

Adətən daha böyük temperaturlarda istifadə olunan xromel-kopel (XK), xromel-alümel (XA) və digər termocütlər də tətbiq olunur.

0-dan $+1800^{\circ}\text{C}$ orta temperaturlar hissəsində həm qara materiallardan: dəmir-konstantan, xromel-kopel, xromel-alümel və s.; həm də əlvan materiallardan: platinorodium-platin (PP) və platinorodium-platinorodium (PR) və s. olan termocütlər tətbiq olunur.

Dəmir-konstantan (J tip) – vakuumda və müxtəlif: ətalətli, oksid-ləşdirici, bərpaedici mühitlərdə işləyirlər. İşçi temperatur diapazonu $0 - 760^{\circ}\text{C}$ -dir. Termocütün çatışmayan cəhəti kövrəkliyi və 0°C -dən aşağı temperaturlarda paslanmaya məruz qalmasıdır.

Xromel-konstantan (E tip) – istifadə olunma temperatur diapazonu -200°C -dən $+900^{\circ}\text{C}$ -yə qədərdir.

Xromel – alümel (K tip) termocütlər -200 -dən $+1100^{\circ}\text{C}$ diapazonda tətbiq olunur və $\approx 2 - 3\%$ xəyata malik olurlar; *platinorodium-platin* (tip S) 0-dan $+1600^{\circ}\text{C}$ -yə qədər diapazona malikdir və $\approx 0,1 - 0,5\%$ xəyata malikdir.

Yüksək temperaturlar sahəsində $+1600$ -dan $+3500^{\circ}\text{C}$ diapazon-da aşağıdakı termocütlər tətbiq olunur: 1) iridium-rodiumiridium; 2) volfram-renium (tip A); 3) keçid metallarının karbidləri əsasında olan termocütlər: titan (TiC), sirkonium (ZrC), niobium (NbC), tallium (TlC), hafnium (HfC).

$+2100^{\circ}\text{C}$ diapazona qədər *iridium-iridiumrodium* termocütü; $+2500^{\circ}\text{C}$ -yə qədər *volfram-renium* ərintisi əsasında termocütlər tətbiq olunur. Keçid metallarının karbidlərindən olan termocütlər 3500°C -yə qədər temperaturları ölçmək üçün istifadə oluna bilər, məsələn ZrC-NbC, NbC-HfC termocütləri.

Termoelektrik çeviricilərin xarakteristikaları. Termoelektrik İÖÇ-nin əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır: 1) dərəcələmə xarakteristikası; 2) həssaslıq; 3) xəta; 4) istilik ətaləti göstəricisi (zaman sabiti).

Dərəcələmə xarakteristikası *termo-e.h.q.*-nin qiyməti ilə termocütün işçi ucunun temperaturu arasında asılılığı müəyyən edir. Adətən dərəcələmə xarakteristikası termocütün sərbəst uclarının temperaturu 0°C olduqda təyin olunur və cədvəl şəklində göstərilir. *Termo-e.h.q.*-nin cədvəldən götürülmüş qiymətlərinə görə onlara uyğun olan temperatur-lar müəyyən edilə bilər. Temperaturların cədvəldə göstərilməyən aralıq qiymətləri interpolyasiya metodu ilə aşağıdakı düstura görə müəyyən olunur:

$$T_x = T_{\min} + \frac{E - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \cdot (T_{\max} - T_{\min}), \quad (4.73)$$

burada T_{\min} , E_{\min} , T_{\max} , E_{\max} – termocütün ölçülmüş E e.h.q.-nin qiymətinin cədvəl qiymətləri arasında yerləşdiyi temperatur və *termo-e.h.q.*-nin qiymətləridir.

Termocütlərin *həssaslığı* S_T temperaturdan asılıdır və $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$ temperaturda (3.20)-dən

tapıla bilər:

$$S_T = \frac{\partial E}{\partial T} = \alpha_1 + 2\alpha_2 T + \dots + (n-1)\alpha_n T^{n-1}. \quad (4.74)$$

$T_0 = 0$ °C ətrafında kiçik temperatur diapazonunda həssaslığı α_1 Zeybek əmsalının qiymətinə bərabər götürmək olar.

Müxtəlif termocütlər üçün həssaslığın qiyməti vahidlərdən onlarla mikrovolt bölünmüş dərəcəyə bərabərdir. Məsələn, platin-rodium termo-cütünün həssaslığı $S_T \approx 10$ mkV/°C, volfram-renium cütünün həssaslığı $S_T \approx 20$ mkV/°C, mis-konstantan termocütünün həssaslığı S_T 60 mkV/°C-yə qədər qiymətlər alır.

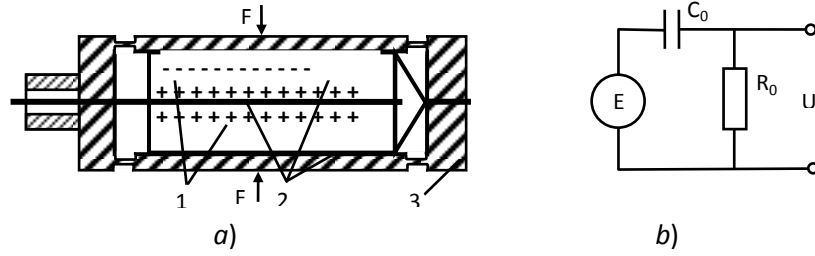
Çıxış *e.h.q.*-ni artırmaq üçün çox halda bir neçə termocütdən istifadə edərək, termobatareyalar yaradılır.

Pyezoelektrik ilkin ölçmə çeviriciləri. Pyezoelektrik ölçmə çeviricilərinin iş prinsipi *pyezoelektrik effektinə* əsaslanır. Pyezoelektrik çeviricilər passiv vericilərə aiddirlər, çünki onlar xarici qidalandırma mənbələri tələb etmirlər. Pyezoelektrik effektinə və bəzi pyezoelektrik materialların xarakteristikalarına 3.5. bəndində baxılmışdır.

Pyezoelektrik effekti müxtəlif çeviricilər yaratmaq üçün istifadə olunur. Düz *pyezoeffekt*dən istifadə edən ölçmə çeviriciləri qüvvə, təzyiq, təcil ölçən cihazlarda tətbiq olunur. *Əks pyezoeffekt* ultrasəs rəqslər şüalandırıcılarında, gərginlik – deformasiya çeviricilərində və s.-də istifadə olunur. Düz və əks pyezoeffektlərin eyni zamanda istifadə olunduğu çeviricilər – pyezorezonatorlar çox dar zolaqlı tezliklər buraxan süz-gəclər kimi tətbiq olunurlar. İdarə olunan rezonatorlar müxtəlif qeyri-elektrik kəmiyyətlərini (temperatur, təzyiq, təcil və s.) tezliyə çevirən çeviricilər kimi istifadə olunur .

Pyezoelektrik vericilərin materialları və əsas xarakteristikaları. Pyezoelektrik çeviricilərdə kvars və pyezokeramik materialların müxtəlif tipləri (məsələn, barium-titanat BaTiO₃ əsasında materiallar), qalayın titanat-sirkonat, qalayın metaniobat bərk məhlulları istifadə olunur. Onlar kvars nisbətən daha yüksək pyezoelektrik moduluna malikdirlər, lakin daha pis elastiklik xassəlidirlər. Pyezokeramik materialların elastiklik modulu $E = (0,65 - 1,3) \cdot 10^{11}$ Pa-dır. Yalnız mexaniki itkilərlə müəyyən olunan keyfiyyətlik $Q = 100 - 300$ diapazonunda yerləşir. Əksər pyezokeramik materiallar üçün itki bucağının tangensi ($E < 25$ kV/m gərginlikdə) $tg \delta = 0,02 - 0,05$. Materialların hamısı sərhədi Kuri nöqtəsi ilə müəyyən olunan yalnız müəyyən temperatur diapazonunda pyezoelektrik xassələrinə malik olurlar. Kvars üçün Kuri nöqtəsinə $T_K = 530$ °C uyğun gəlir, pyezokeramikalar üçün bu temperaturlar xeyli aşağıdır. Bəzi pyezoelektrik materialların xarakteristikaları cədvəl 3.4-də göstərilmişdir.

Pyezoelektrik ÖÇ-nin həssas elementi adətən pyezoelektrik materialdan hazırlanan, üzərində iki bir-birindən izolə olunmuş elektrodlar yerləşən lövhədən idarətdir. Pyezokeramik materiallardan çeviricilərin hazırlanması monokristal materiallardan hazırlanmaqdan daha asandır. Pyezoelektrik çeviricilərin əsas xarakteristikalarına sxematik quruluşu və ekvivalent elektrik sxemi şəkil 4.38-də göstərilən qüvvə (və ya təzyiq) vericisinin misalında baxaq.



Şəkil 4.38

Həssaslığı artırmaq üçün çeviricidə (şəkil 4.38, a) paralel birləşmiş iki pyezoelektrik 1 lövhəsi istifadə olunur. 1 lövhələrinin tərəflərində yaranan Q yükü F qüvvəsinə mütənasibdir (təzyiq $P = sF$, burada s – F qüvvəsinin təsir etdiyi səthin sahəsidir). Lövhələrdən signal folqadan hazırlanan 2 elektrodlarının köməyi ilə götürülür. Lövhələr 3 korpusunun daxilində yerləşdirilir. Ekvivalent sxemdə (şəkil 4.38, b) C_0 – vericinin elektrik tutumu, R_0 – vericinin müqavimətidir.

Pyezoelektrik qüvvə vericisinin yükə görə həssaslığı $S_q = Q/F$. Nəzərə alsaq ki, aralarında dielektrik olan iki elektrodun ibarət olan sistem kondensatordan və həssas element iki pyezoelektrik lövhədən ibarətdir, pyezoelektrik vericinin çevirmə tənliyi aşağıdakı kimi olar:

$$U = \frac{2d_{11}}{C_0} \cdot F = \frac{2d_{11}\delta}{s\varepsilon_0\varepsilon}, \quad (4.80)$$

burada U – elektrodlarda yaranan gərginlik; δ – elektrodlar arasındakı məsafə; s – elektrodların sahəsi; ε – pyezoelektrik elementin materialının nisbi dielektrik nüfuzluluğudur.

Təyinatına görə pyezoelektrik qüvvə vericisinin gərginliyə görə həssaslığı $S_u = U/F$ və şəkil 4.38-də göstərilən verici üçün S_u həssaslığı aşağıdakı kimi tapıla bilər:

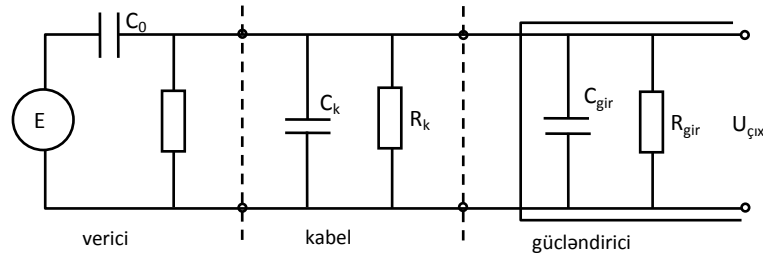
$$S_u = \frac{U}{F} = \frac{2d_{11}}{C_0}. \quad (4.81)$$

(4.80) – dən görünür ki, U gərginliyi tutumdan asılıdır, ona görə də pyezoelektrik vericinin gərginliyə görə həssaslığını göstərdikdə, bu həssaslığa uyğun olan tutumu göstərmək lazımdır. Bəzi hallarda yükə görə $S_q = Q/F$ həssaslığı və çeviricinin xüsusi tutumu C_0 və ya baxılan verici üçün yüksüz işləmə gərginliyi $U_{yi} = 2d_{11}F/C_0$, həmçinin çeviricinin xüsusi tutumu göstərilir .

Çeviricinin elektrodlarındakı gərginlik vahidlərlə volta çata bilər, lakin pyezoelektrik Ölçünin həssas elementinin tərəflərində yaranan yük yalnız itki cərəyanları olmadıqda, yəni ölçmə dövrəsinin giriş müqaviməti sonsuz böyük olduqda saxlanacaqdır. Lakin bu şərti praktiki olaraq yerinə yetirmək mümkün olmadığı üçün elektrik yükünü periodik olaraq bərpa etmək lazımdır. Bu işə dəyişən qüvvə təsir etdikdə mümkündür. Ona görə də pyezoelektrik çeviricilər yalnız dinamik kəmiyyətləri ölçmək üçün tətbiq olunur.

Pyezoelektrik çevirici böyük daxili müqavimətlə və kiçik çıxış gücü ilə xarakterizə olunduğu üçün çeviricinin çıxışına mümkün qədər böyük gücləndirmə əmsallı gücləndirici qoşmaq lazımdır. Pyezoelektrik çeviricilərin ölçmə dövrəsinə adətən birləşdirici kəbellə

qoşulduqlarını nəzərə alaraq, pyezoelektrik çeviricinin ölçmə dövrəsi ilə birlikdə ekvi-valent elektrik sxemi şəkil 4.39-da göstərildiyi kimi olar.



C_k və R_k – kabelin tutumu və itki müqaviməti;

Şəkil 4.39

Pyezoelektrik çeviriciyə sinusoidal $\dot{F}_x = F_m \sin \omega t$ qüvvəsi təsir etdikdə, ölçmə dövrəsi ilə birlikdə çeviricinin çıxış gərginliyi bərabər olacaqdır :

$$\dot{U}_{cix} = \frac{d_{11}}{C_0} \cdot \frac{j\omega R_e C C_0}{1 + j\omega R_e (C_0 + C_e)} \dot{F}_x, \quad (4.82)$$

burada $C_e = C_k$ və C_{gir} kondensatorlarının paralel birləşməsi; $R_e = R_0$, R_k və R_{gir} rezistorlarının paralel birləşməsidir.

(4.81)-dən ölçmə dövrəsi ilə birlikdə çeviricinin $K(j\omega)$ kompleks ötürmə əmsalı üçün ifadə almaq olar:

$$K(j\omega) = \frac{j\omega R_e d_{11}}{1 + j\omega (C_e + C_0)}. \quad (4.83)$$

Ölçmə dövrəsi ilə birlikdə çeviricinin həssaslığı:

$$S(\omega) = |K(j\omega)| = \frac{d_{11}}{C_0 + C_e} \cdot \frac{\omega\tau}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}, \quad (4.83)$$

burada $\tau = R_e (C_0 + C_e)$ – zaman sabitidir.

Yuxarıda gətirilən ifadələrdən görünür ki, gücləndiricinin girişindəki gərginlik tezlikdən yalnız $\omega \gg 1/[R_e (C_0 + C_e)]$ yüksək tezliklərdə asılı olmayacaqdır və $\dot{U}_{cix} = d_{11} \dot{F} / (C_0 + C_e)$. Digər hallarda $C = C_0 + C_e$ cəm tutumunu bilərək, çeviricinin çıxış gərginliyini hesablamaq olar.

Tezlik diapazonunu aşağı tezliklər tərəfə genişləndirmək üçün çeviricinin həssaslığını dəyişməz saxladıqda, R_e müqavimətini artırmaq hesabına τ zaman sabitini artırmaq lazımdır. R_e müqavimətinin artırılması izolyasiyanın keyfiyyətini artırmaq və ölçmə dövrəsinin R_{gir} giriş müqavimətini artırmaq hesabına əldə olunur. Pyezoelementin xüsusi müqaviməti R_0 lövhələrin

materialının xüsusi müqaviməti və onların səthinin müqaviməti ilə müəyyən olunur. Birinci təşkiledici, xüsusilə kvars üçün ($10^{15} - 10^{16}$ Om), bir qayda olaraq, ikincidən xeyli böyükdür, ona görə də müəyyənəddici səthin müqavimətidir. Onu $R = 10^9 - 10^{10}$ Oma qədər artırmaq məqsədlə çeviricinin səthini rütubətdən və çirklənmədən qorumaq üçün onu germetikləşdirirlər. Xüsusi ölçmə gücləndiriciləri (elektrometrik gücləndiricilər) istifadə etdikdə giriş müqavimətini 10^{14} Om və giriş tutumunu 1 pF-ə yaxın almaq olar .

Tezlik diapazonunun yuxarı həddi əsasən mexaniki parametrlərlə – kütlə və sərtlikdən asılı olan xüsusi rəqslərin tezliyi, sakitləşmə dərəcəsi ilə müəyyən olunur.

Beləliklə, çeviricinin tam tezlik xarakteristikası həm elektrik, həm də mexaniki parametrlərlə müəyyən olunur. Pyezoelektrik çeviricilərin işçi diapazonunun yuxarı tezliyi onlarla kilohersə bərabərdir.

Elektromağnit ilkin ölçmə çeviriciləri

Elektromağnit (EM) çevirici bir və ya bir neçə konturdan ibarət olub, həm konturlardan axan cərəyanlarla, həm də xarici mənbə ilə yaranan maqnit sahəsində yerləşir.

Maqnit sahəsində yerləşən konturların sayına görə elektromağnit İÖÇ birkonturlu və çoxkonturlu olurlar (çox halda ikikonturlu İÖÇ isti-fadə olunur). Birkonturlu EM çeviricilərin çıxış kəmiyyəti aşağıdakılar ola bilər: L induktivliyi, F_{EM} elektromağnit qüvvəsi və konturda yaranan e_{ind} e.h.q. İkikonturlu EM-in çıxış kəmiyyəti konturlardan birindən cə-rəyan axdıqda digər konturda yaranan e_{ind} e.h.q.-dir .

Ferromağnit nüvənin konturunu maqnit sahəsinə daxil etdikdə onun $L = n^2/R_m$ (n – konturun sarğılar sayı; R_m – EM çeviricinin tam maqnit müqavimətidir) kimi təyin olunan induktivliyi dəyişəcəkdir. Bu xassə induktiv adlanan müxtəlif ölçmə çeviriciləri yaratmaq üçün istifa-də oluna bilər.

Maqnit müqavimətinin dəyişməsi ferromağnit nüvənin parametrlərinin (məsələn, maqnit nüfuzluluğunun) xarici faktorların təsiri ilə, mə-sələn, onun deformasiyası nəticəsində dəyişməsi ilə baş verə bilər. Bu hal qüvvə və təzyiqlərin İÖÇ-də istifadə olunur və onlara *maqnitelastik* çeviricilər deyilir.

Ferromağnit nüvənin maqnit nüfuzluluğu da materialdakı maqnit sahəsinin gərginliyindən asılıdır. Sahə gərginliyi xarici maqnit sahəsi və çeviricidən axan cərəyanla yarana bilər. Bu halda konturun induktivliyi həm çeviricidən axan və özünün maqnit sahəsinə yaradan cərəyandan, həm də xarici maqnit sahəsinin gərginliyindən asılı olacaqdır. Belə çeviricilər *maqnit-modulyasiyalı* adlanır.

Xarici maqnit sahəsində yerləşən konturda ilişmə seli dəyişdikdə induksiya olunan e_{ind} e.h.q. yaranır. Kontur hərəkət etmədikdə e.h.q. yalnız dəyişən maqnit sahəsində induksiya olunur. Sabit maqnit sahəsində e.h.q. yalnız hərəkət edən konturda yaranır. Bu halda B induksiyasını ölçmək üçün kontura məcburi yerdəyişmə, məsələn, sabit sürətlə fırlanma verilir. Konturun bu xüsusiyyəti müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin (dəyişən və sabit maqnit sahələrinin induksiyaları, fırlanma sürətləri və s.) İÖÇ-nin yaradılması üçün istifadə olunur. İlişmə selinin

dəyişməsi nəti-cəsində *e.h.q.*-nin yarandığı çeviricilər *induksiya* çeviriciləri adlanır.

Tərkibində iki və daha çox kontur olan çeviricilər transformator və ya qarşılıqlı induktivlik çeviriciləri adlanır.

İkikonturlu çeviricidə birinci konturdan *i* dəyişən cərəyanı ax-dıqda ikinci konturda konturların müstəviləri arasındakı *a* bucağından asılı olan və bu müstəvilər üst-üstə düşəndə maksimal qiymət alan *e.h.q.* induksiya olunacaqdır. Birinci konturdan *i*₁ cərəyanı axdıqda ikinci kon-turun ilişdiyi ψ_2 seli aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunur :

$$\psi_2 = M_{12}i_1, \quad (4.87)$$

burada M_{12} – qarşılıqlı induktivlik əmsalıdır.

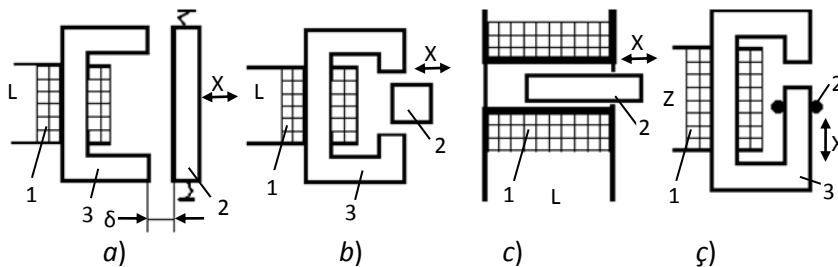
Ferromaqnit nüvənin strukturunun müxtəlif cinsliliyi materialın maqnitlənməsində sıçrayışlara səbəb olur. Maqnitlənmənin sıçrayışla dəyişməsi, yəni maqnit küylərinin (*Barkhausen küyləri*) yaranması həm xarici maqnit sahəsinin gərginliyi dəyişdikdə, həm də mexaniki təsirlər olduqda baş verir. Maqnitlənmənin sıçrayışla dəyişməsi müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin çeviricilərini yaratmaq üçün istifadə olunur. Bu çevirici-lərin çıxış kəmiyyəti maqnit küyünün *e.h.q.*-dir.

İşləmə prinsipinə və ilkin tənliklərə uyğun olaraq elektromaqnit çeviricilər aşağıdakı böyük qruplara ayrılır: 1) induktiv və qarşılıqlı in-duktivlik çeviriciləri; 2)maqnitelastik çeviricilər; 3) induksiya çevirici-ləri; 4) maqnit-modulyasiyalı çeviricilər; 6) Barkhausen effektini istifa-də edən çeviricilər.

İnduktiv ilkin ölçmə çeviriciləri. İnduktiv İÖÇ-nin işləmə prinsipi giriş qeyri-elektrik kəmiyyətinin təsirindən çeviricinin ferromaqnit elementlərinin qarşılıqlı yerləşməsi dəyişdikdə sarğacın xüsusi induktivliyinin dəyişməsinə əsaslanır.

Ümumi halda induktiv çevirici induktivlik sarğacından, maqnit keçiriciliyindən və hərəkət edən ferromaqnit nüvədən (yakordan) ibarətdir. Giriş *X* kəmiyyəti sarğacın və yakorun və ya maqnit keçiriciliyinin ayrı-ayrı hissələrinin qarşılıqlı yerləşməsini dəyişdirir. Bu halda sarğacın induktivliyi və onun tam müqaviməti dəyişir.

Şəkil 4.41-də induktiv ÖÇ-nin konstruktiv hazırlanmasının müxtəlif variantları göstərilir: hava aralığı dəyişən uzunluqlu olan (şəkil 4.41, *a*); hava aralığı dəyişən sahəli olan (şəkil 4.41, *b*); solenoidli (şəkil 4.41, *c*); paylanmış parametrlı (şəkil 4.41, *ç*) ÖÇ-ləri.



Şəkil 4.41

Dəyişən uzunluqlu və sahəli hava aralığı olan çeviricilərdə (şəkil 4.41, *a*, *b*) giriş kəmiyyəti 2 lövbərinin *X* yerdəyişməsinə səbəb olur. Nəticədə sistemin maqnit müqaviməti dəyişir, bu isə 3 maqnit keçiricili-yinin üzərində yerləşmiş 1 sarğacının induktivliyini dəyişdirir.

Solenoidə bənzər induktiv ÖÇ açıq maqnit dövrəli çeviricilərdir (şəkil 4.41, c) və 2 lövbərinin yerdəyişməsindən maqnit selinin səpələn-diyi hissələrin maqnit müqavimətinin dəyişməsi prinsipində işləyirlər. Belə tipli İÖÇ vahidlərlə metrə qədər böyük yerdəyişmələri ölçməyə imkan verirlər.

Paylanmış parametrlı çeviricilərdə maqnit müqavimətinin dəyişməsi ikinci cərəyanların maqnitləşdirmə təsiri nəticəsində baş verir. Belə induktiv ÖÇ-də ferromaqnit lövbərin əvəzinə qısa qapanmış sarğı yerini dəyişir (şəkil 4.41, ç). Bu halda sarğıda yaranan cərəyanlar itkilər yaradır, bu isə maqnit dövrəsinin əlavə reaktiv müqavimətinin yaranmasına səbəb olur. Sarğı əvəzinə maqnit keçiriciliyinin aralığına ikinci cərəyanların yarandığı elektrik keçiricikli element (məsələn, misdən və ya alüminiumdan olan disk) daxil etmək olar.

Dəyişən uzunluqlu hava aralığı olan çeviricilər (şəkil 4.41, a) ən geniş yayılmışdır. Onların işləməsinə baxaq.

Giriş qeyri-elektrik X kəmiyyəti 3 maqnit keçiriciliyi üzərinə sarılmış sarğac 1 və hərəkət edən 2 lövbərinin qarşılıqlı yerləşməsini dəyişdirir. Bu halda hava aralığının δ uzunluğu və sistemin maqnit müqaviməti dəyişir və qiyməti aşağıdakı düsturla təyin olunan 1 sarğacının induktivliyinin dəyişməsinə səbəb olur:

$$L = n^2 / R_M , \quad (4.88)$$

burada n – sarğacın sarğılar sayı; R_M – çeviricinin maqnit müqavimətidir.

Maqnit sahəsinin səpələnməsini və maqnit keçiriciliyinin və lövbərin materialının maqnitlənmə əyrisinin qeyri-xəttiliyini nəzərə almasaq, maqnit müqaviməti üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$R_M = R_{mn} + R_a = \frac{l_{mn}}{\mu_0 \mu_r s_{mn}} + \frac{2\delta}{\mu_0 s_a} , \quad (4.89)$$

burada R_{mn} – maqnit keçiriciliyinin hissələrinin və ferromaqnit nüvənin maqnit müqaviməti; R_a – hava aralıqlarının maqnit müqaviməti; l_{mn} – maqnit keçiriciliyi və lövbər üzrə orta qüvvə xəttinin uzunluğu; s_{mn} – maqnit keçiriciliyinin və lövbərin en kəşik sahəsi (maqnit keçiriciliyi və lövbər eyni en kəşik sahəsinə malikdirlər); μ_r – maqnit keçiriciliyinin və lövbərin materialının maqnit nüfuzluluğu; μ_0 – maqnit sabiti; δ – hava aralığının uzunluğu; s_a – hava aralığının en kəşik sahəsidir.

$s_{mn} = s_a = s$ şərtini ödəyərək və sarğacın aktiv müqavimətini nəzərə almadan, induktivlik sarğacının müqavimətinə keçərək, (4.87) tənliyindən alırıq:

$$L = \frac{\mu_0 s n^2}{l_{mn} / \mu_r + 2\delta} ; \quad Z = j\omega L = \frac{j\omega \mu_0 s n^2}{l_{mn} / \mu_r + 2\delta} . \quad (4.90)$$

Nəzərə alsaq ki, $2\delta \gg l_{mn} / \mu_r$ (çünki μ_r çox böyükdür) , alırıq:

$$L = \frac{\mu_0 s n^2}{2\delta} ; \quad Z = \frac{j\omega \mu_0 s n^2}{2\delta} . \quad (4.91)$$

İnduktiv vericilərin *üstünlüklərinə* aşağıdakıları aid etmək olar: 1) ölçülən xətti və bucaq yerdəyişmələrinin böyük diapazonu; 2) əlavə güclənmədən istifadə etməyə ehtiyac olmayan çıxış signalının böyük gücü (vahidlərlə vatt); 3) yüksək həssaslıq; 4) etibarlılıq; 5) şəbəkədən qidalandırma imkanı (çox halda).

Vericilərin çatışmayan cəhətləri: 1) böyük ətalətlilik; 2) elektro-mağnit cəlbəmə qüvvələrinin olması.

a) induktiv İÖÇ-nin əsas xarakteristikaları və tətbiq olunma sahələri

(4.91) ifadəsindən görünür ki, dəyişən aralıqlı induktiv çeviricinin çevirmə funksiyası qeyri-xəttidir. Z müqavimətinin hava aralığının δ uzunluğundan asılılığı hiperbolik xarakterə yaxınlaşır. Belə ÖÇ-də baş-langıç δ_0 aralığında xətti hissə praktiki olaraq $(0,1 - 0,15) \cdot \delta_0$ olur. Müqavimətin nisbi dəyişməsi $\Delta Z/Z$ isə dolağın aktiv müqaviməti, axıntı seli və lövbərin maqnit müqaviməti olmasından aralığın $\Delta\delta/\delta_0$ nisbi dəyişməsindən 2 – 5 dəfə azdır .

Baxılan çeviricilər yüksək həssaslıq, lakin nisbətən az ölçmə dia-pazonu ilə xarakterizə olunurlar. Onlar vahidlərlə mikrometrlərdən va-hidlərlə millimetrlərə (10 mm-ə) qədər az yerdəyişmələrdə istifadə olu-nurlar. İnduktiv vericilərin xətası 0,1 %-ə çatır.

İnduktiv çeviricinin çıxış kəmiyyəti ÖÇ-nin induktivliyinin dəyişməsi və ya onun müqavimətinin dəyişməsi ola bilər. (4.91) tənliklərin-dən çeviricinin hava aralığının dəyişməsinə $S_{L\delta}$ və $S_{Z\delta}$ həssaslığını təyin etmək olar.

Hava aralığının sahəsinin dəyişdiyi induktiv vericilər xətti çevir-mə funksiyasına malikdirlər və 5 mm-dən 20 mm-ə qədər yerdəyişmə-ləri ölçdükdə tətbiq olunurlar.

Açıq maqnit dövrəli çeviricilər (solenoidal ÖÇ) dəyişən δ və s -lı çeviricilərlə müqayisədə pis xarakteristikalara malikdirlər. Bu aşağıdakı səbəblərlə əlaqədardır: 1) maqnit seli əsasən havadan qapanır, buna görə onların həssaslığı aşağıdır; 2) maqnit selinin böyük səpələnməsinə görə bu vericilər xarici maqnit sahələrinin böyük təsirinə məruz qalır; 3) sar-ğac böyük xüsusi paylanmış tutuma malikdir, bu isə yüksək tezliklərdə rezonansa səbəb ola bilər.

Çevirmə funksiyası qeyri-xəttidir. Belə çeviricilər böyük xətti yerdəyişmələri (vahidlərlə metr) ölçmək üçün tətbiq olunur.

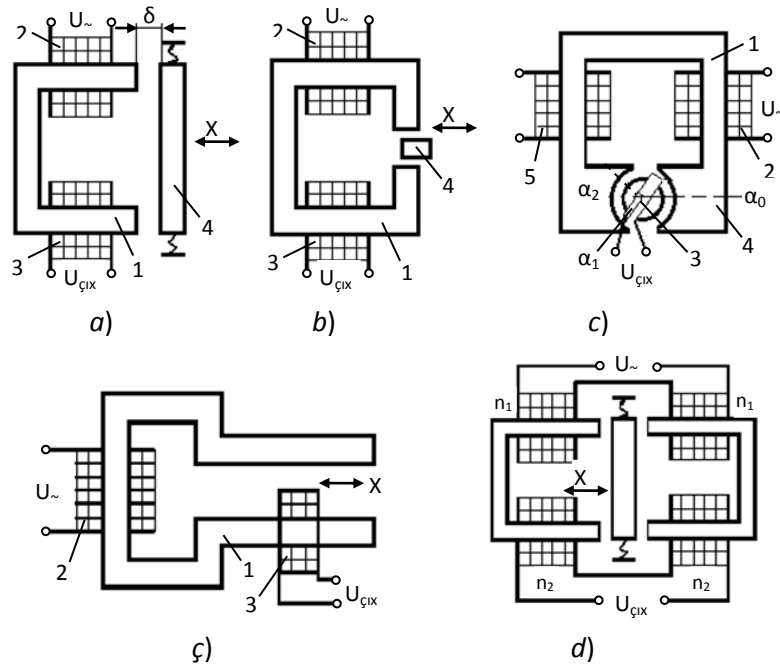
Paylanmış parametrlə çeviricilər böyük xətti yerdəyişmələri ölç-mək üçün istifadə olunur. Elektrik keçiricikli induktiv İÖÇ 180 – 360⁰-yə qədər bucaq yerdəyişmələrini ölçmək üçün istifadə olunur. Diskin profilini dəyişməklə, induktivliyin diskin dönmə bucağından ixtiyari ası-lılıq növünü almaq olar.

Xətti və bucaq yerdəyişmələrini ölçməkdən əlavə induktiv çeviri-cilər ferromağnit materialların ölçülərini, ferromağnit materialların üzə-rindəki qeyri-maqnit materialların qalınlığını, qüvvə və burucu moment-ləri, təcilləri və vibrasiyanın parametrlərini ölçmək üçün istifadə olunur.

Transformator (qarşılıqlı induktivlik) ilkın ölçmə çeviriciləri, maqnitelastik İÖÇ.

Transformator (qarşılıqlı induktivlik) İÖÇ-nin iş prinsipi giriş siq-nalının təsiri ilə iki dolaq arasında qarşılıqlı induktivliyin dəyişməsinə əsaslanır. Dolaqlardan biri maqnitləndirici olur, digərindən isə gərginlik götürülür.

Transformator və induktiv çeviricilərinin maqnit dövrəsinin kons-truksiyası eynidir, onlar dolaqların sayı ilə fərqlənirlər. Dəyişən hava aralıqlı (şəkil 4.44, a) və dəyişən sahəli hava aralıqlı (şəkil 4.44, b) transformator İÖÇ üzərinə iki dolaq sarınmış 1 maqnit keçiriciliyindən ibarət olub, bu dolağın biri (2) maqnitləndiricidir, digərindən (3) isə çıxış gərginliyi götürülür. Hərəkət edən lövbər (4) ferromaqnit material-dan hazırlanır.



Şəkil 4.44

Lövbərin yerdəyişməsi maqnit dövrəsinin Z_M tam müqavimətini və uyğun olaraq dolaqlar arasındakı M qarşılıqlı induktivliyi dəyişir. Maqnitləndirici 2 dolağından I_1 cərəyanı axdıqda 3 dolağında gərginlik yaranır:

$$U_{\text{çix}} = \omega I_1 M_{1,2} = \omega I_1 \frac{n_1 n_2}{R_i} , \quad (4.92)$$

burada n_1 və n_2 – təsirləndirici dolağın və ikinci tərəf dolağının sarğılar sayıdır; ω – tezlikdir.

(4.91) ifadəsində maqnit müqaviməti üçün (4.88) ifadəsini yaz-saq, dəyişən hava aralıqlı transformator çeviricisi üçün (şəkil 4.44, a) çevirmə tənliyi alarıq:

$$U_{\text{çix}} = \frac{I_1 \omega \mu_0 s n_1 n_2}{2\delta + l_{mn} / \mu_r} \approx \frac{I_1 \omega \mu_0 s n_1 n_2}{2\delta} . \quad (4.93)$$

Şəkil 4.44, c-də göstərilən çeviricidə dolaq 3 qütb ucluqlarının 4 aralığında çevrilə bilən çərçivə şəklində hazırlanır. 2 dolağını dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşduqda 3 dolağında E_2 e.h.q.

yanarır. 3 çərçivəsi dəyişdikdə $U_{\text{çix}}$ çıxış gərginliyinin qiyməti dəyişir. Hərəkət edən dolaqlı transformator çeviricisinin çevirmə funksiyası aşağıdakı kimi olacaqdır :

$$U_{\text{çix}} = \frac{2n_2 U_{\sim}}{\pi m_1} \alpha , \quad (4.94)$$

burada α – çərçivənin üfqi α_0 vəziyyətinə nisbətən dönmə bucağıdır.

Çərçivənin kənar vəziyyətlərində (α_1 və α_2) 3 dolağında yaranan gərginlik maksimal qiymət alır. Çərçivənin üfqi vəziyyətində (α_0) E_2 e.h.q. sıfıra bərabərdir, həm də çərçivə üfqi vəziyyətdən keçdikdə e.h.q. fazını 180° dəyişir. Çevirmə xarakteristikasını sürüşdürmək üçün 3 dolağı ilə ardıcıl olaraq 5 əlavə dolağı qoşulur. Baxılan çeviricilərdə ferrodinamik ölçmə mexanizmi istifadə oluna bilər və çeviricilərin özlərini də bəzi hallarda ferrodinamik adlandırılır.

Paylanmış parametrlə çeviricidə (şəkil 4.44, ç) hərəkət edən dolaq hava aralığında yerini dəyişdikdə hərəkət edən dolağın sarğıları ilə ilişən tam sel dəyişir. Əgər 3 hərəkət edən dolağının üzərində yerini dəyişdiyi maqnit keçiricisi hissəsinin maqnit müqaviməti hava aralığının maqnit müqavimətinə nisbətən azdırsa, o halda induksiya olunan gərginlik praktiki olaraq 3 dolağının yerdəyişməsindən xətti asılı olacaqdır. Maqnit keçiriciliyinin profilini dəyişməklə, transformator ÖÇ-nin tələb olunan çevirmə funksiyasını almaq olar.

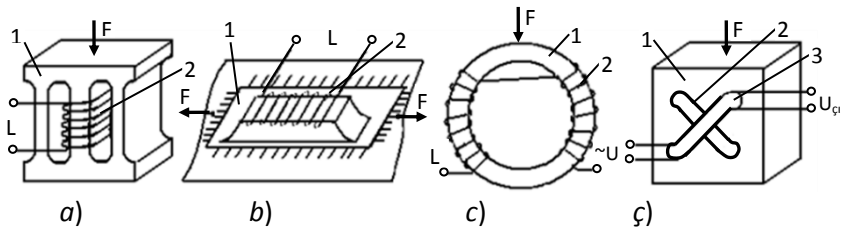
Transformator ÖÇ-nin üstünlüklərinə aşağıdakılar aiddir: 1) qida-landırma və çıxış dövrələri arasında qalvanik əlaqənin olmaması; 2) ölçmə sxemləri olmadan onlardan istifadənin mümkün olmasıdır.

Çeviricinin *nöqsanı* hərəkət edən lövbərin birinci tərəf dövrəsinin cərəyanına təsir etməsidir.

Transformator İÖÇ-nin tətbiq olunma sahəsi induktiv ÖÇ-nin tətbiq olunma sahəsinə uyğundur.

Maqnitelastik ilkin ölçmə çeviriciləri. Maqnitelastik vericilərin iş prinsipi maqnitelastik effektdə əsaslanır (3.2 bəndinə bax).

Maqnitelastik vericilər qapalı maqnit keçiricilikli induktiv vericilərin bir növüdür. İkinci dolaq olduqda onlar *transformator* çeviriciləri kimi işləyə bilərlər. Maqnitelastik İÖÇ-nin hazırlanmasının müxtəlif variantları şəkil 4.45-də göstərilir.



Şəkil 4.45

Mexaniki F qüvvəsi təsir etdikdə 1 həssas elementində (ferromaqnit materialdan olan nüvədə) mexaniki σ gərginlikləri yaranır və onlar materialın μ maqnit nüfuzluluğunun və çeviricinin R_M maqnit müqavimətinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu halda 2 dolağının L induktivliyi (şəkil 4.45, a, b, ζ) və ya 2 və 3 dolaqları arasındakı M qarşılıqlı induktivlik (şəkil 4.45, c) dəyişir.

Maqnitelastik çeviricilərdə maqnit nüfuzluluğunun bir istiqamət-də dəyişməsindən (şəkil 4.45 a, b, c) istifadə olunması və ferromaqnit cisimlərin onların iki perpendikulyar istiqamətdə deformasiyası vaxtı maqnit xassələrinin anizotropiyası nəticəsində maqnit nüfuzluluğunun dəyişməsindən istifadə olunması mümkündür. Xassələrin anizotropiya-sına əsaslanan çeviricinin 2 və 3 dolaqları (şəkil 4.45, ζ) bir-birinə nəzərə-rən 90° bucaq altında yerləşirlər. Yüklənməmiş vəziyyətdə birinci tərəf 2 dolağının maqnit qüvvə xətləri ikinci tərəf 3 dolağının sarğılarını kəsmir. Qüvvə tətbiq etdikdə birinci tərəf dolağının maqnit qüvvə xətləri təhrif olunur və 3 dolağının sarğılarını kəsərək, onda e.h.q. yaradır.

Sıxılmaya işləyən çeviricilərin nüvələri (şəkil 4.45, a) adətən bü-töv materialdan hazırlanır. Çeviricilərin metal təbəqəli nüvələri dartıl-maya daha stabil işləyirlər. Şəkil 4.45, b -də deformasiyaları ölçmək üçün müəyyən olunmuş tenzometrik tipli maqnitelastik çevirici təsvir olunur. Çevirici maqnit yumşaq materialdan, məsələn, permalloydan olan ştamplama ilə xüsusi şəkildə əyilmiş nazik 1 təbəqəsindən ibarət olub, tədqiq olunan hissəyə yapışdırılır. Deformasiyanın təsiri altında nüvə özünün maqnit müqavimətini dəyişir və bu halda 2 dolağının induktivliyi dəyişir.

Cəmlənmiş qüvvəni ölçmək üçün toroidal tipli nüvələr (şəkil 4.45, c) istifadə olunur.

Maqnitelastik çeviricinin əsas xarakteristikası həssaslıq olub, çeviricinin materialının S_μ maqnitelastiklik həssaslığı ilə müəyyən olunur. Materialın nisbi maqnitelastiklik həssaslığı maqnit nüfuzluluğunun nisbi dəyişməsinin σ mexaniki gərginliyin vahidinə olan nisbətə bərabərdir. ((3.37) düsturuna bax).

Maqnitelastik İÖÇ-nin üstünlükləri aşağıdakılardır: 1) böyük çı-xış gücü, çünki onlarda ölçülən qüvvəni qəbul edən həssas elementin bütün cismi aktivdir; 2) yükün təsiri altında az əyilməsi; 3) kiçik elektrik müqaviməti.

Bu çeviricilər burucu momentləri, böyük qüvvə və təzyiqləri ölç-mək üçün tətbiq olunurlar. Qüvvəni ölçmə diapazonu 10 MN-ə, təzyiqi ölçmə diapazonu – onlarla meqapaskala qədərdir. Maqnitelastik İÖÇ həm statik, həm də dinamil kəmiyyətləri ölçməyə imkan verirlər.

İnduksiya ilkin ölçmə çeviriciləri, maqnit modulyasiyalı İÖÇ.

İnduksiya çeviriciləri elektromaqnit induksiya hadisəsinin istifadə olunmasına əsaslanırlar. İnduksiya çeviricisinin təbii giriş kəmiyyəti çeviricidən keçən maqnit selinin dəyişmə sürəti, çıxış kəmiyyəti isə e.h.q.-dir. İnduksiya çeviriciləri generator çeviriciləri qrupuna aiddirlər.

Qapalı L konturunda e.h.q. aşağıdakı düstura görə təyin olunur :

$$e = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\oint_L \frac{\partial (B_0 \cdot s)}{\partial t} dl , \quad (4.97)$$

burada Φ – maqnit seli; B – maqnit sahəsinin induksiyası; s – konturun sahəsidir.

« - » işarəsi onu göstərir ki, *e.h.q.* Φ maqnit seli azaldıqda artır və Φ artdıqda *e.h.q.* azalır (Coul-Lens qanunu).

Ümumi halda induksiya çeviricisi çoxsarıqlı sarğacdən ibarət olub, həm ferromaqnit nüvəli, həm də nüvəsiz hazırlana bilər. Sarğacda *e.h.q.* həm xarici maqnit sahəsinin zaman ərzində dəyişməsindən, həm də sarğacın maqnit sahəsində hərəkət etməsindən yaranır. Birinci halda transformatorlu adlanan *e.h.q.*, ikinci halda isə hərəkətdən adlanan *e.h.q.* yaranır. Transformatorlu *e.h.q.*-ni istifadə edən induksiya ÖÇ-ləri passiv, hərəkət *e.h.q.*-lərini istifadə edənlər isə aktiv adlanırlar. Passiv induksiya çeviriciləri dəyişən maqnit sahələrində, aktivlər isə sabit maqnit sahələrində istifadə olunur.

Bircinsli B induksiya maqnit sahəsi üçün sarğılardan sayı n olan sarğacda yaranan *e.h.q.* :

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -n \frac{d\Phi}{dt} = -n \left(Y \frac{\partial B}{\partial t} + B \frac{\partial Y}{\partial t} \right), \quad (4.98)$$

burada
$$Y = \mu_c s \cos \alpha = \frac{s\mu_r}{1 + N(\mu_r - 1)} \cos \alpha$$

çeviricinin ümumiləşdirilmiş parametri; s – sarğacın bir sarğısının sahəsi; μ_c – cismin maqnit nüfuzluluğu; μ_r – nüvənin nisbi maqnit nüfuzluluğu; α – sarğacın oxu ilə maqnit induksiyası vektorunun istiqaməti arasındakı bucaq; N – nüvənin forması və ölçülərinin nisbəti ilə müəyyən olunan nüvənin maqnitizlənməsi əmsəlidir.

(4.98) düsturuna daxil olan parametrlərdən istənilən birinin dəyişməsi *e.h.q.*-nin dəyişməsinə səbəb ola bilər. Bu hal müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin ölçülməsi üçün istifadə oluna bilər. (4.98) düsturundan sarğacda yaranan *e.h.q.* üçün aşağıdakı ifadələri almaq olar :

$$e_1 = -\mu_0 \mu_r s \cos \alpha \frac{dH}{dt}; \quad (4.99)$$

$$e_2 = -\mu_0 \mu_r H \cos \alpha \frac{ds}{dt}; \quad (4.100)$$

$$e_3 = -\mu_0 \mu_r H s \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt}; \quad (4.101)$$

$$e_4 = -\mu_0 s H \cos \alpha \frac{d\mu_r}{dt}. \quad (4.102)$$

(4.98) – (4.102) ifadələrindən görünür ki, sarğac maqnit sahəsinin elektrik signalına çevrilməsini yerinə yetirən çeviricidir. Həm də axırın-cı üç halda [(4.100), (4.101), (4.102) düsturları] çeviricilər aktivdirlər, çünki sarğaca əlavə enerji vermək lazımdır, birinci halda isə çevirici passivdir və o yalnız dəyişən maqnit sahələrində işləyir.

İnduksiya çeviriciləri sabit və dəyişən maqnit sahələrinin parametrlərini ölçmək üçün, maqnit materiallarının maqnit parametrlərini və xarakteristikalarını, bucaq və xətti yerdəyişmələrin sürətini, vibrasiyaların və seysmik rəqslərin parametrlərini, maye maddələrin sərfini və digər fiziki kəmiyyətləri təyin etmək üçün tətbiq olunurlar.

a) maqnit sahələrinin parametrlərinin çeviriciləri

Dəyişən maqnit sahəsinin parametrlərini ölçmək üçün passiv induksiya İÖÇ-ləri istifadə olunurlar. Belə çevirici nazik naqillə sarıymış qısa birtəbəqəli sarğacdən ibarət ola bilər. Sarğacın daxilindəki sahəni eynicinsli hesab etmək üçün sarğacın ölçüləri kifayət qədər kiçik olmalıdır. Bu halda maqnit induksiyası maqnit selini ($\Phi = Bs$) sarğacın ən kəskin sahəsinə bölməklə təyin edilə bilər. Tərpənməz sarğaclı ferromaqnit nüvəsiz induksiya İÖÇ-nin çevirmə

tənliyi dəyişən maqnit sahəsi üçün ($H = H_m \cos \omega t$) (4.99) ifadəsinə əsasən aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$e = -\mu_0 n s c \cos \alpha \cdot \frac{dH}{dt} = n s \omega \cos \alpha \cdot B_m \sin \omega t, \quad (4.103)$$

burada ω – maqnit sahəsinin tezliyi; n – sarğacın sarğılar sayıdır.

İnduksiya çeviricisinin həssaslığını artırmaq üçün sarğacın daxi-lində ferromaqnit nüvə yerləşdirmək olar. Belə ÖÇ-nin çevirmə tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$e = n s c \cos \alpha \cdot B_m \sin \omega t. \quad (4.104)$$

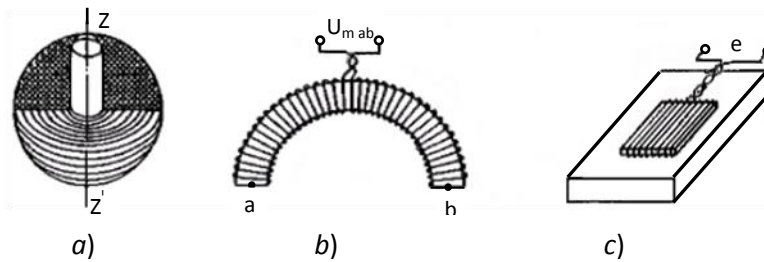
Həssaslıq həmçinin ölçmə sarğacının sarğılar sayını artırırdıqda ar-tır, lakin bu halda sarğacın ölçüləri sahənin bircinsli hesab olunduğu his-sənin ölçülərindən çox olmamalıdır.

Sarğacı çevirməklə maqnit sahəsinin induksiya-sının istiqamətini təyin etmək olar. Sarğacın oxu induksiyanın istiqamətinə uyğun olduqda $e.h.q.$ maksimal qiymət alacaqdır.

Müxtəlif cinsli maqnit sahələrinin maqnit induksiya-sını və gərgin-liyini ölçmək üçün kürəvi induksiya çeviriciləri istifadə olunur (şəkil 4.46, *a*). Belə sarğacla ilişən maqnit seli

$$\Phi = 4\pi r^3 n B_0 / 3, \quad (4.105)$$

burada B_0 – çeviricinin mərkəzindəki induksiya; r – kürənin radiusu; n – B_0 vektoru ilə üst-üstə düşməli olan zz' oxunun vahid uzunluğuna düşən sarğılar sayıdır.



Şəkil 4.46

İnduksiya çeviriciləri maqnit hərəkət qüvvəsini ölçmək üçün də istifadə olunurlar. Şəkil 4.46, *b*-də $m.h.q.$ -ni ölçmək üçün induksiya İÖÇ-nin (potensialometrin) hazırlanma variantlarından biri göstərilir. Belə çeviricinin dolağı adətən elastik izolyasiya karkasının üzərində müntəzəm sarğılı dolaq şəklində hazırlanır və onun "a" və "b" ucları arasında $m.h.q.$ ölçülür. Çeviricinin sarğıları ilə ilişən Ψ maqnit seli:

$$\psi = \frac{sn\mu_0}{l_{a,b}} \int_a^b H dl = k\mu_0 F_{a,b}, \quad (4.106)$$

burada $l_{a,b}$ – potensialometrin uzunluğu; $k = sn/l_{a,b}$ – potensialometrin sabiti; $F_{a,b}$ – maqnit hərəkət qüvvəsidir (maqnit potensialları fərqi). "a" və "b" nöqtələri arasındakı maqnit potensialları fərqi U_{mab} -ni ($m.h.q.$ -ni) (şəkil 4.46, *b*) ilişmə selini ölçməklə müəyyən etmək olar:

$$U_{mab} = \frac{\Psi}{\mu_0 k}. \quad (4.107)$$

Ölçmə sarğacının ilişmə selinin ölçülməsi vebermetrin və ballistik qalvanometrin köməyi ilə yerinə yetirilə bilər.

Birsarğacılı passiv induksiya çeviricilərindən başqa ikisarğacılı differensial çeviricilər istifadə olunur. Çeviricilərin eyni olmasına baxmayaraq, bu çeviricilərin yerləşdiyi hissələrin maqnit sahəsinin gərginliyi müxtəlif ola bilər.

Sabit maqnit sahəsinin parametrlərini ölçdükdə ilişmə selinin də-yişməsi aşağıdakı

üsullarla yerinə yetirilir: 1) ölçmə sarğacını sahədən çıxarmaqla və ya onu 180^0 çevirməklə; 2) sarğacı sahədə sabit sürətlə fırlamaqla və ölçmə sarğacını onun orta vəziyyətinə görə yelləməklə.

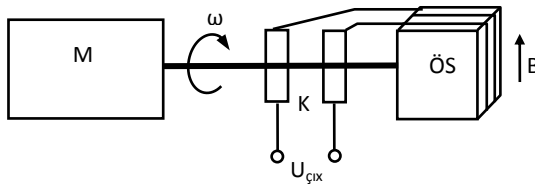
Birinci halda ilişmə selinin dəyişməsi *e.h.q.* və ya cərəyan impulsunun yaranmasına səbəb olur. İlişmə selinin $\Delta\Psi$ dəyişməsi *e.h.q.* və cərəyanla aşağıdakı kimi əlaqədardır:

$$\Delta\Psi = \int_0^{\infty} e dt = R \int_0^{\infty} i dt = RQ , \quad (4.108)$$

burada R – ölçmə sarğacı dövrəsinin müqaviməti; i – ölçmə sarğacının dövrəsindəki cərəyan; Q – elektrik yükü miqdarıdır.

Ölçmə sarğacını sahədən cəld çıxardıqda $\Delta\Psi = \Psi$, 180^0 döndər-dikdə isə $\Delta\Psi = 2\Psi$ olur.

Fırlanan sarğaclı çevirici (şəkil 4.47) ölçmə generatoru və ya induktor adlanır.



M – mühərrik; K – sürüşən kontaktlar; ÖS – ölçmə sarğacı

Şəkil 4.47

Çevirmə tənliyi (nüvəsiz sarğac) (4.101) ifadəsindən aşağıdakı ki-mi yazıla bilər:

$$e = \Omega n s \sin \alpha \cdot \sin \Omega t \cdot B , \quad (4.109)$$

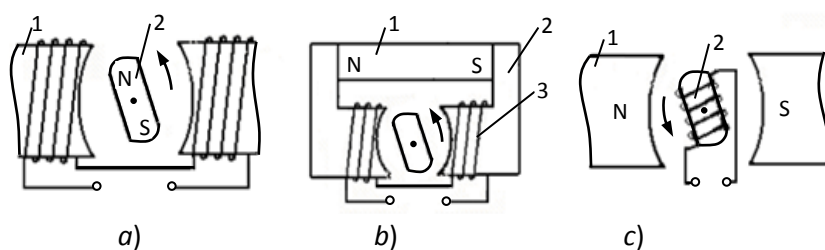
burada Ω – sarğacın fırlanmasının bucaq tezliyidir.

Fırlanma tezliyini artırmaqla bu ÖÇ-nin həssaslığını artırmaq olar. Həssaslıq 300 V/Tl-ya çata bilər.

Ferromaqnit nümunədə maqnit sahəsinin parametrlərini ölçmək üçün induksiya çeviriciləri istifadə olunduqda, ölçmə sarğacı aşağıdakı tələbatları təmin etməlidir: 1) nümunədə maqnit induksiyasını ölçmək üçün ölçmə sarğacının sarğıları nümunəni əhatə etməlidir və onun səthi-nə kip yapışmalıdır; 2) nümunədə maqnit sahəsinin gərginliyini ölçmək üçün sarğacın en kəsiyi düzbucaqlı, yastı (az hündürlüklü) olmalıdır, nümunənin səthinə kip yapışmalı (şəkil 4.41) və elə yerləşməlidir ki, onun oxu ölçülən maqnit sahəsinin gərginlik vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşsün. Həm də bu halda havada ölçülən sahə gərginliyi nümunənin səthindəki sahə gərginliyinə bərabər götürülür .

c) fırlanma tezliyinin və vibrasiya parametrlərinin çeviriciləri

Belə tipli çeviricilər (taxometrik çeviricilər) elektrik maşını generatorlarından idarətdir. Konstruktiv cəhətdən onlar maqnit induksiyası çeviricilərindən onunla fərqlənirlər ki, məlum induksiya maqnit sahəsi yaradan əlavə qurğu ilə (adətən sabit maqnitlə) təmin olunurlar, hərəkət edən elementlərin fırlanması isə fırlanma tezliyi ölçülən obyektə yerinə yetirilir. Şəkil 4.48-də fırlanma tezliyinin induksiya çeviricilərinin hazırlanmasının müxtəlif variantları göstərilir .



Şəkil 4.48

Sabit maqnitli taxometrik çeviricinin quruluşu şəkil 4.48, a-da göstərilir. Sabit 2 maqnitli rotor fırlandıqda 1 statorunda yerinə yetiril-miş dolaqdan keçən sel dəyişir və onda dəyişən *e.h.q.* yaranır. Bu *e.h.q.*-nin amplitudu və tezliyi rotorun fırlanma tezliyinə mütənasibdir: $f = np/60$, burada n – fırlanma tezliyi; p – sabit maqnitin qütb cütlüklərinin sayıdır. Şəkil 4.48, b-də 1 sabit maqnitdən və üzərlərinə 3 sarğacının iki yarım dolağı sarınmış maqnit yumşaq materialdan iki qütb ucluqları 2-dən ibarət olan çevirici göstərilir. Hava aralığında 4 ferromaqnit lövbəri fırlanır. Lövbərin forması elə seçilə bilər ki, o fırlandıqda qütblər arasındakı cəm hava aralığının uzunluğu sinusoidal qanunla dəyişsin. 3 sarğacında bu halda *e.h.q.* yaranır. Belə çeviricilərdə çox halda çıxış kəmiy-yəti kimi *e.h.q.* deyil, tezlik istifadə olunur.

Fırlanma tezliyi çeviricisinin ikinci variantı 1 sabit maqnitdən ibarət olan çevirici olub, onun maqnit sahəsində ölçmə obyektini ilə əlaqəli olan 2 sarğacı fırlanır (şəkil 4.48, c). Çeviricinin çıxış *e.h.q.*:

$$e = \Omega B_0 n s \cdot \sin \Omega t,$$

burada Ω – sarğacın fırlanma tezliyidir.

Vibrasiyanın parametrlərini ölçmək üçün sarğac mexaniki sürətdə vibrasiya edən obyektə birləşdirilir və bu halda onda *e.h.q.* yaranır:

$$e = \Omega X_m B_0 n l_{or} \cdot \sin \Omega t, \quad (4.110)$$

burada $x^l = \Omega X_m \sin \Omega t$ – $x = X_m \cos \Omega t$ qanunu ilə rəqs edən sarğacın sürəti; B – aralıqdakı induksiya; n və l_{or} – sarğıqlar sayı və sarğığın orta uzunluğudur.

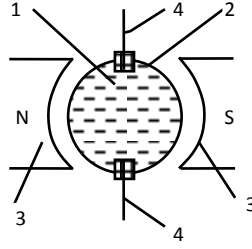
Vibroyerdəyişmənin və ya vibrotəcilin qiymətini almaq üçün çıxış siqnalı uyğun olaraq inteqrallayıcı və ya diferensiallayıcı gücləndiriciyə verilir. İnduksiya çeviriciləri vahidlərdən onlarla hərə qədər tezlikli və bir neçə millimetr amplitudlu vibrasiyanın parametrlərini ölçmək üçün tətbiq olunurlar.

ç) sərfləçənlərin induksiya çeviriciləri

Maqnit sisteminin qütbləri (3) arasında yerləşən qeyri-maqnit materialdan olan 2 boru kəmərinə 1 elektrik keçiricilikli maye (şəkil 4.49) axdıqda mayedə onun hərəkət sürətinə mütənasib olan *e.h.q.* yaranır. Müəyyən kiçik zaman intervalı Δt müddətində mayedə maqnit induksiyasının sabit qaldığını hesab edərək, *e.h.q.*-nin qiymətini aşağıdakı ifadədən tapmaq olar:

$$e = BDv, \quad (4.111)$$

burada B – maqnit induksiyası; D – borunun diametri; v – axının sürətidir.



Şəkil 4.49

Əgər axının sürəti en kəsik hədlərində eynicinsli deyil, lakin bo-runun oxuna görə simmetrikdirsə, (4.111) ifadəsində v sürəti v_{or} orta sürətinə dəyişdirilir :

$$v_{or} = \frac{1}{\pi r^2} \int_0^r 2\pi v dl, \quad (4.112)$$

burada l – borunun mərkəzindən olan məsafə; r – borunun radiusudur.

Yaranan *e.h.q.* boru kəmərinə izolə olunmuş 4 elektrodlarından götürülür. Boru kəmərlərinin diametri xeyli böyük ola bilər, ona görə də maqnit sahəsi yaratmaq üçün adətən sabit maqnit deyil, elektromaqnitlər istifadə olunur və onlar həm sabit, həm də dəyişən cərəyanla qidalandırılırlar. *E.h.q.* mayenin xassələrindən asılı deyildir, ona görə də sərföl-çənlərin induksiya İÖÇ ən geniş mayelər sinfi üçün tətbiq oluna bilər. Onlar xüsusi müqaviməti $10^3 - 10^5$ Om·m-dən artıq olmayan qatı, yeyici və çox çirkləyən mayelərin sərfini ölçmək üçün yararlıdır.

Maqnit-modulyasiyalı ilkin ölçmə çeviriciləri. *Maqnit-modulyasiyalı çeviricilərin* işi ferromaqnit materialı eyni zamanda sabit və dəyişən maqnit sahələrində (və ya müxtəlif tezlikli iki dəyişən sahədə) maqnitləndirdikdə onun maqnit vəziyyətinin dəyişməsi-nə əsaslanır. Maqnit seli ilə modulyasiya maqnit dövrəsinin qeyri-xətti xassələri hesabına mümkündür.

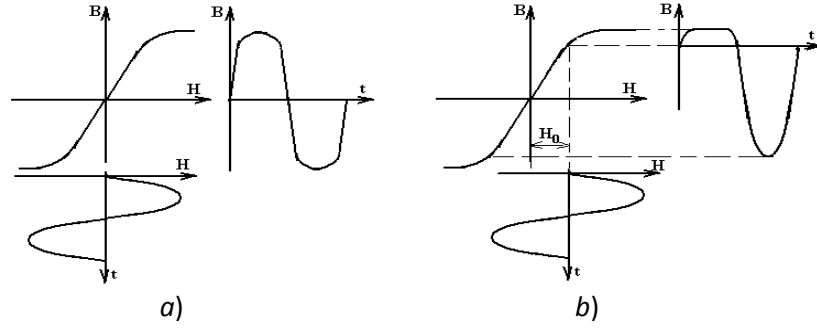
Maqnit-modulyasiyalı çeviricilər aşağıdakı hallarda istifadə olunur: 1) sabit maqnit sahəsinin gərginliyini ölçmək üçün (ferrozondlar); 2) yerdəyişməni ölçmək üçün (yerdəyişmə çeviriciləri); 3) sabit cərəyan ölçmə transformatorlarında; 4) maqnit gücləndiricilərində; 5) məntiqi elementlər və yaddaş qurğuları kimi hesablama texnikasında.

a) ferrozond çeviricilər

Ferrozond çeviricilər zəif sabit və asta dəyişən (100 Hs-dən artıq olmayaraq) maqnit sahələrinin maqnit induksiyasını ölçmək üçün, maqnit defektoskopiyasında, obyektin hər hansı oxları və maqnit induksiyası vektoru arasındakı bucaqları ölçmək üçün, ferromaqnit obyektləri aşkar etmək üçün, zəif maqnitli maddələrin maqnit həssaslığını və maqnit momentini ölçmək üçün, qradiyent ölçənlər yaratdıqda, Yer, kosmik fəzanın maqnit sahəsini tədqiq etdikdə, naviqasiyanın və istiqamətlənmənin maqnit sistemlərində, faydalı qazıntıların axtarışında və s. istifadə olunurlar.

Ferrozond çeviricilərin işi ferromaqnit materiallardan olan nüvələrin maqnitlənmə əyrisinin qeyri-xəttiliyinə əsaslanır.

Ferromaqnit materialda dəyişən sinusoidal $H = H_m \sin \omega t$ maqnit sahəsi ilə təsir etdikdə, materialda B induksiyasının əyrisi qeyri-sinusoidal, lakin zaman oxuna görə simmetrik olacaqdır (şəkil 4.50, a).



Səkil 4.50

Gərginliyi H_0 olan sabit maqnit sahəsi əlavə olunduqda maqnit-lənmə əyrisinin qeyri-xəttiliyindən induksiyanın simmetrikliliyi pozulur (şəkil 4.50, b) və bu halda induksiya əyrisinin tərkibində cüt harmonik-lər yaranır. Asimetriya dərəcəsi sabit maqnit sahəsinin H_0 gərginliyindən asılı olur. Bu asılılıq sabit maqnit sahəsinin gərginliyinin və ya induksiyanın maqnit-modulyasiyalı çeviricilərini yaratdıqda istifadə olunur. Belə çeviricilər *ferrozond* adı almışlar. Ferrozond çeviricilərdə dəyişən maqnit sahəsi dolağından dəyişən cərəyan axan sarğacın (təsirlən-dirici sarğacın) köməyi ilə yaranır.

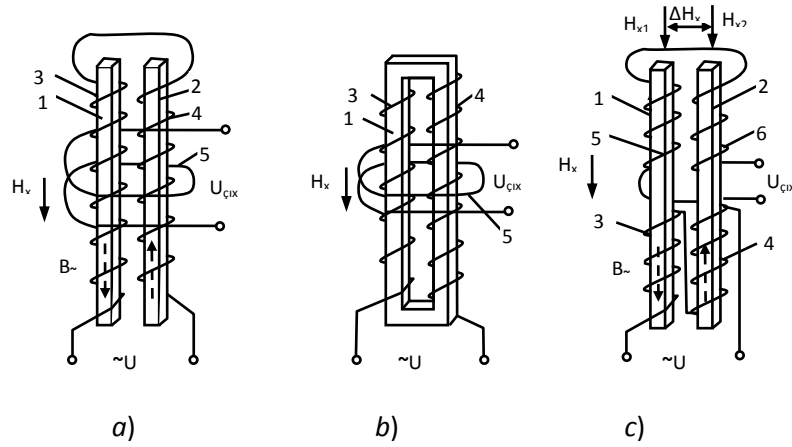
Ferrozond çeviricilər az güc mənimsəməsi, kiçik ölçüləri, yüksək həssaslığı, işləmə etibarlılığı, yüksək f.i.ə. və lokal səpələnmə maqnit sahələrinə seçiciliyi ilə xarakterizə olunurlar.

Konstruktiv cəhətdən *ferrozond* iki eyni yarımzondan ibarət olub, onlardan hər biri üzərində iki sarğac yerləşdirilmiş maqnitium-şaq materialdan olan nüvəyə malikdirlər. Sarğaclardan biri – təsirləndirici – dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşulur, digəri – ölçmə sarğacıdır. Təcrübədə hər iki nüvəni əhatə edən bir ölçmə sarğaclı ferrozond vericilər tətbiq olunur (şəkil 4.51, a, b).

İşləmə rejimi, konstruksiyası, köməkçi maqnit sahəsinin əlavə olunması üsulu ilə fərqlənən çox saylı ferrozond çeviriciləri növləri mövcuddur.

Xarici maqnit sahəsi və çeviricinin təsirləndirici maqnit sahəsi vektorlarının qarşılıqlı istiqamətlənməsindən asılı olaraq uzununa və eninə təsirlənməli ferrozondlar vardır.

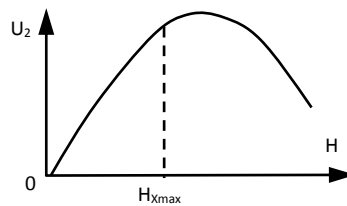
Açıq (şəkil 4.51, a) və ya qapalı (şəkil 4.51, b) maqnit dövrəli uzununa təsirlənməli diferensial ferrozondlar ən geniş tətbiq olunur. Di-diferensial ferromodulyasiyalı çevirici (şəkil 4.51, a) 3 və 4 təsirləndirici dolaqlı iki identik ferromaqnit 1 və 2 nüvəsindən ibarət olub, dolaqlar ardıcıl, lakin qarşı-qarşıya elə qoşulur ki, onların yaratdıqları dəyişən maqnit selləri 180° sürüşsün. Təsirləndirici dolaqlı (modullaşdırıcı dolaqlı) hər iki nüvəni ölçmə 5 dolağı əhatə edir. Sinusoidal təsirləndirici cərəyan $i = \dot{I}_m \sin \omega t$ 3 və 4 təsirləndirmə dolaqlarında $H_1 = H_2 = H_m \sin \omega t$ təsirləndirmə maqnit sahəsi (modullaşdırıcı sahə) yaradır. Hər iki nüvədə induksiyanın dəyişmə xarakteri eyni olduğu üçün, induksiyanın qiymətləri eyni, lakin müxtəlif işarəli ($B_1 = -B_2$) olur və 5 ölçmə dolağında e.h.q. yaranmayacaqdır.



Şəkil 4.51

Sabit maqnit sahəsi H_X təsir etdikdə (şəkil 4.51, a) birinci nüvədə gərginlik $H_1 = H_m \sin \omega t + H_X$, ikincidə isə $H_2 = H_m \sin \omega t - H_X$ olur. Bu halda maqnitlənmə əyrisinin qeyri-xəttiliyi nəticəsində 1 və 2 nüvələrin-də induksiyanın qiyməti müxtəlif olacaqdır. Ölçmə 5 dolağında qeyri-sinusoidal *e.h.q.* yaranacaqdır və onun əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onun T_0 periodu təsirləndirici cərəyanın periodundan iki dəfə azdır. Bu o deməkdir ki, sabit xarici əlavə maqnitləşdirici H_X sahəsi ferrozondun çıxış siqnalında ikinci harmonikin yaranmasına səbəb olur. Bu ikin-ci harmonik informativ olub, onun təsiredici (və ya amplitud) qiymətinə görə H_X gərginliyi haqqında mülahizə yürüdüür. Şəkil 4.52-də belə ferrozond çeviricinin xarakteristikası göstərilir.

$H_X = 0$ olduqda ferrozondun çıxış siqnalı sıfır bərabərdir. Xətti başlanğıc hissəyə yaxın hissə işçi hesab olunur və burada ikinci harmo-nikin təsiredici U_2 qiyməti H_X gərginliyinə mütənəsbdir, $U_2 = k_1 H_X$ və ya $U_2 = k_2 B_x$, burada k_1 və k_2 – ferrozond çeviricinin parametrləri ilə, təsirləndirmə sahəsinin tezliyi və qiyməti ilə təyin olunan əmsallardır. H_X -in (B_x -in) polyarlığı dəyişdikdə çıxış gərginliyi fazını 180° dəyişdirir.



Şəkil 4.52

H_X -i xeyli artırırdıqda (H_{Xmax} -dan çox) nüvənin materialının doyması baş verir. Şəkil 4.51, b-də göstərilən çeviricidə təsirləndirmə dolaqları qarşı qarşıya qoşulduğu üçün xarici maqnit sahəsi olmadıqda ($H_X = 0$) 1 nüvəsində maqnit seli sıfır bərabər olacaqdır. Bu halda 5 ölçmə dolağında *e.h.q.* yaranmayacaqdır. Sabit maqnit sahəsi təsir etdikdə ($H_X \neq 0$) qapalı 1 ferromaqnit konturunda Φ maqnit seli sıfırdan fərqlənir və ölçmə sarğacında *e.h.q.* yaranır. Şəkil 4.51, a-da göstərilən çeviricidə olduğu kimi çıxış siqnalının ikinci harmoniki U_2 informativ olur. Sabit sahənin gərginliyi H_X müəyyən maksimal H_{Xmax} qiymətindən artıq olduqda, nüvənin materialının doyması baş verir və ölçmə dolağındakı gərginlik praktiki olaraq sıfır qədər azalır.

Maqnit sahələrinin gərginliyinin və ya induksiyanın mütləq qiymətini ölçmək üçün

tətbiq olunan ferrozond çeviricilər ferrozond-sahə-ölçənlər adı almışlar. Onlarda təsirləndirmə dolaqları ardıcıl və qarşı-qarşıya qoşulur (şəkil 4.51, *a, b*).

Ferrozond-sahəölçənlər yüksək həssaslıqlı maqnit ölçmə çevirici-ləridir. İnduksiyanı ölçmək üçün ferrozond ÖÇ-nin aşağı ölçmə həddi 0,05 – 0,1 nTl-dir. Yuxarı ölçmə həddi çevirmə funksiyasının xəttliliyinin pozulması ilə məhdudlanır və adətən 5×10^{-4} Tl-dən artıq olmur. Daha güclü sahələri ölçmək üçün müvazinətləndirmə metodu tətbiq olunur.

Sabit maqnit sahəsinin müxtəlif cinsli olmasını qiymətləndirmək üçün ferrozond-qradientmetrlər istifadə olunur. Onlar quruluşlarına görə ferrozond-sahəölçənlərə uyğundurlar və onlardan dolaqların birləşmə-sinə görə fərqlənirlər. Ferrozond-qradientmetrdə (şəkil 4.51, *c*) 3 və 4 təsirləndirmə dolaqları bilavasitə ardıcıl birləşdirilir. Onda $H_{X1} = H_{X2}$, və deməli hər nüvədə induksiya ixtiyari zaman anında eynidir. Ölçmə 5 və 6 sarğacları ardıcıl – qarşı-qarşıya qoşulur, ona görə bu ferrozondun sarğacının ölçmə 5 və 6 sarğaclarıdakı e_1 və e_2 e.h.q.-nin fərqinə bərabər olan çıxış gərginliyi sıfıra bərabərdir. Əgər maqnit sahəsinin gərginliyi H_X sahə gərginliyi vektoruna perpendikulyar olan X istiqamətində dəyişirsə, onda 1 nüvəsinə təsir edən maqnit sahəsinin H_{X1} gərginliyi 2 nüvə-sinə təsir edən maqnit sahəsinin H_{X2} gərginliyinə bərabər olmayacaqdır. Bu ona səbəb olacaqdır ki, hər nüvədəki induksiya eyni olmayacaqdır və $U_{çix} = e_1(t) - e_2(t)$ çıxış siqnalı yaranacaqdır.

Ferrozond-sahəölçəndə olduğu kimi, çıxış gərginliyi qeyri-sinu-soidaldir, lakin onun əsas xüsusiyyəti həmçinin ikinci harmonikin olma-sıdır. Çıxış siqnalının amplitudu maqnit sahəsinin $G(X)$ qradientinə mütənasibdir :

$$G(X) = \frac{H_{X1} - H_{X2}}{\Delta X} = \frac{\Delta H_X}{\Delta X}, \quad (4.114)$$

burada $\Delta X - X$ koordinatının artımıdır.

Nüvələr arasındakı ΔX məsafəsi ferrozond çeviricilərin bazası ad-lanır. Bazanın qiyməti vahidlərlə millimetrə (3-4 mm) bərabər olur.

Ferrozond-qradientmetrlərin ölçmə diapazonu vahidlərlə-yüzlər-lə min amper bölünmüş metr kvadratına bərabərdir.

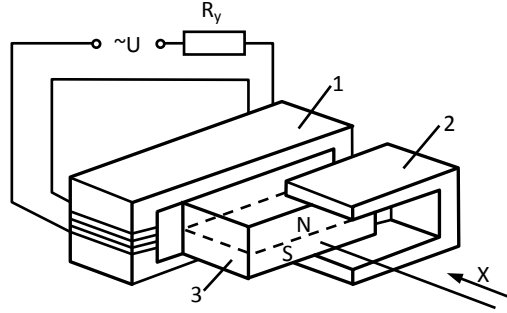
ç) maqnit-modulyasiyalı yerdəyişmə çeviriciləri

Çeviricinin işləməsi ferromaqnit nüvəyə sarınmış dolağın nüvə-nin aralığında sabit maqnit yerini dəyişəndə induktivliyinin dəyişməsinə əsaslanır. Şəkil 4.54-də maqnit-modulyasiyalı yerdəyişmə çeviricisinin quruluşu göstərilir.

İki 1 və 2 nüvələri arasında sabit maqnit 3 yerləşir. Maqnitin ya-ratdığı sel nüvələrdən qapanır. Maqnitin simmetrik vəziyyətində nüvə-lərdən keçən sellər bərabərdir və, deməli, nüvənin hər birində sabit maqnitlənmənin eyni induksiyası təsir edir:

$$B = 0,5\sigma\Phi_{=} / (2s_{niv}),$$

burada $\Phi_{=}$ – sabit maqnitin seli; σ – səpələnmə əmsali; s_{niv} – nüvənin en kəsiyinin sahəsidir. 1 nüvəsinin üzərinə w sarğılar saylı dolaq sarınmışdır, 2 nüvəsi isə maqnit şuntudur.



Şəkil 4.54

Dolaq rezistor vasitəsilə dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşulmuşdur. Maqnit sol tərəfə yerini dəyişdikdə 1 nüvəsində induksiya artır və materialın maqnit nüfuzluluğu azalır. Dəyişən selə maqnit müqaviməti artır, dolağın induktivliyi azalır, R_y -dən axan cərəyan və ondakı gərginlik düşgüsü artır. Beləliklə çeviricinin giriş kəmiyyəti maqnitin yerdəyişməsi, çıxış kəmiyyəti isə R_y müqavimətində düşən gərginlikdir.

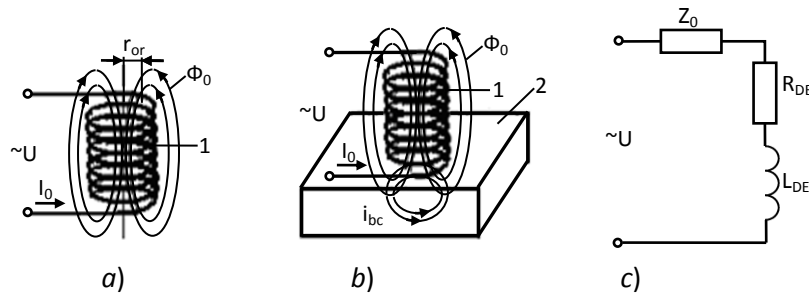
Burulğan cərəyanlı ilkin ölçmə çeviriciləri, nüvə-rezonans İÖÇ, Holl İÖÇ.

Burulğan cərəyanlı İÖÇ-nin işi xarici elektromaqnit sahəsinin bu sahənin elektrik keçiricilikli obyektə yaratdığı burulğan cərəyanların elektromaqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirinə əsaslanır. Burulğan cərəyanların paylanması və sıxlığı elektromaqnit sahəsinin mənbəyi, nəzarət (ölçmə) obyektinin həndəsi və elektromaqnit parametrləri ilə müəyyən olunur. Adətən elektromaqnit sahəsinin mənbəyi kimi *burulğan cərəyanlı* çevirici (BCÇ) adlanan sinusoidal cərəyanlı induktiv sarğac istifadə olunur.

Sarğacdən impuls və ya sinusoidal I_0 cərəyanı axdıqda və onun yaxınlığında elektrik keçiricilikli obyekt olmadıqda (şəkil 4.55, a) 1 sarğacının tam müqaviməti aşağıdakı düstura görə müəyyən olunacaqdır:

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0, \quad (4.114)$$

burada R_0 və L_0 sarğacın xüsusi müqaviməti və induktivliyidir.



Şəkil 4.55

2 ölçmə obyektini yaxınlığında elektrik keçiricilikli obyektin 1 sarğacı olduqda (şəkil 4.55, b) I_0 cərəyanı ilə sarğacdə yaranan maqnit sahəsinin (təsirləndirmə sahəsinin) qüvvə xətləri sarğacın sarğılarını əhatə edir və elektrik keçiricilikli obyektədən qapanır. Bu halda elektrik keçiricilikli obyektin üst qatında i_{bc} burulğan elektrik cərəyanları yaranaraq, dairə üzrə qapanırlar

və təsirlənmə sahəsinin qüvvə xətlərini əhatə edirlər. Burulğan cərəyanların sıxlığı və paylanması γ xüsusi elektrik keçiriciliyindən, μ_m mütləq maqnit nüfuzluluğundan, sarğac və obyekt arasındakı h aralığından, obyektin materialının bütövlüyündən və digər faktorlardan asılıdır.

Daxilolma dərinliyi tezlik artdıqca azalır. Məsələn, mis və alümi-nium üçün 50 Hs tezliyində elektromaqnit sahəsi təxminən 10 mm dərinlikdə 95% azalır, yüksək tezliklərdə (500 kHs) isə daxilolma dərinliyi 0,1 mm-ə qədər azalır. Müəyyən maksimal δ_{max} dərinliyindən böyük dərinliklərdə praktiki olaraq burulğan cərəyanları olmur. Burulğan cərəyanların maksimal daxilolma dərinliyini aşağıdakı düsturla qiymət-ləndirmək olar :

$$\delta_{max} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_m\gamma}} = \frac{r_{or}\sqrt{2}}{\beta}, \quad (4.115)$$

burada $\beta = r_{or}\sqrt{\omega\mu_m\gamma}$; r_{or} - sarğacın orta radiusudur.

Burulğan cərəyanlar təsirləndirmə Φ_0 sahəsindən az olan və hər zaman anında ona əks olan özlərinin Φ_{bc} təsirləndirmə sahəsini yaradırlar. Φ_{bc} və Φ_0 sahələrinin qarşılıqlı təsirindən (şəkil 4.55, b) sarğacın yerləşdiyi elektrik sahəsinin gərginliyi dəyişir. Bu halda sarğacın R müqaviməti və L induktivliyi və uyğun olaraq X_L müqaviməti dəyişir. 1 induktivlik sarğacının 2 obyekt ilə qarşılıqlı əlaqəsini ekvivalent sxemlə təsvir etmək olar (şəkil 4.55, c).

Beləliklə, dəyişən cərəyanlı sarğacın yaxınlığında elektrik keçiri-cilikli mühitin olması sarğacın aktiv müqavimətinin artmasına səbəb olur. Əgər nəzarət obyekt qeyri-maqnit elektrik keçiricilikli obyekt-dirsə, elektromaqnit sahənin nəticəvi gərginliyi azaldığı üçün sarğacın L induktivliyi azalacaqdır. Əgər obyekt maqnit materialdan hazırlanırsa, sarğacın L induktivliyi artır:

$$R_1 = R_0 + R_{DE}; \quad L_1 = L_0 + L_{DE}, \quad (4.116)$$

burada R_{DE} – 2 obyektinin burulğan cərəyanlarla qızması hesabına enerji itkiləri səbəbindən induktiv sarğaca daxil edilən aktiv müqavimət; L_{DE} – 1 induktivlik sarğacının ilişmə selinin dəyişməsi nəticəsində daxil edilən induktivlikdir.

Təsirləndirmə sarğacının aktiv R və reaktiv X müqavimətlərinin dəyişməsi metalın γ xüsusi elektrik keçiriciliyi və μ maqnit nüfuzluluğundan, maqnitləndirici cərəyanın f tezliyindən, h aralığından asılıdır. γ və μ nə qədər böyükdürsə, sarğacın parametrləri bir o qədər çox dəyişir, lakin burulğan cərəyanların metala daxil olma dərinliyi bir o qədər azdır. Aşağı tezlikli burulğan cərəyanlar daha dərinə daxil olurlar, yük-sək tezlikli cərəyanlar nazik üst təbəqə ilə məhdudlanırlar.

Zədələrin olması, yəni obyektin materialının bütövlüyünün pozulması (məsələn, çat) burulğan cərəyanların nəzarət obyektində paylanmasının və sıxlığının dəyişməsinə səbəb olur. Bu halda sarğacın parametrləri yenidən dəyişir və $R_2 = R_0 + R_{DE} + \Delta R$ və $L_2 = L_0 \pm L_{DE} + \Delta L$ olur. Bu isə çat zonasında μ və γ -nın (çatın) əvvəlcədən dəyişməsi nəticəsidir.

Sarğacın aktiv və induktiv müqavimətlərinin dəyişmələrini təyin edərək, zədənin xarakteri, obyektin materialının elektromaqnit parametrləri və digər kəmiyyətlər haqqında informasiya almaq olar.

a) *burulğan cərəyan İÖÇ – nin təsnifatı*

Burulğan cərəyan çeviricisi (BCÇ) – nəzarət olunan obyekt-də burulğan cərəyanları təsirləndirməyə və obyektin parametrlərindən asılı olan elektromaqnit sahəsini çeviricinin siqnalına çevirməyə xidmət edən bir neçə dolağa malik olan qurğudur. Dolaqlardan biri –

təsirləndirmə dolağı – mütləq uyğun generatordan dəyişən cərəyanla qidalandırılır. Çoxdolaqlı BCC-nin iş prinsipi bir- və ikidolaqlılardan fərqlənmir.

BCC-lər aşağıdakı kimi təsnif oluna bilər: 1) obyektin parametrlərinin çıxış signalına çevrilməsi tipinə görə; 2) dolaqların birləşməsi üsuluna görə; 3) BCC-nin obyektə nəzərən yerləşməsindən asılı olaraq.

Obyektin parametrlərinin çıxış signalına çevrilməsi tipinə görə BCC-lər parametrik və transformator tiplərinə bölünür.

Parametriklər – bir induktivlik sarğacılı BCC olub, onun parametrlərinə görə obyektin keyfiyyəti haqqında mülahizə irəli sürülür. Çıxış signalı BCC-nin sarğacının tam müqavimətinin dəyişməsidir.

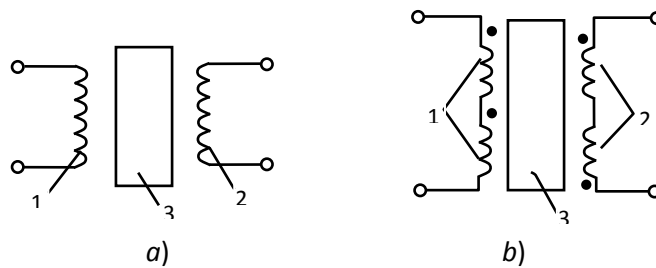
Transformatorlular – iki (və daha çox) induktivlik sarğacına malik olan BCC-dir. Bu dolaqlardan biri (təsirləndirmə) elektromaqnit sahəsi, və deməli, obyektə burulğan cərəyanları yaratmağa, digəri (ölçmə) – BCC-ni kəsən nəticəvi maqnit sahəsi ilə yaranan e.h.q.-ni ölçməyə xidmət edir. Ölçmə sarğacı transformatorun ikinci tərəf dolağı rolunu oynayır. Çeviricinin çıxış signalının informativ parametri obyektin parametrlərindən asılı olan ölçmə sarğacındakı sinusoidal gərginliyin amplitudunun və fazının dəyişməsidir.

Parametrik BCC-lərin üstünlüyü onların sadəliyi, nöqsən cəhəti çeviricinin çıxış signalının temperaturdan asılılığıdır.

Transformatorlu BCC-lər çıxış signalının temperaturdan az asılı olması ilə xarakterizə olunurlar.

Dolaqların birləşmə üsuluna görə BCC-lər mütləq və diferensial-lara bölünür.

Mütləqlər – çıxış signalı nəzarət zonasında obyektin parametrlərinin mütləq qiymətləri ilə müəyyən olunan BCC-lərdir. Onlar təsirləndirmə 1 və ölçmə 2 dolaqlarına malikdirlər (şəkil 4.56, a).



Şəkil 4.56

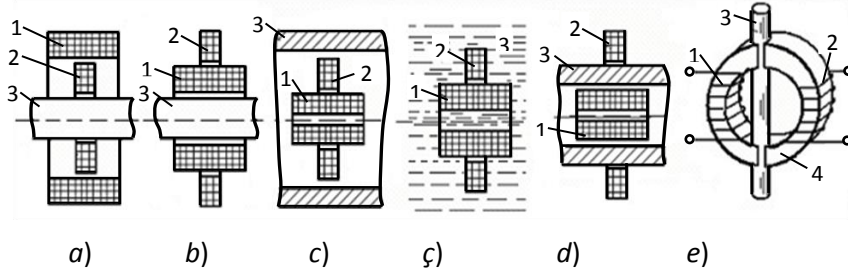
Diferensiallar – ardıcıl-razılaşdırılmış birləşmiş iki eyni təsirləndirmə dolaqları və iki qarşı-qarşıya qoşulmuş ölçmə dolaqları olan (şəkil 4.56, b) BCC-lərdir. Burada γ və μ -nün "səlis" dəyişmələrinin təsiri xeyli azaldılmışdır, çünki çıxış signalı nəzarət zonasında nəzarət obyektinin parametrlərinin fərqi ilə müəyyən olunur və bu da "signal/ maneə" nisbətini kəskin artırır.

BCC-nin nəzarət obyektinə nəzərən yerləşməsindən asılı olaraq BCC-lər *içərisindən keçilən, üstədən yerləşən, ekran və kombinə olunmuşlara* bölünür.

İçərisindən keçilənlər xaricilərə, daxililərə və batırılanlara bölünür.

Şəkil 4.57-də transformatorlu içərisindən keçilən BCC-lərin müxtəlif növləri göstərilir. İçərisindən keçilən xarici BCC-lərin sarğacları (şəkil 4.57, a, b) obyektə əhatə edir. İçərisindən keçilən daxili BCC-lərin sarğacları obyektin daxilinə salınır (şəkil 4.57, c). Batırılanlar (şəkil 4.57, ç) maye elektrik keçiricilikli mühitlərə nəzarət etmək üçün onların daxilində yerləşdirilir.

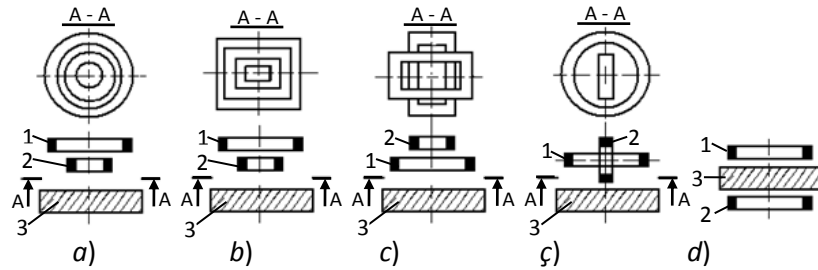
Ekran içərisindən keçilən BCC-lərdə təsirləndir-mə və ölçmə sarğacı obyektin müxtəlif tərəflərində yerləşdirilir (şəkil 4.57, d). BCC-lərin bu konstruksiyalarında ölçmə sarğacı təsirləndirici sarğacın daxilində yerləşdirilə bilər (şəkil 4.57, a) və ya ölçmə sarğacını əhatə edə bilər (şəkil 4.57, b). İçərisindən keçilənlərə uzununa obyektə əhatə edən maqnit keçiricilikli “çatdaqlı” adlanan BCC-ləri də aid etmək olar (şəkil 4.57, e).



Şəkil 4.57

Xarici, daxili və batırılan BCC-lər həm parametrik, həm də trans-formator tipli ola bilər. Ekran BCC-lər yalnız transformator tipli ola bilərlər.

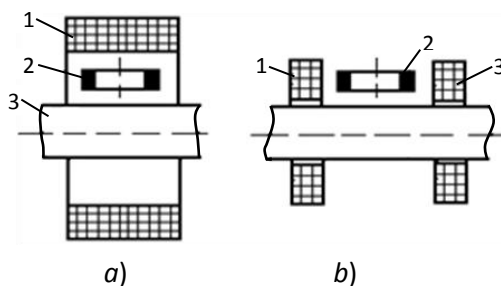
Üstdən yerləşən BCC-lər obyektin səthinə yaxın yerləşdirilir, on-lar hissənin bir tərəfində yerləşdirilən bir və ya bir neçə dolaqlı olurlar. Onlar köndələn, yəni oxları nəzarət olunan səthə perpendikulyar olur. Bu çeviricilər uzununa da yerləşdirilə bilər, bu halda sarğacın oxları nəzarət olunan səth üzrə istiqamətlənir. Üstdən yerləşən BCC-lərin sarğacı yumru koaksial (şəkil 4.58, a), düzbucaqlı (şəkil 4.58, b), düzbu-caqlı xaçşəkilli (şəkil 4.50, c), qarşılıqlı perpendikulyar oxlu (şəkil 4.58, ç) ola bilər. Üstdən yerləşdirilən BCC-lərin təsirləndirmə və ölçmə sarğacı obyektə müxtəlif tərəflərdə yerləşə bilərlər (şəkil 4.58, d). Bunlara *ekran çeviriciləri* deyilir.



Şəkil 4.58

Üstdən yerləşən BCC-lər ferromaqnit nüvəli və onlarsız hazırlanır. Nüvənin olmasına görə (adətən ferritdən) nəzarət olunan parametrlərin dəyişməsinə mütləq həssaslıq artır və tələb olunan topologiyalı elek-tromaqnit sahəsi formalaşır. Adətən nəzarət zonasını azaltmaq məqsədilə nüvələrdən maqnit sahəsini məhdudlaşdırmaq üçün istifadə olunur.

Kombinasiya olunmuş BCC-lər içərisindən keçilən təsirləndirmə sarğacının və üstdən yerləşdirilən ölçmə sarğacının birləşməsindən ibarətdir. Kombinasiya olunmuş BCC-lərin konstruksiyaları şəkil 4.59-da göstərilir. Kombinasiya olunmuş BCC-lər çıxış signalının BCC-nin içərisindən keçilən və üstdən yerləşdirilən sarğacının oxlarının obyektin səthinə nəzərən əyilməsindən böyük asılılığı ilə xarakterizə olunurlar.



Şəkil 4.59

Belə çeviricilər geniş tətbiq olunurlar.

BCC-nin sarğacı bir-birinə nəzərən hərəkətli və hərəkətsiz ola bilərlər. Hərəkət edən sarğac hərəkətsiz sarğacın həm daxilində, həm də onların ətrafında fırlana bilərlər. Hərəkət edən sarğacın hərəkətsiz sarğacın daxilində fırlandığı çeviricilər *rotor* çeviriciləri adlanır.

Rotor BCC-lərin istifadə olunması hissənin səthini, hətta BCC hissənin səthi üzrə hərəkət etmədikdə belə skanlamağa (dairəvi) imkan verir. Bundan başqa nəzarət prosesində sarğacın fırlanması BCC-nin siqnalının əlavə modulyasiyasına səbəb olur və o, maneələr və siqnallar üçün müxtəlif olur. Bu hal maneələrin təsirini azaltmağa və nəzarətin doğruluğunu artırmağa imkan verir.

b) BCC-lərin üstünlükləri və nöqsanları

BCC-nin *üstünlüklərinə* aşağıdakılar aiddir: 1) BCC çoxparametr-li nəzarət yerinə yetirməyə imkan verir, çünki *e.h.q.* (və ya müqavimət) nəzarət obyektinin bir çox parametrlərindən və BCC ilə nəzarət obyektinin qarşılıqlı yerləşməsindən asılıdır; 2) kontaktsiz nəzarət və ölçmə imkanı, bu da hərəkət edən obyektlərə nəzarət etməyə imkan verir; 3) BCC-nin çıxış siqnallarına praktiki olaraq rütubət, təzyiq, qaz mühitinin çirklənməsi, radioaktiv şüalanma təsir etmir.

BCC-nin *nöqsanları*: 1) BCC-nin çıxış siqnalına obyektin çoxlu parametri təsir etdiyi üçün realizasiyasının çətinliyi; 2) burulğan cərəyan çeviriciləri böyük xətalara malikdirlər. Bunun səbəbi əsas etibarilə ke-çirici cismin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsidir.

Xarici içərisindən keçilən BCC-lərin köməyi ilə xətti uzanan obyektlərə (naqıl, millər, borular və s.) nəzarət edilir, kiçik məmullara kütləvi nəzarət olunur. Daxili içərisindən keçilən BCC-lərin köməyi ilə boruların, balonların, müxtəlif hissələrdəki dəşiklərin divarlarının daxili səthlərinə nəzarət olunur.

Batırılan BCC-lər maye mühitlərə nəzarət etmək üçün, ekran və içərisindən keçilənlər – borulara nəzarət üçün, çatdaqlılar – məftillərə nəzarət üçün tətbiq olunur.

İçərisindən keçilənlər perimetr üzrə parametrlərin inteqral qiymətlənməsinə imkan verirlər, ona görə də onlar onun xassələrinin kiçik (məhdud) dəyişmələrinə kiçik həssaslığa malikdirlər.

Üstdən yerləşdirilənlər içərisindən keçilənlərə nisbətən xeyli bö-yük imkanlara malikdirlər. Onlar defektoskopiyada geniş tətbiq olunurlar və yastı səthli obyektlərə və mürəkkəd formalı obyektlərə nəzarət edirlər. Onlar həmçinin yığcamlıq və nəzarətin yüksək həssaslığı tələb olunanda tətbiq olunurlar.

Defektoskopiyadan başqa xüsusi konstruksiyalı BCC-lər aşağıdakı hallarda: məmulların məkan vəziyyətinə nəzarət etmək üçün, vibra-siyanın parametrlərini, hərəkət sürətini ölçmək üçün, nazik lövhələrin xətti ölçülərinə və örtüklərin qalınlığına (induksiyalı qalınlıq ölçmə),

bucaq və xətti yerdəyişmələrə kontaktsiz nəzarət üçün tətbiq olunurlar.

Nüvə - rezonans ilkin ölçmə çeviriciləri. Bu çeviricilərin əsasını nüvə-mağnit rezonansı (NMR) hadisəsi təşkil edir. Nüvə rezonansı kvant hadisələrinə aiddir. NMR mikro hissəciklərin (nüvələrin atomlarının və elektronlarının) maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsiridir. Elə maqnit ölçmə çeviriciləri kvantlı adlanır ki, onların işləməsi göstərilən mikrohissəciklərin təsir edən maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirinə əsaslanır. Bu hadisə aşağıdakından ibarətdir:

Əgər paramaqnit cisimləri sabit maqnit sahəsində yerləşdirsək, o halda maqnit momentinə və hərəkət miqdarı momentinə malik cismin nüvələri sabit maqnit sahəsinin gərginlik vektoru (H_z) ətrafında aşağıdakı presessiya tezliyi ilə presessiya edəcəkdir:

$$\omega = jH_z,$$

burada j – maqnit momentinin hərəkət miqdarı momentinə hiromağnit nisbətidir.

Müxtəlif cisimlər üçün j 10^{-3} %-lik yüksək dəqiqliklə müəyyən edilmişdir.

Bu tənlik aşağıdakı kimi yazılır (Larmor tənliyi):

$$\omega = jB_z; \quad B = \mu H.$$

Əgər $\omega = \omega_x$, onda NMR baş verir. Bu halda presessiyanın amplitudu maksimum olur və NMR-ın anı qeyd olunur.

Ölçmələr çox yüksək dəqiqliklə aparıla bilər. Xəta 10^{-4} %-dən artıq olmur. NMR çeviriciləri maqnit ölçmələri üçün, mürəkkəb birləşmələrin strukturunu təyin etmək üçün, müxtəlif cisimlərin kəmiyyət və keyfiyyətinin təhlili üçün, analitik tədqiqatlar üçün istifadə olunur. Mürəkkəb struktur birləşmələrinin tədqiqi üçün NMR çox vacibdir.

Paramaqnit cisimlərdə molekulyar cərəyanların istiqamətlənməsi elədir ki, bu cərəyanların yaratdığı daxili maqnit sahəsi xarici maqnitlənmə sahəsini gücləndirir. Bu cisimlər eynicinsli olmayan maqnit sahəsinə cəzb olunur. Diamaqnit cisimlər isə eynicinsli olmayan maqnit sahəsindən itələnilirlər.

Maqnit induksiyası B -ni ölçməyə imkan verən NMR çeviricisinə baxaq. Bu çevirici maqnit induksiyası B -ni çox yüksək dəqiqliklə ölçməyə imkan verir. Belə cihazlar teslametrlər adlanır. Onlarda kvantlı maqnit ölçmə çeviricisinin müəyyən növü istifadə olunur.

NMR çeviricisinin işləmə prinsipi aşağıdakı kimidir. Yalnız hərəkət miqdarı momentinə deyil, həm də maqnit momentinə malik cismin atomunun nüvələri xarici maqnit sahəsində yerləşdirildikdə, xarici maqnit sahəsinin induksiya vektoru ətrafında presessiya etməyə başlayır. Cismin atomlarının presessiya tezliyi f xarici maqnit sahəsinin induksiyası B ilə aşağıdakı kimi əlaqəlidir:

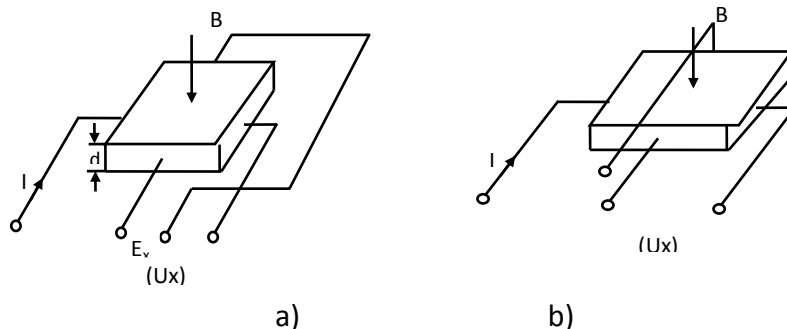
$$f = \frac{jB}{2\pi}.$$

Holl ilkin ölçmə çeviriciləri. Şəkil 4.62, a və b -də Holl çeviricisinin elektrodlarından cərəyan ötürülməsinin yerinə yetirilməsi göstərilir. Holl elektrodlarının dövrəsində yaranan $e.h.q.$ -ni aradan qaldırmaq lazımdır. Şəkil 4.62, a -da cərəyan ötürülməsi düzgün olmayaraq, şəkil 4.62, b -də isə düzgün olaraq yerinə yetirilmişdir.

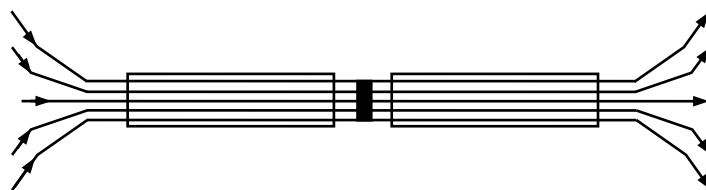
Şəkil 4.62, b -də cərəyan ötürücüsü maqnit sahəsinin qüvvə xətləri ilə kəsişən kontur yaratmışdır. Ona görə də burada yaranan $e.h.q.$ kiçik qiymətli, bir neçə onlarla mV-dan artıq olmur. *Termo-e.h.q.*-dən xəta onda yaranır ki, istilik ötürən təbəqədə yerləşən Holl elektrodları arasında temperatur düşgüsü yaranır. 18–20 °C temperaturda termo- ehq-nin qiyməti 300 mkV/C- yə qədər olur. Holl $e.h.q.$ -nin əsas düsturu:

$$E_h = \frac{R_h}{d} I \cdot B ,$$

burada R_h – Holl sabiti; B – maqnit induksiyası; d – yarımkəçirici lövhənin qalınlığıdır.



Şəkil 4.62



Şəkil 4.63

a) ölçmə texnikasında Holl çeviricisinin istifadə olunması

I cərəyanını sabit saxladıqda ($I = const$) alarıq:

$$E_h = \frac{R_h}{d} s \cdot B = SB .$$

Holl *e.h.q.*-sinin əsas düsturu Holl çeviricisinin istifadə olunma sahələrini müəyyən etməyə imkan verir. Çox zəif sabit maqnit sahələrini ölçdükdə (məsələn, Yerın maqnit sahəsini) E_h çox kiçik alınır, bu halda güclənmə tələb olunur. Bunu 2 yolla yerinə yetirmək olar:

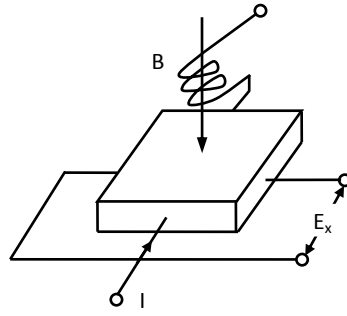
1) maqnit güclənməsi, yəni maqnit sahəsinin maqnit konsentratörə tətbiq etməklə güclənməsi. Konsentratör – uzunluğu 20 sm olan iki mildən ibarət olub, onların hava aralığında Holl çeviricisi yerləşdirilir (şəkil 4.63).

2) elektron güclənməsi. Bu halda sənaye tərəfindən müxtəlif K əmsallı istehsal olunan elektron gücləndiricisi istifadə olunur və E_h gücləndirilir. Nəticədə çox kiçik maqnit sahələrini (0,004 A/m qədər) ölçmək olar.

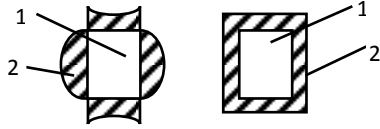
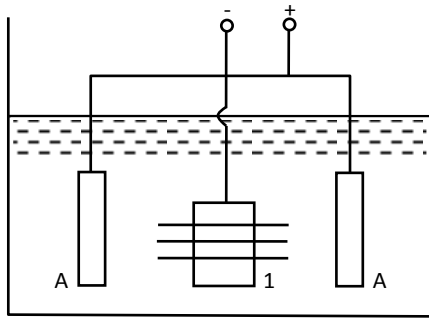
Qeyd etmək lazımdır ki, bu üsulla, sabit və dəyişən cərəyan şiddətini ölçmək olur.

Əgər idarəedici I cərəyanını maqnit sahəsi yaradan sarğacdən keçirsək, onda B induksiyası I -yə mütənəsib olacaqdır (şəkil 4.64). Aydın ki, sabit cərəyanda $\omega = 0$, dəyişən cərəyanda isə ω çox geniş dəyişmə diapazonuna malik olur. Beləliklə həm sabit, həm də dəyişən ölçülən cərəyanın qiymətini almış olur. Əgər I_+ , onda B_+ ; əgər I_- , onda B_- olur.

Şəkil 4.64. Holl çeviricisi ilə $H(B)$ -nin ölçülməsi sxemi göstərilir.



Şəkil 4.64



a) b)

Şəkil 4.65

Müsbət cəhətləri: a) ölçülən cərəyanların çox geniş diapazonu; b) geniş tezlik diapazonu; c) cərəyanların topoqrafiyasını öyrənmə imkanı, məsələn elektrolitik qabda cərəyanların paylanması (şəkil 4.65).

Şəkildə 1 – qalvanik üsulla üzərinə metalın elektrik çökdürülməsi yerinə yetirilən hissə; 2 – qalvanik örtük (qalvanik sink, xrom, nikel və s.); a) düzgün olmayan (qeyri müntəzəm) örtük, b) düzgün (müntəzəm) örtük. Axırınıcı şərti əldə etmək üçün axan cərəyanların topoqrafiyasını bilmək lazımdır.

Qalvanik qabda elektrodların yerləşməsinə və formasını dəyişməklə cərəyanların tələb olunan paylanmasını əldə etmək olar (A – anod).

b) Holl İÖÇ-ləri ilə gücün ölçülməsi

Elektrik gücü cərəyan və gərginliyin hasilinə bərabər olduğu üçün Holl çeviricisi elektrik gücü çeviricisi kimi istifadə oluna bilər.

Məlumdur ki, sabit cərəyanda

$$P = UI$$

və dəyişən cərəyanda

$$P = UI \cos \varphi .$$

Bu əməliyyatı yerinə yetirmək üçün şəkil 4.64-də R_y yükündən axan I_y cərəyanını təsirlənmə sarğacından buraxmaq lazımdır. Bu da Holl çeviricisinin müstəvisini kəsən maqnit sahəsi yaradır. Eyni zamanda Holl çeviricisindən yük gərginliyi U_y -ə mütənasib olan idarəedici I cərəyan buraxılır. Bu halda

$$E_h = k_1 HI = k_2 P; \quad I = k' U_y; \quad H = k'' I_y.$$

Göründüyü kimi E_h -nin gücdən $E_h = f(P)$ asılılığı xətti alınır.

Məlumdur ki, ani güc $p = ui$. Cərəyan və ya maqnit sahəsi gərginliyə, idarəedici cərəyan isə yükdəki I_y cərəyanına mütənasibdir və ya əksinə:

$$u = U_m \sin \omega t,$$

$$i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi).$$

i və u -nin qiymətlərini p -nin ifadəsində yerinə yazıb, bir sıra çevrilmələrdən sonra :

$$E_h = kUI \cos \varphi$$

dəyişən cərəyanın aktiv gücünü alırıq, yəni Holl *e.h.q.*-si gücə bərabərdir.

Holl çeviricisinin mənfi cəhətləri:

1. E_h temperaturdan asılıdır. Müxtəlif yarımkeçirici materiallar üçün onun qiyməti müxtəlif olur. Onu sxemdə temperaturdan asılı rezistorlar tətbiq etməklə kompensasiya etmək olar .

2. Holl çeviricisinin keyfiyyətinə hazırlanma texnologiyası (qalınlığın qeyri müntəzəmliyi, kristaldan düzgün olmadan kəsib çıxarma), cihazın hazırlanma üsulu və çıxımların lehəmlənməsi keyfiyyəti təsir edir.

Müsbət cəhətləri: iki kəmiyyətin bilavasitə hasili, kiçik ölçüləri və çəkisi (bunlar bu çeviricini çox dar aralıqlarda və əlçatmaz yerlərdə istifadə etməyə imkan verir ki, orada başqa çeviricilər istifadə etmək mümkün deyil) və xarakteristikanın gücə görə xəttiliyidir.

Elektrokinetik İÖÇ, qalvanik İÖÇ, ionlaşdırıcı İÖÇ, çox funksiyalı İÖÇ.

Onlarda aşağıdakı prinsip istifadə olunur. Polyar maye deşikli arakəsmədən məcburi axanda potensiallar fərqi yaranır. Deşikli arakəsmə kimi xüsusi farfor və ya şüşə istifadə olunur. Bu arakəsmədə çox kiçik deşiklər olur. Yaranan potensial axma potensialı adlanır.

Şəkil 4.66-da çeviricilərin iki tipi göstərilir: a) axınlı, yəni sərfli; b) sərfsiz (membranlı).

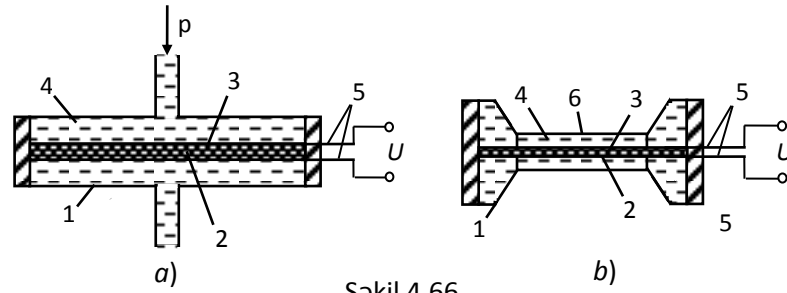
Şəkildə 1 – gövdə, 2 – deşikli arakəsmə, 3 – metal divar, 4 – maye, 5 – çıxımlar, 6 – döyünən təzyiqi və ya qüvvəni qəbul edən nazik membran.

Şəkil 4.66, *a*-da sabit potensiallar fərqi, şəkil 4.66, *b*-də isə dəyişən potensiallar fərqi alınır. Şəkil 4.66, *a* üçün sabit potensiallar fərqi arakəsmədə təzyiq düşgüsünə mütənasibdir.

Axının potensialı:

$$E = \frac{\rho \varepsilon P}{\mu \gamma},$$

burada ε – dielektrik sabiti; P – hidrostatik təzyiq; ρ – elektrokinetik potensial; μ – mayenin dinamik özlülüyü; γ – mayenin xüsusi elektrik keçiriciliyidir.



Şəkil 4.66

Deşiklərin diametri $10 \div 90 \text{ mkm}$ olur. Maksimal həssaslıq $3 \div 60$ hədlərində olur. Bu halda 1 N/m^2 təzyiq düşgüsünə $10 \div 50 \text{ mV}$ alınır

Əgər $P = 100 \text{ kN/m}^2$ -dirsə, yəni bir atmosferdisə, onda gərginlik U 1 - 5V-a bərabər olur.

Çeviricinin daxili müqaviməti təxminən 100 kOm -dur. Dinamik diapazon $D = 10^{-6} \div 10^7$, yəni $10^{-6} \div 10^7$ atmosferdir. Temperatur xətası istifadə olunan mayenin donma və qaynama temperaturu ilə (100°C hədlərində) müəyyən olunur.

Həssaslıq S -in temperaturdan asılılığı $S = f(T^0)$ müxtəlif materiallar istifadə etdikdə müxtəlif alınır. Ən yaxşı cüt distillə olunmuş su-fosfor cütüdür ki, onun da xarakteristikası xəttidir. Termorezistorların köməyiylə xətanın temperatur korreksiyasını asanlıqla yerinə yetirmək olar. Aseton-fosfor cütündə qeyri-xətti asılılıq alınır, ona görə də temperatur korreksiyasını yerinə yetirmək çətindir.

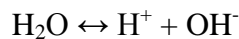
Tezlik xassələri arakəsmənin kapilyarlarında mayenin hərəkətinin hidrodinamik ətalətliyi ilə mayenin özlülüyünü nəzərə almaqla müəyyən olunur.

Tezliyin, deşiklərin diametrinin və özlülüyün artması ilə çıxış gərginliyi azalır, ona görə tələb olunan qiymət almaq üçün parametrlərin uyğun seçimini yerinə yetirmək lazımdır.

Göründüyü kimi həssaslığın və daxili müqavimətin xarakteristikaları xəttidir. Tezlik xarakteristikası yastı rezonans əyrisi görünüşünə malikdir, bu da membranın sərtliyi ilə müəyyən olunan mexaniki ətalətliliklə müəyyən olunur. Yuxarı tezlik membranın sərtliyi ilə müəyyən olunur. Göstərdiyimiz kimi deşiklərin diametri f tezliyini müəyyən edir. Distillə olunmuş su üçün deşiklərin diametri 10 mkm olduqda $f = 6400 \text{ Hz}$, 40 mkm olduqda $f = 400 \text{ Hz}$, 100 mkm olduqda $f = 65 \text{ Hz}$ -dir.

Əks hadisə də mövcuddur və o, elektroosmos adlanır. Bu aşağıdakından ibarətdir: əgər deşikli arakəsmənin uclarında elektrodlar yerləşdirsək və elektrik sahəsi yaratsaq, onda maye hərəkətə başlayır.

Qalvanik İÖÇ. Məlumdur ki, məhlulların reaksiyası (turş, neytral, qələvi) aktivlikdən, yəni hidrogen ionlarının konsentrasiyasından asılıdır. Konsentrasiyanı tədqiq olunan məhlula salınmış müxtəlif elektrodlarda yaranan potensiallar fərqi görə müəyyən etmək olar. Hətta təmiz su da zəif elektrik keçiriciliyinə malikdir, bu da suyun aşağıdakı sxem üzrə ionlaşması ilə izah olunur:



OH^- oksigen hidroksidi ionlarıdır. Dissosiasiya prosesinin (ionların yaranmasının) və ionlardan suyun molekullarının yaranmasının tarazlığı halında, suda müsbət və mənfi ionların konsentrasiyalarının hasili sabit temperaturda sabitdir və bərabərdir:

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14} .$$

Bir molekuldan bir müsbət və bir mənfi ion alındığı üçün:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} .$$

Beləliklə, bu neytral məhluldur. Əgər suda turşu həll etsək, onda $[H^+]$ -un konsentrasiyası artır, $[OH^-]$ -unku azalır.

Əgər qələvi həll etsək, $[OH^-]$ -un konsentrasiyası artır, $[H^+]$ –unku isə azalır:

$$[H^+] < 10^{-7} .$$

Deməli, ixtiyari məhlul hidrogen ionlarının konsentrasiyası ilə xarakterizə oluna bilər. Hidrogen ionlarının konsentrasiyasını hidrogen ədədi ilə xarakterizə etmək qəbul edilmişdir:

$$pH = - \lg[H^+] .$$

Əgər $[H^+] = 10^{-3}$ olarsa, onda $pH = 3$.

Əgər $[H^+] = 10^{-5}$ olarsa, onda $pH = 5$.

Beləliklə, istənilən məhlulları xarakterizə etmək olar.

Demək olar ki, ixtiyari maddələrin sulu məhlullarının pH -nın diapazonu 0 - dan 14 vahid diapazona qədər dəyişir. Həm də turşularda 0 - dan 6-ya qədər, neytral məhlullarda 7-yə bərabər olur, qələvilərdə 8 -14 arası dəyişir.

pH -ı (konsentrasiyanı) ölçmək üçün konsentrasiya ilə funksional əlaqədar olan sərhəd potensialının ölçülməsinə əsaslanan metod istifadə olunur.

$E - M$ (elektrod – məhlul) sərhədləri mühüm əhəmiyyətə malikdir:

Elektrodlar müxtəlif materiallı, müxtəlif forma və ölçülü olurlar. Metalın potensialı həmin metalın ionlarına malik olan məhlula salındığı halda aşağıdakına bərabərdir (Nernst tənliyi):

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln C ,$$

burada E_0 – metalların məhlulda ionlarının konsentrasiyası vahidə bərabər olduqda metal elektrodun potensialı; R – qaz sabiti; T – mütləq temperatur; n – metalın ionlarının valentliyi; F – Faradey ədədi; C – metalın məhluldakı ionlarının konsentrasiyasıdır.

Hidrogen də özünü buna uyğun aparır. Hidrogenlə $[H^+]$ ionlarına malik olan məhlul arasında elektrod potensialı almaq üçün, hidrogen elektroduna malik olmaq lazımdır O, hidrogenin platin və palladium üzərində absorbsiya etmə qabiliyyəti əsasında yaranır.

Praktiki olaraq sərhəd potensialının mütləq qiymətini ölçmək mümkün deyildir.

Qalvanik çevirici elektrik cəhətdən öz aralarında birləşmiş iki yarıməlementdən ibarətdir. Bunlardan biri ölçmə yarıməlementi 1 olub, tədqiq olunan məhlulda yerləşdirilir və digəri köməkçi yarıməlement olub, onun elektron potensialı sabit və məlum olmalıdır. Onda elementlər arasındakı e.h.q aşağıdakı düsturla təyin olunur.

$$E_k = \frac{RT}{F} \ln \frac{a(H^+)_1}{a(H^+)_2} ,$$

burada $a(H^+)_1$ – tədqiq olunan məhlulda hidrogen ionlarının aktivliyi; $a(H^+)_2$ – normal hidrogen yarıməlementində hidrogen ionlarının aktivliyidir.

pH -metrlərdə hidrogen elektrodlarından başqa digərləri də, ən çox xüsusi şüşə növlərindən hazırlanmış şüşə elektrodlar istifadə olunur. Bu elektrodu şüşə-məhlul sərhəddinə

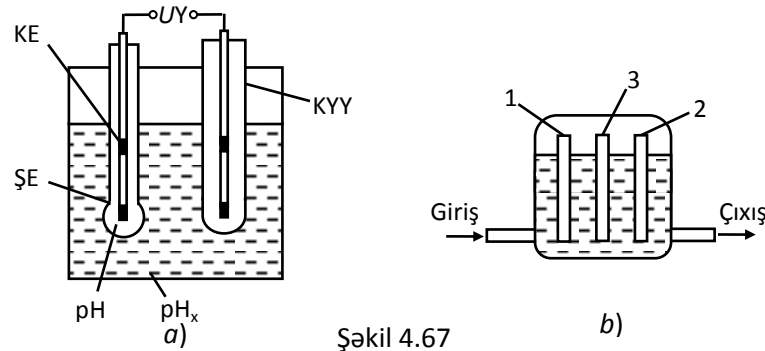
yerləşdirəndə hidrogen ionlarının aktivliyindən asılı olan potensiallar fərqi yaranır. Beləliklə, qalvanik çevirici öz aralarında elektrik cəhətdən birləşmiş iki yarımementdən ibarətdir:

- 1) tədqiq olunan məhlula yerləşdirilmiş ölçmə elektrodu (pH) ;?
- 2) elektrod potensialı sabit və məlum olan (pH_N) köməkçi müqayisə elektrodu.

pH -metr çeviricilərinin bir neçə konstruksiyası vardır.

Həmçinin rəqəm göstərişli, mikroprosessor əsasında yaradılmış pH -metrlər də vardır. Onlar 0,001 pH mütləq xəta ilə ölçməni təmin edirlər. pH -metrlərin dərəcələnməsi pH -i dəqiq və stabil olan nümunəvi məhlullara görə yerinə yerilir. Məlumdur ki, e.h.q. pH -dan başqa məhlulun temperaturundan da asılıdır .

pH -in ölçülməsi tələbatdan asılı olaraq stasionar laboratoriya şəraitində və axında yerinə yetirilə bilər (şəkil 4.67,a).



Şəkil 4.67

Şəkildən görüldüyü kimi burada iki elektrod vardır və onların biri sabit potensiala malik olmalıdır. pH_x tədqiq olunan məhlulünküdür, pH_N nümunəvi məhlulünküdür. ŞE - içərisində xlor-gümüşlü köməkçi elektrod (KE) yerləşən şüşə elektroddur. KY – kalomel yarımementidir. Şüşə təbəqəsi hər iki səth arasında elektrodları birləşdirən yüksək elektrik müqavimətli keçiricidir. Tədqiq olunan məhlulun pH_x -i dəyişəndə məhlulda hidrogen ionlarının aktivliyindən asılı olan ŞE–in xarici səthinin potensialı dəyişir. Ona görə də çıxışlarda e.h.q.- ni ölçməklə tədqiq olunan məhlulun pH_x -ni ölçürlər. Hər bir məhlul üçün $E = f(pH)$ asılılığını çıxarmaq lazımdır.

Ölçmə dövrəsinə olan əsas tələbat çox yüksək giriş müqavimətinin olmasıdır. Elektrometrik gücləndiricilərin giriş müqaviməti $10^{15} - 10^{16} \text{ Om}$ olur. Sənayedə maye axınında yerləşdirilən pH -metrlər tətbiq olunur (şəkil 4.67, b).

Burada 1 – kalomel (müqayisə) elektrodu; 2 – şüşə (işçi) elektrod; 3 – pH -i ölçdükdə temperaturun dəyişməsinə düzəliş daxil etmək üçün istifadə olunan termoçeviricidir.

pH -metrlər kimya, neft, toxuculuq, dəriçilik sənayesində, kənd təsərrüfatında və digər sahələrin texnoloji proseslərinin çoxunda tətbiq olunur

İonlaşdırıcı İÖÇ-lər. Onların iş prinsipi ionlaşdırma şüalanmasına əsaslanır. Adətən bunlar α, β, γ şüalarıdır, həmçinin rentgen şüaları da mövcuddur. Ən aktiv α şüalarıdır, lakin onlar çox nazik təbəqə ilə də udulurlar. β şüaları orta aktivliyə və orta udulmaya malikdirlər. γ və rentgen şüaları kiçik aktivliyə, böyük daxilolma qabiliyyətinə malikdirlər. Ancaq rentgen şüaları böyük ölçülü aparat tələb edirlər və adətən tibbdə və digər məqsədlər üçün stasionar şəraitdə istifadə olunurlar. Radioaktiv şüalar daxilində radioaktiv maddə yerləşən ionlaşdırıcı

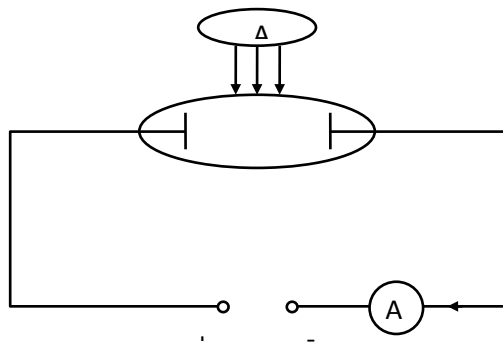
ampulların köməyilə yaranır. Beləliklə, ionlaşdırıcı çevirici quruluşuna görə çox sadədir (şəkil 4.68). İonlaşdırıcı cərəyan bir neçə dəyişənin funksiyasıdır:

$$I = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

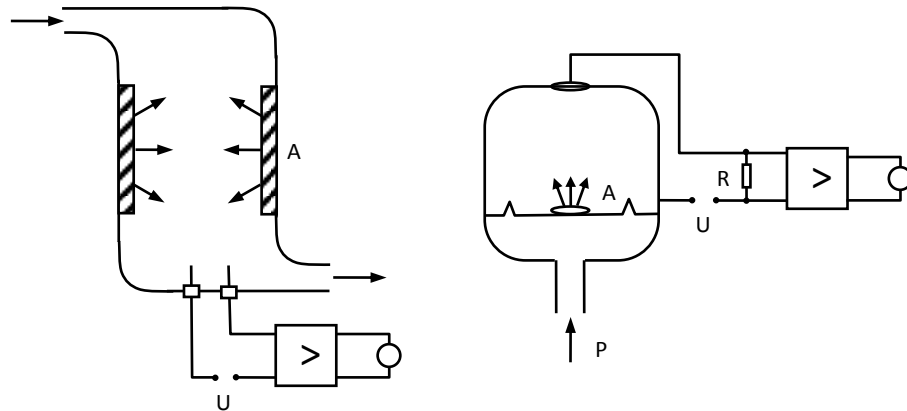
burada x_1, x_2, \dots, x_n – I -yə təsir edən müxtəlif parametrlərdir. Onlar qidalandırma gərginliyi, ionların çevikliyi, qazın sıxlığı və tərkibi, kameranın və elektrodların forması və ölçüsü, ionizatorun xassələri ola bilər. Adətən bir faktor dəyişən olur, digərləri isə sabit götürülür və bu halda I -nin sadələşdirilmiş asılılığını alırlar.

Əgər ionlaşdırıcı cərəyan qiymətə çox kiçikdirsə, əlavə olaraq gücləndirici istifadə olunur.

α, β, γ şüalanmanın mənbəyi, məsələn radioaktiv izotoplar $CO^{60} - \gamma$ -nın, stronsium⁹⁰ – β -nın, polonium²¹⁰ – α -nın mənbəyi və s. olur. Onların vasitəsilə həmçinin qazın sıxlığını və təzyiqini (P) ölçürlər (şəkil 4.69).



Şəkil 4.68



Şəkil 4.69

Çox funksiyalı İÖÇ-lər. Hal-hazırda müxtəlif təyinatlı və işləmə prinsipli İÖS-ləri elm və texnikanın bir çox sahələrində istifadə edilir. İÖS-lərin keyfiyyət göstəricisi əsas etibarilə müxtəlif iş prinsipli istifadə olunan sensorların ölçmə çeviricilərinin və vericilərinin parametrləri və xarakteristikaları ilə müəyyən olunur. Bu metroloji xarakteristikalara kifayət qədər sət, bəzən də bir-birinə zidd tələbatlar qoyulur.

Son zamanlar əsas istiqamətlərdən biri çox funksiyalı ilkin ölçmə çeviricilərinin (ÇF İÖÇ) yaranmasıdır, həm də bu halda ÇF İÖÇ-lər informativ kəmiyyətlərə seçici olmalı və digər təsir edən kəmiyyətlərə isə seçici olmamalıdır. Bununla yanaşı hələ də nano- və mikro elektronikanın, inteqral sxemotexnikasının və mikroprosessor texnikasının daha intensiv inkişafı ilə müqayisədə

İÖÇ-lərin təkmilləşməsində nəzərə çarpacaq geri qalma hiss olunur. Buna baxmayaraq müasir İÖÇ- ləri yaratdıqda yeni materiallar və texnologiyalar, ilk növbədə inteqral sxemotexnika istifadə olunur.

ÇF İÖÇ-lərin təsirlənməsi çox kiçik həcmdə toplanmış olan bir neçə giriş fiziki kəmiyyətləri haqqında siqnallar yaratmağa imkan verir. Ona görə də ÇF İÖÇ-lər bir neçə fiziki kəmiyyətlərin təsirlənmə sahəsində konstruktiv cəhətdən birləşmiş bir sıra həssas elementlərin cəmindən ibarətdir.

ÇF İÖÇ-lərin aşağıdakı tipləri vardır:

1. ÇF İÖÇ- lərin birinci tipi ayrı-ayrı kəmiyyətlərə qarşı seçici (selektiv) olması, yəni giriş $\{|x_1|, |x_2|, \dots, |x_n|\}$ kəmiyyətlərinin bir-birindən asılı olmamasıdır .
2. İkinci tip İÖÇ-lər selektiv deyillər, yəni giriş kəmiyyətləri öz aralarında əlaqəlidir və həssas elementlərdə hər $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ kəmiyyətinin siqnalını ayırmaq lazımdır.
3. Üçüncü tip ÇF İÖÇ-lər dəyişilə biləndir və o bir neçə kəmiyyəti qəbul edən və onların hər biri haqqında ayrılıqda informasiya daşıyan siqnallar yaradan həssas elementə malikdir.

Energetik nöqtəyi nəzərdən ÇF İÖÇ-lər aktiv (U gərginliyi və ya I cərəyan siqnalı) və passiv (müqavimət R , induktivlik L , tutum C) ola bilərlər. Birincilər generator tipli, ikincilər isə parametrik tipli çeviricilərdir.

Rezistiv İÖÇ-nin xətaləri

termorezistiv İÖÇ-nin xətaləri

Termorezistiv ÖÇ-nin xətalərinin yaranma səbəbləri aşağıdakılardır:

- 1) xarakteristikanın standart dərəcələmə cədvəlindən fərqlənməsi;
- 2) $R = f(T)$ xarakteristikasının qeyri-stabilliyi;
- 3) şüalanmaya istilik itkiləri;
- 4) qoruyucu armaturun istilik keçiriciliyi hesabına istilik itkiləri;
- 5) istilik ətaləti;
- 6) ölçülən cərəyanla qızma.

Konkret ÖÇ-nin dərəcələmə xarakteristikasının nominaldan meyl-etməsi 0°C -də başlanğıc müqavimətin qeyri-dəqiq müəyyənlişməsi və metalın təmizliyinin fərqli olmasıdır. R_0 və α_T -nin nominal qiymətlərdən buraxıla bilən meyl-etməsi standartlarla normalanır.

$R = f(T)$ xarakteristikasının stabilliyi istismar şəraiti ilə müəy-yən olunur, həm də dəyişmələr əsas etibarilə ÖÇ-nin uzun müddət bura-xılabilən temperatur diapazonundan kənarında işləməsi nəticəsində baş verir.

Şüalanma və qoruyucu armaturun istilik ötürməsi hesabına istilik itkilərindən yaranan xətalər daha çox sənaye müqavimət termometrleri üçün xarakterikdir və termorezistiv ÖÇ-nin və ölçmə obyektinin səthinin temperaturlarının fərqiindən yaranır.

Ətalətliliyə görə xəta dinamik ölçmələr vaxtı yaranır. RÖÇ-nin ətalətliliyi τ zaman sabiti ilə xarakterizə olunur.

Ölçülən cərəyanın axmasından yaranan xəta termorezistiv İÖÇ-nin axan cərəyanla qızması ilə əlaqədardır.

Termorezistiv vericilər temperaturu, maye və qazların sürətini (termoanemometrlərdə), yerdəyişmələri ölçmək üçün; qazların tərkibini və sıxlığını və digər fiziki kəmiyyətləri təhlil etmək üçün istifadə olu-nur.

Maqnitrezistiv İÖÇ-in xətalari

Xətalari yaranmasinin əsas səbəbləri aşağıdakılardır:

1) materialların fiziki xassələrinin və zaman ərzində həndəsi ölçü-lərinin temperaturun təsirindən dəyişməsi; 2) ölçmə mühitinin həssas elementin materialının xassələrinə təsiri; 3) maqnit sahəsinin tezliyinin dəyişməsi (dəyişən maqnit sahələrini ölçdükdə).

Qauss effektinə əsaslanan çeviricilər əsasən parametrləri yüksək zaman stabilliyi ilə fərqlənən kristal yarımkeçiricilərdən hazırlandığı üçün xassələrin zaman ərzində dəyişməsindən yaranan xəta kiçikdir və adətən onu nəzərə almırlar.

Temperatur xətası başlanğıc R_0 müqavimətinin, A_B əmsalının, R_B/R_0 maqnitrezistiv nisbətinin dəyişməsindən yaranır. Bu xətanı azaltmaq üçün müxtəlif kompensasiyaedici və korreksiyaedici qurğular isti-fadə olunur. Bundan başqa temperatur xətasının azaldılması kiçik MTƏ-li materiallar seçməklə əldə edilir. Müxtəlif tipli maqnitrezistiv vericilərin MTƏ-nin qiymətləri $0,0002 \dots 0,012 \text{ K}^{-1}$ -ə bərabər olur. Maq-nitrezistiv vericilərin xətalari $0,5 \dots 2,5 \%$ (tezlik $0 \dots 20 \text{ kHz}$) olur.

Həssas elementin materialını ölçmə mühitinin təsirindən qorumaq üçün onu qoruyucu laklarla və izolyasiya materialı ilə örtürlər.

Tenzorezistiv İÖÇ-in xətalari

Əsas xətalər aşağıdakılardır: 1) temperatur xətası; 2) dərəcələmə xətası; 3) xəttilik xətası; 4) kleyin sürüşməsindən yaranan xəta; 5) histerezis xətası.

Tenzorezistiv çeviricilərin xətası 1% və daha az olur.

Temperatur xətası temperatur dəyişdikdə tenzorezistorun müqavimətinin (sıfır deformasiyada) və tenzohəssaslıq əmsalının dəyişməsi nəticəsində yaranır, yəni tenzorezistora sıfırın və həssaslığın temperatur xətalari xasdır.

Tenzorezistoru hissəyə yapışdırıldıqda hissənin materialının temperaturdan xətti genişlənmə əmsalı β_H və həssas elementin materialının β_T əmsalının qeyri-bərabərliyi ilə müəyyən olunan xəta yaranır. Əgər bu əmsallar bərabər deyilsə, onda temperatur dəyişdikdə sanki deformasiya olduğu müşahidə olunur. Hissəyə yapışdırılmış tenzorezistorun müqavimətinin temperatur əmsalı α_R belə müəyyən olunur :

$$\alpha_R = \alpha_T + (\beta_H - \beta_T) \cdot K, \quad (4.37)$$

burada α_T – tenzorezistorun materialının temperatur əmsalıdır.

Sıfırın temperatur xətası aşağıdakı düstura görə tapıla bilər:

$$\delta_{\varepsilon_i} = [\alpha_T / K + (\beta_H - \beta_T)] \cdot \Delta T. \quad (4.38)$$

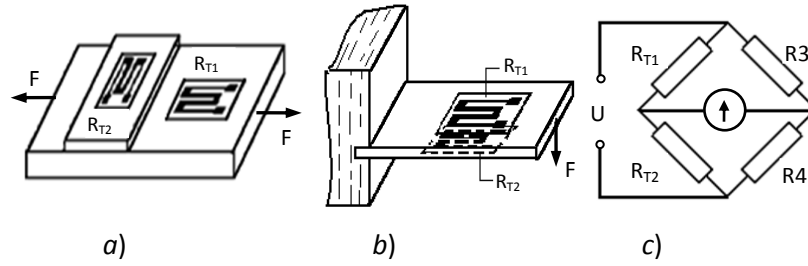
$\delta_{\varepsilon_i} = 0$ qiymətini almaq üçün aşağıdakı bərabərliyi ödəmək lazımdır:

$$\alpha_T / K = (\beta_T - \beta_H). \quad (4.39)$$

Tenzorezistorlar üçün bəzi materiallar xüsusi müqavimətin temperatur əmsalının geniş hədlərdə yerləşən qiymətinə malik ola bilərlər, həm də ρT -nin işarəsi həm müsbət, həm də mənfi ola bilər (məsələn, konstantan $\pm 30 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ hədlərində ixtiyari qiymət ala bilər). Bu xassə bir çox materiallar (məsələn, polad, alüminium və s.) üçün *termokompensasiya olunmuş termorezistorlar* hazırlamağa imkan verir və onlar sıfırın temperatur xətasını $0,015 \%$ /K-ya qədər xeyli azaldırlar. Yarım-keçiricilər üçün belə kompensasiya mümkün deyildir, məsələn, polada yapışdırılan silisium çevirici üçün o, $1,6 \%$ /K-ya çatır .

Bu xətanı kompensasiya etmək üçün ikinci tenzoverici tətbiq olunur. O, elə yerləşdirilə bilər ki, eyni istilik təsirlərinə məruz qalsın, lakin heç bir deformasiya hiss etməsin (passiv

adlanan verici, şəkil 4.20, a); və ya o, eyni istilik şəraitində yerləşərək, deformasiyaya uğrayır (şəkil 4.20, b). Vericilər körpüyə qoşulur (şəkil 4.20, c).



Şəkil 4.20

Beləliklə, maneə təsirlərinin əksəriyyəti xeyli azaldıla bilər.

Həssaslığın *temperatur xətası* termorezistorun materialından asılıdır və çox geniş hədlərdə yerləşir: keçirici tenzorezistorlar üçün bir dərəcə Kelvinə faizin mində birlərindən yarımkeçirici tenzorezistorlar üçün yüzdə bir faizlərə qədər olur.

Tenzorezistorlar əsasən bir dəfə istifadə olunan çeviricilərdir, çünki onlar hissənin üzərinə yapışdırılır və zədələnmədən qoparıla bilər. Ona görə də praktikada dərəcələməyə partiyadan müəyyən sayda tenzorezistorlar məruz qalır. R_0 və K -nın alınmış orta qiymətlərinin rəqəmləri baxılan partiyanın çeviricilərinin hamısı üçün qəbul olunur. Bu halda *dərəcələmə xətası* 1 – 5 % ola bilər. İşçi çeviricini bilavasitə fərdi dərəcələdikdə bu xəta faizin onda birlərinə qədər azaldıla bilər.

Xətilik xətası yarımkeçirici tenzorezistorların deformasiya potensialının və tenzohəssaslıq əmsalının tətbiq olunan mexaniki gərginlikdən asılılığı ilə müəyyən olunur. Xətilik xətası vahidlərlə faizə çata bilər.

Yapışdırılan tenzorezistorlar üçün texnologiyanın pozulması xeyli xətaya səbəb ola bilər. Bərkimiş yapışqanın və vericinin əsasının xarakteristikaları sürünmə effekti yaradır. *Sürünmə* – zaman ərzində $\varepsilon_l \neq 0 = const$ olduqda tenzorezistorun müqavimətinin dəyişməsi hadisəsidir. Daha yüksək temperaturalarda bu effekt daha güclü ifadə olunur. Sürünmədən yaranan xətanın qiyməti 0,05 – 0,2 %-ə bərabərdir.

Tenzorezistorların işçi temperatur diapazonu hər şeydən əvvəl yapışqanlarla müəyyən olunur və statik deformasiyalarda 350 – 600 °C və dinamik deformasiyalarda 600 – 800 °C (xüsusi bərkidilmə metodlarında 1000 °C) temperatur ilə məhdudlanır.

Tenzorezistiv çeviricilər statik və dinamik deformasiyaları ölçən qurğularda tətbiq olunur. Məftil, folqa və plyonka metal tenzorezistorlarının əksəriyyəti nisbi statik deformasiya $\varepsilon_l = (0,005 - 1,5 - 2 \%)$ -i ölçmək üçün tətbiq olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, bəzi metal ərintisindən, məsələn, titan-alüminiumdan, olan plyonka tenzorezistorlar 12 %-ə qədər statik deformasiyanı ölçməyə imkan verirlər. Məftil yapışdırılma-yan (sərbəst) tenzorezistorlar da 5 – 10 %-ə qədər deformasiyanı ölçməyə imkan verirlər. Keçirici maye (elastik) tenzorezistorlar materialların böyük deformasiyalarını (30 – 50 %-ə qədər) ölçməyə imkan verirlər.

Yarımkeçirici tenzorezistorlar 0,1 – 0,2 %-ə qədər statik deformasiyaları ölçməyə imkan verirlər.

Dinamik deformasiyaları ölçdükdə tezlik diapazonu λ dalğa uzunluğu ilə tenzorezistorun L bazası arasındakı nisbətə müəyyən olunur, ona görə də $L/\lambda \leq 0,1$ nisbəti yerinə yetirilməlidir. Məftil termorezistiv vericilər üçün deformasiyanın maksimal qiyməti adətən 0,1%-dən, yarımkeçirici vericilər üçün isə 0,02 %-dən çox olmamalıdır.

Tenzorezistiv ÖÇ-ləri deformasiyaları, həmçinin deformasiyaya çevrilən digər kəmiyyətləri: mexaniki qüvvələri, təzyiqləri, təcilləri və s. ölçmək üçün tətbiq olunurlar.

Fotorezistiv İÖÇ-nin xətalrı

Fotorezistiv çeviricilərin xətalrı aşağıdakı səbəblərdən yaranır:

- 1) fotorezistorun materialının xassələrinin zaman ərzində qeyri – stabilliyi;
- 2) temperaturun təsirindən fotorezistorun parametrlərinin və xarakteristikalarının dəyişməsi;
- 3) fon işıqlanmanın təsiri.

Fotorezistorları uzun müddət istismar etdikdə fotohəssas təbəqə-nin xarakteristikaları dəyişir və periodik olaraq fotorezistiv ÖÇ-ni yox-lamaq və dərəcələmək lazım olur.

Fotorezistorun temperaturu dəyişdikdə onun müqaviməti, həs-saslıq astanası (temperatur artdıqda yüksəlir) və zaman sabitləri dəyişir (bir qayda olaraq temperatur artdıqda τ azalır). Bu xətanı azaltmaq üçün fotorezistorlar treningə məruz qalırlar.

Fon işıqlanmasından yaranan xəta xüsusi optik süzgeclərin tətbiqi ilə azaldılır.

Rezistiv İÖÇ-nin ölçmə dövrləri

Rezistiv İÖÇ-nin çıxış parametrini – R elektrik müqavimətini – ölçmək üçün müəyyən olunmuş istənilən dövrə istifadə oluna bilər. Ən çox aşağıdakı ölçmə dövrləri yayılmışdır:

- 1) çeviricinin və ölçmə cihazının ardıcıl qoşulma dövrəsi;
- 2) rezistiv gərginlik bölücüsü dövrəsi;
- 3) müvazinətlənməmiş körpü dövrəsi;
- 4) avtomatik müvazinətlənən körpü dövrəsi;
- 5) harmonik və relaksasiyalı rəqslər generatorlarının tezlikdən asılı dövrləri.

Ardıcıl qoşulma dövrəsi (şəkil 4.23, a) R_x RÖÇ-dən və R_y yük (məsələn, ampermetr) müqavimətindən ibarətdir. Ümumi halda rezistiv İÖÇ-nin müqaviməti ölçülən X kəmiyyətinin funksiyasıdır və belə ifadə oluna bilər: $R_x = R_0 \pm \Delta R_x$. Dövrənin çevirmə tənliyi belə olur:

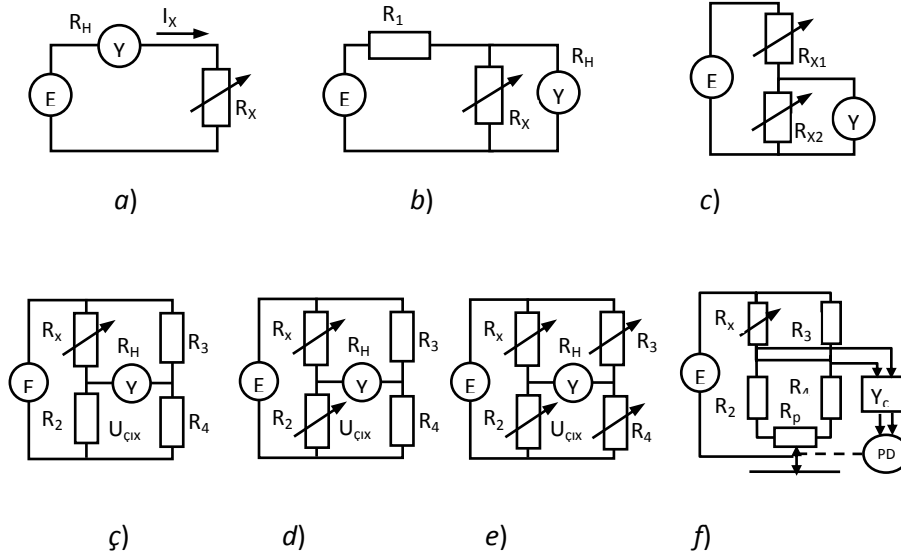
$$I_x = E / (R_y + R_0 \pm \Delta R_x). \quad (4.45)$$

Ardıcıl qoşulma ölçmə dövrəsi ΔI_x və $\Delta R(X)$ arasında qeyri-xətti asılılıqla xarakterizə olunur. Xəttilik xətası $I_x = F(\Delta R)$ xarakteristikasının başlanğıc hissəsində işlədikdə azaldıla bilər.

Rezistiv gərginlik bölücüsü dövrəsi şəkil 4.23, b-də göstərilir. Dövrənin çevirmə tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$U_{cix} = \frac{ER_y(R_0 \pm \Delta R_x)}{(R_0 \pm \Delta R_x)(R1 + R_y) + R1}, \quad (4.46)$$

burada $R1$ – dövrədə cərəyanı məhdudlandıran müqavimətdir.



Səkil 4.23

R_Y yük müqaviməti kimi voltmetr istifadə oluna bilər. Əgər volt-metrin müqaviməti $R_V = R_Y \gg R_X$, onda alarıq:

$$U_{cix} = \frac{E(R_0 \pm \Delta R_X)}{R_1 + R_0 \pm \Delta R_X}. \quad (4.47)$$

Ardıcıl qoşulma və rezistiv gərginlik bölücüsünün ölçmə dövrələri çıxış ($\Delta I_X, \Delta U_X$) kəmiyyəti və ΔR_X dəyişməsi arasında qeyri-xət-ti asılılıqla xarakterizə olunurlar. Çevirmə xarakteristikasının başlanğıc hissəsində işlədikdə xətilik xətası azalır. Bu xəta gərginlik bölücüsü dövrəsinə diferensial çevirici qoşduqda da azalır (şəkil 4.23, c).

Əgər qəbul etsək ki, $R_{X1} = R_0/2 - \Delta R_X$; $R_{X2} = R_0/2 + \Delta R_X$ və $R_Y \gg R_{X2}$ onda diferensial çeviricili dövrə üçün U_{cix} -in ΔR_X -dən xətti asılılığını alarıq:

$$U_{cix} = \frac{E(R_0 + 2\Delta R_X)}{2R_0}. \quad (4.48)$$

Baxılan ölçmə dövrələrinin çatışmayan cəhəti ölçülən kəmiyyətin sıfır qiymətinə ($X = 0$) çıxış kəmiyyətinin sıfıra bərabər olmayan qiymətinin uyğun gəlməsidir ($I_X \neq 0$; $U_{cix} \neq 0$). Dəyişən kəmiyyətləri ölçdükdə bu çatışmazlıq ayırıcı kondensatorların istifadə olunması ilə aradan qaldırılır. Ardıcıl qoşulma və gərginlik bölücüləri dövrələrinin nəticəvi xətası çeviricinin xətasından, qidalandırma mənbəyinin parametrlərinin və yükün qeyri-stabilliyindən yaranan xətdən asılıdır.

Bu ölçmə dövrələri həm sabit, həm də dəyişən cərəyanda işləyə bilər.

Körpü ölçmə dövrələri müvazinətlənməmiş və müvazinətlənmiş körpülər şəklində yerinə yetirilir. Müvazinətlənməmiş körpülərdə (şəkil 4.23, ç, d, e) ilkin vəziyyətdə çıxış siqnalının başlanğıc qiyməti elə kompensasiya olunur ki, $X = 0$ olduqda o, sıfıra bərabər olur. Ölçülən X kəmiyyəti sıfırdan fərqləndikdə müqavimət $R_X = R_0 + \Delta R_X$ dəyişir və körpü müvazinətdən çıxır.

Körpü sxeminin (şəkil 4.23, ç) çıxış gərginliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$U_{cix} = \frac{E(R_X R_4 - R_2 R_3) R_H}{R_H R_{X2} R_{34} + R_X R_2 R_{34} + R_3 R_4 R_{X2}}, \quad (4.49)$$

burada $R_{X2} = R_X + R2$; $R_{34} = R3 + R4$.

Rezistiv vericilər körpünün bir (şəkil 4.23, *ç*), iki (şəkil 4.23, *d*) və dörd (şəkil 4.15, *e*) qoluna qoşula bilər. (4.49) düsturundan göründü-yü kimi, vericilərin qoşulma variantlarının hamısı üçün E qidalandırma gərginliyinin verilmiş qiymətində çıxış gərginliyi ümumi halda ΔR_X -dən qeyri-xətti asılı olur.

Diferensial çeviricini qoşduqda (şəkil 4.23, *d*) əgər R_{X1}, R_{X2} baş-langıc müqavimətləri R_0 -a və $R3, R4$ -ə bərabərdirlərsə, yəni $R_{X1} = R_{X2} = R3 = R4 = R_0$ və $R_Y \gg R_0$, körpü dövrəsinin çevirmə tənliyi xəttidir.

Bərabərqollu körpü üçün çıxış gərginliyi $R_Y \gg R_0$ olduqda aşağıdakı düsturlara görə təyin oluna bilər: $U_{çix1} = E \Delta R_X / 4R_0$ (şəkil 4.23, *ç*); $U_{çix2} = E \Delta R_X / 2R_0$ (şəkil 4.23, *d*); $U_{çix4} = E \Delta R_X / R_0$ (şəkil 4.23, *e*), yəni çıxış gərginliyi müqavimətin ΔR_X dəyişməsindən xətti asılıdır.

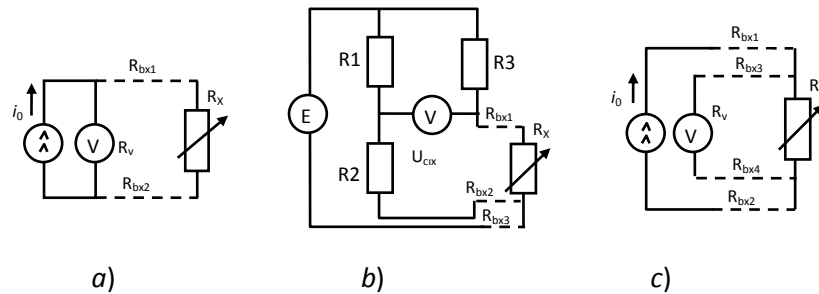
Körpü dövrəsinin üstünlüyünə giriş kəmiyyətinin qiyməti sıfıra bərabər olduqda, çıxışda sıfır siqnalının alınmasıdır.

Körpü dövrəsi həm sabit, həm də dəyişən cərəyanda işləyir, qidalandırma isə həm gərginlik, həm də cərəyan mənbəyindən yerinə yetirilə bilər.

Şəkil 4.23, *f*-də avtomatik müvazinətlənmə körpüsünün dövrəsi göstərilir. Giriş siqnalı olmadıqda körpü müvazinət vəziyyətindədir, R_r reoxordunun sürüncəci müəyyən başlangıç vəziyyətdədir. Giriş siqnalı dəyişdikdə körpü dövrəsi müvazinət vəziyyətindən çıxır. Qeyri-müvazi-nət siqnalı G gücləndiricisi ilə gücləndirilir və RM reversiv mühərrikin girişinə verilir. Mühərrik fırlanmağa başlayır və R_r reoxordunun sürün-gəcini körpü dövrəsində yeni müvazinət vəziyyəti alınana qədər hərəkət etdirir. Mühərrikin valındakı göstəricinin və reoxordun şkalası giriş kəmiyyəti vahidlərində dərəcələndirir.

Körpü dövrələrinin xətalalarının əsas səbəbləri aşağıdakılardır: kör-pünün işçi olmayan qollarının zaman və temperatur qeyri-stabilliyi; qi-dalandırma mənbəyinin qeyri-stabilliyi; ÖÇ-in xətaları.

Rezistiv çeviricilərin müqavimətinin kiçik qiymətlərində (vahid-lər və onlarla Om) temperaturun təsiri ilə birləşdirici naqillərin müqa-vimətinin dəyişməsi nəticəsində xəta yaranır. Bu xətanı azaltmaq üçün çoxnaqilli rabitə xətləri tətbiq olunur və bu halda rezistiv çeviriciyə iki-dən artıq naqıl birləşdirilir. Şəkil 4.24-də ikinaqilli (şəkil 4.24, *a*), üçna-qilli (şəkil 4.24, *b*) və dördnaqilli (şəkil 4.24, *c*) rabitə xətlərinə misallar göstərilir.



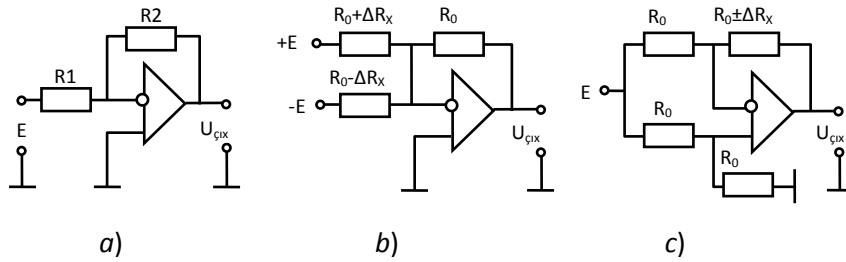
Şəkil 4.24

Şəkil 4.24, *b*-də göstərilən sxemdə rezistiv verici R_X körpü dövrəsi-nə elə qoşulur ki, birləşdirici xətlərin R_{bx1} və R_{bx2} iki müqaviməti körpü-nün müxtəlif (qonşu) qollarına daxil olsun, üçüncü xəttin R_{bx3} müqaviməti isə E qidalandırma mənbəyi ilə ardıcıl qoşulmuş olsun. Ölçmə döv-rəsi müvazinət rejimində işlədikdə metod xəttin müqavimətinin dəyiş-məsindən

yaranan xətanın tam kompensasiyasını təmin edir. Qeyri-mü-vazinət rejimdə işlədikdə bu xəta ikinaqilli xətdə olduğundan xeyli azdır.

Rezistiv R_X İÖÇ-də gərginlik düşgüsü (şəkil 4.24, c) $U = R_X \cdot i_0$ böyük giriş müqavimətli voltmetrlə ölçülür ($R_V \gg R_X$, R_{bx3} , R_{bx4}). Həm də rezistiv İÖÇ-nin 4 naqilin köməyi ilə qoşulması praktiki olaraq göstə-rişlərin xətlərin müqavimətindən tamamilə asılı olmamasını təmin edir.

Hal-hazırda rezistiv ÖÇ-nin ölçmə dövrlərində əməliyyat güclən-diricilərindən geniş istifadə olunur. Şəkil 4.25-də müqaviməti gərginliyə çevirən sxemlərə misallar göstərilir.



Səkil 4.25

İkınaqilli rabitə xətləli sxem (şəkil 4.25, a) böyük müqavimətləri ölçdükdə və ya İÖÇ ölçmə sxeminin bilavasitə yaxınlığında yerləşdikdə tətbiq olunur. Bu dövrə üçün çıxış gərginliyi $U_{cix} = -E \cdot R2/R1$ -ə bərabər-dir . Verici sxemin istənilən rezistorlarından birinin yerinə qoşula bilər.

Şəkil 4.25, b-də göstərilən ölçmə dövrəsi diferensial rezistiv veri-cilər üçün istifadə oluna bilər. Bu ölçmə dövrəsinin çıxış gərginliyi $U_{cix} = 2E \cdot \Delta R_X / R_0$ düsturuna görə təyin oluna bilər. Şəkil 4.25, c-də ƏG-li körpünün sxemi göstərilir. Ölçmə dövrəsinin çevirmə tənliyinin ifadəsi belədir: $U_{cix} = - 2\Delta R_X / (2R_0)$.

Tutum İÖÇ-nin xətaları

TÖÇ-nin xətalara aşağıdakılar aiddir: 1) çeviricinin tutumunun xarici şəraitdən, məsələn, ətraf mühitin temperaturundan, asılı olması səbəbindən yaranan xətalara; 2) parazit cərəyan itkilərindən yaranan xə-talara; 3) parazit tutumların təsirindən yaranan xətalara.

Temperaturun dəyişməsi dielektrikin ϵ dielektrik nüfuzluluğu-nun və elektrodların və dielektrikin xətti ölçülərinin dəyişməsinə səbəb olur. Çeviricinin müxtəlif konstruktiv elementləri xətti genişlənmənin müxtəlif temperatur əmsallarına malikdirlər (metallarda $\alpha_1 = (15 - 30) \cdot 10^{-4} K^{-1}$; kvars üçün $\alpha_1 = 0,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; üzvi dielektrlərdə $\alpha_1 = (50 - 100) \cdot 10^{-4} K^{-1}$). Bu isə temperatur dəyişdikdə elektrodların sahələrinin və onların arasındakı məsafələrin dəyişməsinə səbəb olur.

TÖÇ-nin əksəriyyəti üçün Q sahəsi 10 – 100 mm xətti ölçülərlə müəyyən olunur və bu ölçülərin dəyişməsindən yaranan xətalara xeyli ki-çik olur .

Elektrodların arasındakı məsafə adətən 10 mkm-dən 1 mm-ə qədər olur və temperaturun təsirindən onun dəyişməsi böyük xətaya səbəb ola bilər. Diferensial çeviricilər tətbiq etməklə bu xətanı azaltmaq olar.

TÖÇ-nin nominal tutumu adətən vahidlərlə - yüzlərlə pikofarada bərabər olur. Aşağı tezliklərdə çeviricinin müqaviməti böyük qiymətlər alır, bu isə parazit itki cərəyanlarından yaranan xətalara səbəb olur. Bu xətanı azaltmaq üçün qidalandırma gərginliyinin tezliyi bir neçə kiloher-sə və hətta meqahersə qədər artırılır.

TÖÇ-də çeviricinin öz tutumundan əlavə elektrodlar və konstruk-siyanın yerləbirləşmiş hissələri arasında, birləşdirici naqilin damarı ilə onun yerləbirləşmiş ekranı arasında tutumlar olur. Onlar parazit tutum-ların təsirindən xətalara yaranmasına səbəb olur. Həm də kabelin parametrləri dəyişə bilər. Bu xətanı azaltmaq üçün ölçmə dövrəsi və ikinci tərəf cihazları çeviricinin yaxınlığında yerləşdirilir. Yuxarıda deyilənlər-dən belə görünür ki, tutum çeviricilərinin tətbiq sahəsi çox müxtəlifdir, lakin onlar ən çox kiçik yerdəyişmələri və asanlıqla yerdəyişməyə çevrilə bilən kəmiyyətləri, məsələn, təzyiqli ölçmək üçün istifadə olunur.

TÖÇ-nin başlanğıc aralığı 5 – 10 mkm ola bilər, onların əksəriy-yətinin tutumu 10 – 100 pF-a bərabərdir .

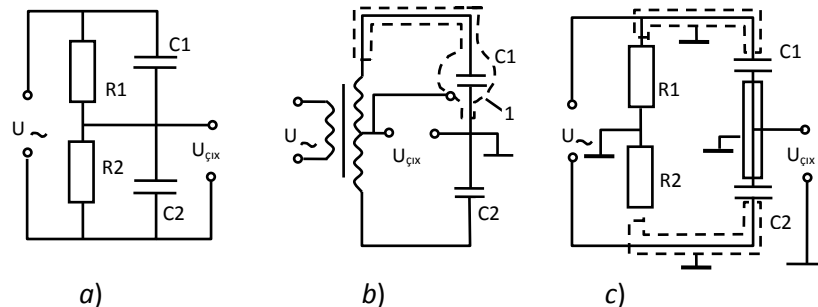
TÖÇ-nin üstünlüklərinə aşağıdakılar aiddir: 1) küylərin ümumi-yətlə olmaması; 2) öz-özünə qızmanın olmaması; 3) konstruksiyanın sa-dəliyi, kiçik çəki və ölçüləri; 4) tərənən və tərənəmz elektrodların uy-ğun seçilməsi nəticəsində tutumun dəyişməsi ilə giriş xətti və ya bucaq yerdəyişməsi arasında verilmiş funksional asılılığın alınması imkanı; 5) elektrodların kiçik cəzətmə qüvvəsi; 6) həm statik, həm də dinamik ölçmələr üçün tətbiq olunma imkanı.

Tutum çeviricilərinin çatışmayan cəhətlərinə aşağıdakıları aid et-mək olar: 1) çeviricinin kiçik tutumu və yüksək çıxış müqaviməti; 2) ölçmə nəticəsinin kabelin tutumunun dəyişməsindən asılılığı.

Tutum vericilərinin ölçmə dövrləri

Tutum çeviricilərinin bir çox müxtəlif ölçmə dövrləri vardır. Ən çox yayılmış ölçmə dövrləri gərginlik bölücüsü, ölçmə körpüləri, tutum - diod dövrləri, kontur dövrləri şəklində olur .

Gərginlik bölücüsü şəklində dövrə şəkil 4.31, a-da göstərilir.



Şəkil 4.31

Birqat tutum ÖÇ C_1 və ya C_2 kimi qoşula bilər. Diferensial ÖÇ halında onun tutumları bölücünün hər iki qolunu yaradır. $R_1C_1 = R_2C_2$ hasilərinin bərabərliyi halında (burada R_1 və

$R2$ – çeviricinin izolyasi-yasının müqavimətləridir) qidalandırma gərginliyinin geniş tezlik diapazonunda bölücünün çıxışındakı gərginlik aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunacaqdır:

$$U_{cix} = \frac{C1 \cdot U_{\sim}}{C1 + C2} . \quad (4.68)$$

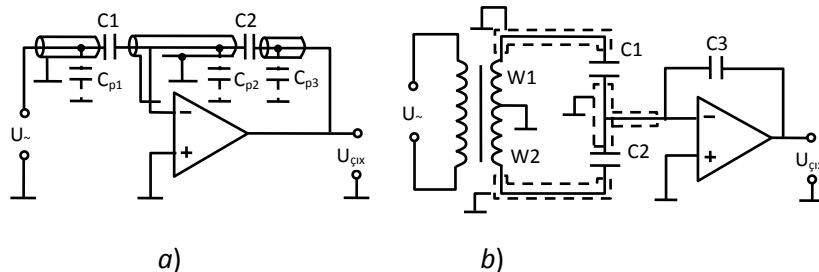
Belə dövrənin xətası TÖÇ-nin xətalardan, qidalandırma gərginliyinin qeyri-stabilliyindən yaranan xətalardan və göstəricinin xətasından asılıdır.

Çox halda tutum ÖÇ körpü ölçmə dövrlərinə qoşulur. Şəkil 4.31, *b*-də bir qoluna $C1$ tutum çeviricisinin, ikinci qoluna isə $C2$ kondensatorunun qoşulduğu körpü dövrəsinin sxemi göstərilir. Vericinin parazit tutumlarının təsirini aradan qaldırmaq üçün onun 1 ekranlayıcı elektrodu körpünün tərkibinə daxil olan transformatorun orta nöqtəsinə birləşdirilir. $C2$ dəyişən kondensatorun köməyi ilə körpü dövrəsinin çıxış gərginliyi $U_{cix} = 0$ olur. Bu halda ekran yer potensialına malik olur. Parazit tutum körpünün transformatorunun ikinci tərəf dolağının yuxarı yarısına qoşulduğu üçün o, körpünün müvazinət şərtinə təsir etmir.

Körpü ölçmə dövrləri əsasən diferensial çeviricilərlə birlikdə istifadə olunurlar. Şəkil 4.31, *c*-də göstərilən körpü dövrəsi variantında diferensial TÖÇ ($C1 - C2$) körpünün qonşu qollarına qoşulur, körpünün digər qollarına isə kiçik müqavimətli $R1$ və $R2$ rezistorları qoşulurlar. Kabellərin damarları və ekranları arasındakı iki parazit tutumlar körpünün işçi olmayan qollarının kiçik $R1$ və $R2$ müqavimətləri ilə şuntlanır və körpü sxeminin işinə, demək olar ki, təsir etmir. Adətən dövrənin çıxış siqnalı gücləndiriciyə verilir və TÖÇ-ni gücləndirici ilə birləşdirən ekranlanmış naqilin tutumunun təsirini azaltmaq üçün ekvipotensial qoruma sxemi tətbiq olunur. Bu məqsədlə ikiqat ekranlı naqillər istifadə olunur.

Hal-hazırda ölçmə dövrlərinin tərkibində çox halda əməliyyat gücləndiriciləri olur.

Şəkil 4.32, *a*-da gərginlik bölücüsü prinsipində işləyən əməliyyat gücləndiricisinin (ƏG) istifadə olunduğu sxem göstərilir.



Şəkil 4.32

Çıxış gərginliyi $U_{cix} = U_{\sim} C1 / C2$.

TÖÇ-nin hansı prinsipdə qurulmasından və ölçmə dövrəsinin hansı çevirmə funksiyasını yerinə yetirməli olmasından asılı olaraq, tutum çeviricisi $C1$ və $C2$ -nin yerinə qoşula bilər.

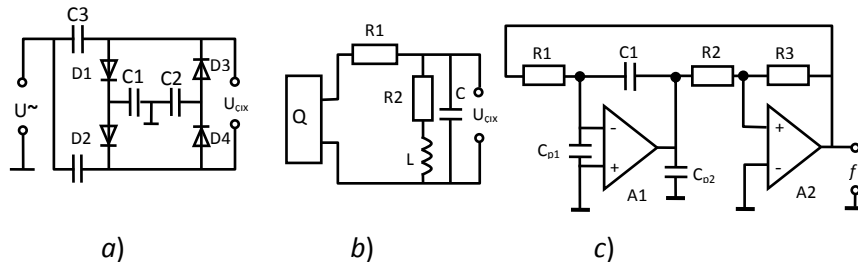
Baxılan sxemdə $C_{p1} - C_{p2}$ parazit tutumları ölçmə qurğusunun işinə, demək olar ki, təsir etmir. C_{p1} və C_{p3} tutumları U_{\sim} gərginlik mənbəyinin və gücləndiricinin kiçik çıxış müqavimətləri ilə şuntlanırlar. C_{p2} tutumu ƏG-nin girişləri arasına qoşulmuşdur və ondakı gərginlik sıfıra yaxındır.

Körpünün çıxışını ƏG-nin inversiyaedici girişinə qoşduqda (şəkil 4.32, *b*) iki ekranın olması tələb olunmur. Bu halda çıxış gərginliyi

$$U_{cix} = \frac{(C1 - C2) \cdot U_{\sim}}{C3} \quad (4.69)$$

Baxılan sxemlərin çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, onlar löv-hələrinin hamısı korpusdan izolə olunmuş TÖÇ üçün istifadə oluna bilərlər. Lövhələrdən birini yerlə birləşdirdikdə (adətən ümumi tərpənən lövhəni) ölçmə dövrəsinin elementlərini bir korpusda yerləşdirmək məq-sədəuyğundur.

Diferensial çevirici yerlə birləşmiş lövhə ilə işlədikdə şəkil 4.33, *a*-da göstərilən *tutum-diodlu ölçmə dövrəsi* istifadə oluna bilər.



Şəkil 4.33

Diodlarda düşən gərginliyi nəzərə almadıqda, çıxış gərginliyini aşağıdakı düstura görə tapmaq olar:

$$U_{cix} = \frac{(C1 - C2) \cdot U_{\sim}}{C1 + C2 + 2C1 \cdot C2 / C3} \quad (4.70)$$

Əgər çevirmə xarakteristikasının xəttiliyinə yüksək tələbat qoyul-mursa, o halda TÖÇ-nin ölçmə dövrləri kimi stabil tezlikli generator-dan qidalanan $L-C$ rezonans konturunun dövrləri istifadə oluna bilər (şəkil 4.33, *b*). Çeviricinin tutumu dəyişdikdə konturun müqaviməti də-yişir, bu halda çıxış gərginliyi dəyişir və tezlik $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ olduqda maksimum qiymət alır. Rezonans əyrisində xəttiliyə yaxın hissə seçmək olar. $R2$ -ni nəzərə almadan ($R2 - R1$ -dən və ωL -dən xeyli azdır) və $C \pm \Delta C$, $\omega_0 = k\sqrt{1/LC}$, $Q = \omega_0 L / R1$ və $\rho = \sqrt{L/C}$ olduğunu nəzərə alaraq, konturdakı gərginliyi aşağıdakı kimi ifadə etmək olar :

$$\frac{U_K}{U_{qid}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1/Q^2 [1 + k^2 (1 + \Delta C / C_0)]^2}} \quad (4.71)$$

Tutum ÖÇ-nin köməyi ilə fiziki kəmiyyətləri ölçdükdə tutumun tezlik-zaman siqnallarına çevrildiyi ölçmə dövrləri geniş istifadə olu-nur. Şəkil 4.33, c-də ƏG-nin istifadə olunduğu belə dövrlərdən biri göstərilir. Bu sxemin çevirmə funksiyası

$$f = \frac{R3}{4R1R2C1} \quad (4.72)$$

$C1$ tutumunun xətti çevrilməsi üçün çıxış kəmiyyəti kimi T_X pe-riodu götürülür. C_{p1} və C_{p2} papazit tutumlarının bu dövrdə təsiri azdır.

Termoelektrik çeviricilərin xətalari və ölçmə dövrləri.

Termocütlərin xətalərinin əsas səbəbləri aşağıdakılardır: termocütün xarakteristikasının standartdan meyletməsi; termocütün xarakteristikasının zaman ərzində qeyri-stabilliyi; sərbəst ucların temperaturunun dərəcələnmə qiymətindən fərqlənməsi; şüalandırma və qoruyucu armaturun istilik keçiriciliyi hesabına istiliyin itirilməsi; istilik ətaləti.

Termocütün xarakteristikasının standartdan meyletməsi müxtəlif səbəblərdən yaranır: termoelektrodların ərintisinin tərkibinin müxtəlifli-yindən, mexaniki gərginlikdən və s. Sənaye termocütləri üçün standarta uyğun olaraq real *termo-e.h.q.*-nin dərəcələnmə qiymətlərindən millivoltun yüzdə birlərindən onda birlərinə qədər meyletməsi buraxıla bilər.

Termocütlərin xarakteristikalarının zaman ərzində qeyri-stabilliyi rekristallaşma və diffuziya proseslərindən yaranır. Bu xətanın qiyməti bir saat ərzində faizin mində birlərindən artıq olmur.

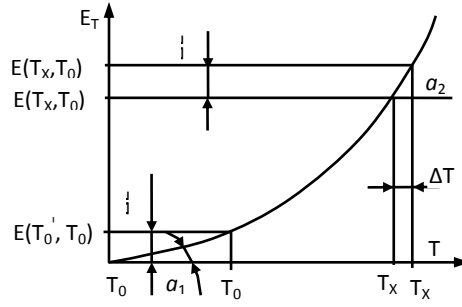
Sərbəst ucların T_0^I temperaturu dərəcələnmə T_0 temperaturundan meyl etdikdə termo-e.h.q. dərəcələnmədən fərqlənəcəkdir və bu da temperaturu çevirmə (ölçmə) xətasına səbəb olur. Temperaturu ölçdükdə bu xətanı azaltmaq üçün uyğun düzəliş daxil etmək lazımdır. Termometrin göstərişinə ΔT düzəlişi təxminən aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilə bilər:

$$\Delta T = k(T_0^I - T_0), \quad (4.75)$$

burada k – temperaturdan və termocütün növündən asılı olan əmsal; T_0^I – termocütün sərbəst uclarının temperaturudur.

Xromel-kopel termocütü üçün $k = 0,8 - 1$; xromel-alümel üçün $k = 0,98 - 1,11$; platinrodium-platin üçün $k = 0,82 - 1,11$. $(T_0^I - T_0)$ temperaturlar fərqi kiçik qiymətində $k = 1$ hesab etmək olar. İşçi ucun müxtəlif temperaturları üçün k əmsalı eyni deyildir, lakin müəyyən temperatur intervalında onu kifayət qədər dəqiqliklə sabit hesab etmək olar. k əmsalını termocütün xarakteristikasından təyin etmək olar.

Şəkil 4.34-də müəyyən bir termocütün xarakteristikası göstərilir.



Səkil 4.34

Əgər termocütün sərbəst uclarının temperaturu $T_0^I > T_0$ olarsa, onda *termo-e.h.q.* $\Delta E = E(T_0^I, T_0)$ qədər azalacaqdır və $E(T_x, T_0)$ -ə bərabər olacaqdır. Bu halda cihazın göstərişi ölçülən T_x temperaturuna bərabər olmayan T_x^I temperaturuna uyğun olacaqdır. $E_T = F(T)$ xarakteristikasının $(T_0^I - T_0)$ və $(T_x - T_x^I)$ hissələrini xətti qəbul edərək, alarıq:

$$\Delta E = E(T_0^I, T_0) = (T_0^I - T_0)tg\alpha_1 = (T_x - T_x^I)tg\alpha_2 . \quad (4.76)$$

(4.75) ifadəsindən cihazın göstərişinə düzəlişin qiymətini tapaq:

$$\Delta T = (T_x - T_x^I) = \frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} (T_0^I - T_0) \quad (4.77)$$

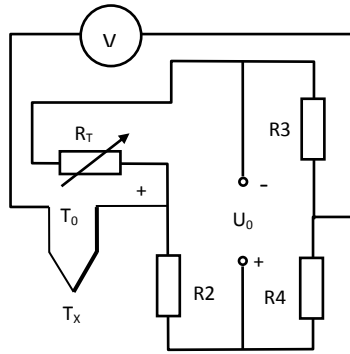
və temperaturun ölçülən qiyməti:

$$T_x = T_x^I + k(T_0^I - T_0) . \quad (4.78)$$

Praktikada çox halda düzəliş avtomatik olaraq yerinə yetirilir.

Termo-e.h.q.-ni ölçdükdə avtomatik korreksiya şəkil 4.35-də gös-tərilən qurğunun köməyi ilə yerinə yetirilə bilər.

Sxem müvazinətlənməmiş körpü prinsipi ilə işləyir. Körpünün qollarından birinə termocütün sərbəst uclarının yerləşdiyi temperatur şəraitinə uyğun şəraitdə yerləşən misdən və ya nikel məftildən olan R_T termorezistoru qoşulur. Körpünün digər qolları manqanın rezistorlardan hazırlanır. Sərbəst ucların temperaturu dərcələmə T_0 temperaturuna bərabər olduqda körpü manqanın rezistorlardan birinin köməyi ilə mü-vazinətləndirilir və körpünün çıxış diaqonalında gərginlik sıfıra bərabər olur. Sərbəst ucların temperaturu dəyişdikdə *termo-e.h.q.* ΔE qədər dəyişir və R_T müqavimətinin qiyməti dəyişir. Bu halda körpü müvazinətdən çıxır, yəni onun çıxışında gərginlik yaranır və termocütün *termo-e.h.q.*-nin dəyişməsinə korreksiya edir. Termocütlərin çevirmə xarakte-ristikası qeyri-xətti olduğu üçün sərbəst ucların temperaturunun dəyiş-məsi ilə yaranan xətanın tam korreksiyasını almaq mümkün olmur. Belə qurğuların qalıq xətası 10^0C -də $0,04$ mV-dən artıq olmur.



Şəkil 4.35

Sərbəst ucların temperaturunun dərəcələnmə qiymətindən meyl-etməsindən yaranan xətanı azaltmaq üçün sərbəst uclar dərəcələnməyə uyğun olan (adətən 0 °C) sabit temperaturda yerləşməlidirlər. Qeyd etmək lazımdır ki, termocütün sərbəst uclarını işçi ucdan kifayət qədər uzaq məsafədə yerləşdirmək üçün heç də həmişə termoelektrodları kifa-yət qədər uzun və elastik hazırlamaq mümkün olmur. Bu məqsədlə *uza-dıcı termoelektrodlar* adlanan digər materialdan olan naqillər istifadə olunur. Onlar öz aralarında cüt halında mümkün olan temperaturlar diapazonunda (təxminən 0-dan 100 °C diapazonunda) termocütün yarat-dığı *termo-e.h.q.*-ə bərabər olan *termo-e.h.q.* yaradırlar. Bundan başqa uzadıcı termoelektrodların əsas termoelektrodlara birləşmə yerləri eyni temperatura malik olmalıdır. Bu halda uzadıcı elektrodlar daxil edil-dikdə *termo-e.h.q.* dəyişməyəcəkdir.

Qara metallardan olan termocütlər üçün, məsələn, xromel-kopel termocütü üçün, uzadıcı elektrodlar əsas elektrodların materialından ha-zırlana bilər, lakin onlar elastik naqillər şəklində olmalıdırlar. *Xromel-alümel termocütü* üçün uzadıcı elektrodlar misdən və konstantandan ha-zırlanır. *Platinrodium-platin termocütü* üçün misdən və TC ərintisindən olan məfillər tətbiq olunur. Həmin materiallar dəyişilmiş polyarlıq işa-rələri ilə volfram-molibden termocütü üçün tətbiq olunur.

Termo-e.h.q.-ni ölçmək üçün millivoltmetrlərdən istifadə edən termoelektrik termometrlərdə *termo-e.h.q.*-nin dövrəsini təşkil edən ele-mentlərin hamısında *gərginlik düşgüsü nəticəsində xəta* yarana bilər. Bu dövrəyə işçi və uzadıcı termoelektrodlar, birləşdirici naqillər daxildir. Termocütün öz müqavimətində ΔE gərginlik düşgüsü bərabər olar:

$$\Delta E = \frac{E_T R_T}{R_T + R_N + R_V} , \quad (4.79)$$

burada R_T – termocütün müqaviməti; R_N – birləşdirici naqillərin müqaviməti; R_V – millivoltmetrin daxili müqavimətidir.

Bu xətanı azaltmaq üçün millivoltmetrlər termocütlə komplekt halında, xəttin müqaviməti göstərilməklə, temperatura görə dərəcələ-nirlər. Millivoltmetrin xarici dövrəsinin müqavimətinin dəyişməsi də termoelektrik termometrin xətasına səbəb olur.

Termo-e.h.q.-ni ölçmək üçün sabit cərəyan potensiometrinin isti-fadə olunması bu xətanı aradan qaldırmağa imkan verir.

Termoelektrik çevirici qaz mühitində temperaturu çeviricinin temperaturundan fərqlənən səthin yaxınlığında işlədikdə səthlə termo-elektrik ÖÇ arasında xəta yaradan *şüalı istilik mübadiləsi* baş verir.

Termoelektrik ÖÇ-nin müxtəlif konstruktiv elementlərinin, o cümlədən qoruyucu armaturun, *istilik ötürülməsi hesabına istilik itkisi* də temperaturu ölçmə xətasına səbəb olur.

Termocütün xətasının təşkeledicilərindən biri *istilik ətalətindən yaranan xətdir*. İstilik ətaləti onun göstəricisi ilə xarakterizə olunur. Bu göstərici kimi termocütü suya daxil etdikdə onun zaman sabiti başa düşülür. Zaman sabiti termocütün konstruksiyasından və naqillərin qalınlığından asılıdır və millisaniyələrdən dəqiqələrə kimi ola bilən termoelektrik çeviricinin cəldişləməsini müəyyən edir.

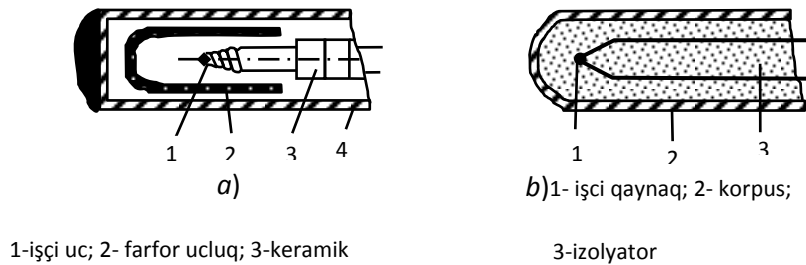
Cədvəl 4.6-da sənaye termocütlərinin əsas parametrləri və dərəcə-lənmə işarələri verilmişdir .

Termocütlərin konstruktiv tərtib olunması onların istismar şəraitinə uyğun olmalıdır. İşçi uca termocütləri elektrik qövsvari qaynaqla, lehimləmə ilə və ya yalnız burmaqla birləşdirirlər.

Cədvəl 4.6

Termoelektrodların materialı	Termo-cütün tipi	Dərəcə-lənmənin işarəsi	Xəta, %	Uzun müddətli tətbiq halında ölçmə hədləri, °C
Mis-konstantan	-	-	≈ 1	-200 ... +200
Mis-kopel	TMK	MK(M)	-	-200 ... +100
Xromel-kopel	TXK	XK(L)	-	-200 ... +600
Xromel-alümel	TXA	XA(K)	≈ 2-3	-200 ... +1000
Platinrodium(10%)-platin	TPP	PP(S)	≈ 0,1-0,5	0 ... +1300
Platinrodium (30%)-platinrodium(6%)	TPR	PR 30/6(B)	-	+300 ... +1600
Volframrenium (5%)-volframrenium (20%)	TVR	VR 5/20 - 1(A)	-	0 ... +2500

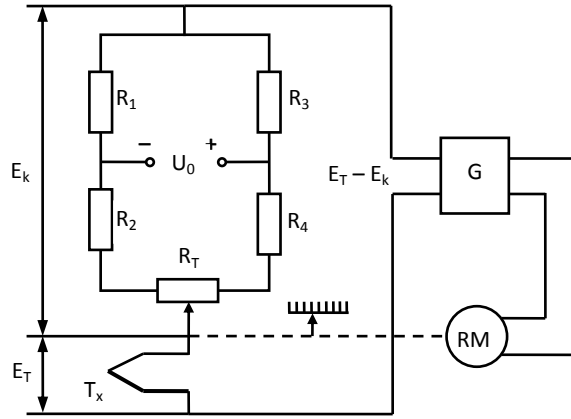
Şəkil 4.36-da platin-platinrodium (şəkil 4.36, a) və xromel-kopel (şəkil 4.36, b) termocütlərinin işçi hissələrinin konstruktiv variantları göstərilir.



Şəkil 4.36

Təyinatına və istismar şəraitinə görə termocütləri bir sıra qruplara ayırmaq olar: batırılanlar və səthdə yerləşənlər; armaturasız və armaturalı; germetiklər və germetik olmayanlar.

Termoelektrik vericilərin ölçmə dövrləri. *Termo-e.h.q.*-ni ölçmək üçün adi *millivoltmetrlər*, əllə və avtomatik tənzimlənən *sabit cərəyan potensiometrləri* istifadə oluna bilər. La-boratoriya şəraitində əllə müvazinətlənən potensiometrlər, sənayedə isə avtomatik potensiometrlər istifadə olunur. Şəkil 4.37-da avtomatik po-tensiometrli termoelektrik termometrin sadələşdirilmiş sxemi göstərilir.



Şəkil 4.37

Termocüt elə qoşulur ki, onun E_T e.h.q. körpü dövrəsinin köməyi ilə yaranan E_k kompensasiyaedici gərginliyinə əks istiqamətdə yönəlsin.

$E_T - E_k$ fərqi gücləndirilir və RM reversiv mühərrikə verilir. Mühərrikin valı reoxordun R_R sürüngəcini $E_T - E_k$ fərqi sıfır olana qədər sürüşdürür. Reoxordun sürüngəci ilə şkala üzrə yerini dəyişən cihazın əqrəbi əlaqədardır.

Pyezoelektrik vericilərin xətaları və ölçmə dövrləri

Xətanın əsas təşkilediciləri aşağıdakılardır: 1) ölçmə dövrəsinin parametrlərinin, xüsusi halda C_{gir} tutumunun, qeyri-stabilliyindən yaranan xəta; 2) temperaturun dəyişməsi nəticəsində d_{11} pyezoelektrik modulunun, C_e tutumunun və pyezoelementin ölçülərinin dəyişməsindən həssaslığın dəyişməsi səbəbindən yaranan temperatur xətası; 3) çeviricinin ölçmə oxuna perpendikulyar istiqamətdə təsir edən qüvvələrə həssaslıqdan yaranan xəta; 4) tezlik xətası; 5) lövhələrin düzgün yerləşdirilməməsindən yaranan xəta; 6) dərəcələnmə xətası; 7) pyezoelektrik materialın xarakteristikasının histerezisindən və qeyri-xəttiliyindən yaranan xəta.

Pyezoelektrik çeviricilərin xətası faizin onda birlərindən yüzdə birlərinə qədər olur. Məsələn, kvars çeviricisində mexaniki gərginliyin elektrik yükünə çevrilməsi $10^{-4} - 10^{-6}$ % xəta ilə yerinə yetirilir.

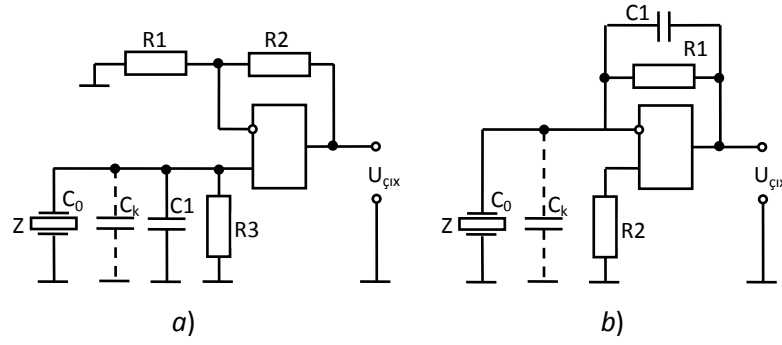
Bundan başqa, işləmə vaxtı kabel effekti adlanan effekti nəzərə almaq lazımdır. Vibrasiya olduqda kabel gücləndiricinin girişinə silkələnmə vaxtı izolyasiyanın ekrana sürtünməsindən yaranan e.h.q. daxil edir. Bu xətanı azaltmaq üçün xüsusi antivibrasiya kabelləri tətbiq olunur.

Pyezoelektrik vericilərin ölçmə dövrləri. Pyezoelektrik vericilərin ölçmə dövrləri kimi çox böyük giriş müqavimətli gərginlik gücləndiriciləri istifadə oluna bilər. Adətən gücləndirici vericidən müəyyən məsafədə yerləşdirilir və onunla kabel vasi-təsilə birləşdirilir. Şəkil 4.40, a-da gərginlik gücləndiricili ölçmə dövrəsi göstərilir.

Gücləndiricinin çıxış gərginliyi

$$\dot{U}_{cix} = \frac{d_{11}(1 + R_2/R_1)}{C_e} \frac{j\omega R_e C_e}{1 + j\omega R_e C_e} \dot{F}, \quad (4.85)$$

burada $C_e = C_0 + C_k + C_1$; $R_e = R_0, R_K, R_3$ və R_{gir} müqavimətlərinin paralel birləşməsidir.



Şəkil 4.40

(4.85) ifadəsindən görünür ki, çıxış gərginliyi və gərginlik güc-ləndiricili vericinin həssaslığı kabelin C_k tutumundan asılıdır (kabelin tutumu onun hər bir metr uzunluğunda 70 – 150 pF ola bilər). Xarici faktorlar, məsələn, temperatur və rütubət dəyişdikdə kabelin tutumunun dəyişməsi xəyata səbəb olur. Kabelin tutumunun təsirini azaltmaq üçün gücləndiricinin girişinə paralel olaraq əlavə, stabil $C1$ tutumu qoşulur. Onun qiyməti həssaslığın buraxılabilən $\gamma_S = (\Delta C_0 + \Delta C_k)/(C_0 + C_k + C1)$ xətası ilə müəyyən olunur. Beləliklə, gücləndiricinin giriş gərginliyi və çeviricinin $S = U_{gir}/F$ həssaslığı tutumun məlum qeyri-stabilliyində buraxılabilən xəta ilə müəyyən olunurlar.

Ölçmə dövrəsinin mühüm xarakteristikası $\tau = RC$ zaman sabitidir. Nəzərə alsaq ki, R_e müqavimətinin qiymətində, bir qayda olaraq, pyezo-elektrik çeviricinin səthi itki müqaviməti əsas təşkiledicidir, R_e -nin qiyməti isə adətən 10^9 Omdan çox olmur, ona görə də $C = 1000$ pF olduqda zaman sabiti $\tau \leq 1$ san olur.

Bundan başqa, sxemin çıxış signalına kabelin tutumu və güclən-diricinin giriş impedansı böyük təsir edir. Ölçmə dövrəsi kimi *elektrik yükü gücləndiricisi* (şəkil 4.40, b) tətbiq etməklə, göstərilən faktorların təsirini xeyli azaltmaq olar.

Əgər istifadə olunan əməliyyat gücləndiricisinin k_0 güclənmə əm-salı çox böyükdürsə, onda sonlu $U_{çix}$ çıxış gərginliyində giriş gərginliyi çox kiçik olacaqdır. Kabelin və gücləndiricinin impedanslarını nəzərə almasaq, hesab etmək olar ki, vericinin çıxış yükü tamamilə $C1, R2$ dövrəsindən axacaqdır. Bu halda çıxış gərginliyini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar :

$$U_{çix} = -\frac{d_{11}}{C1} \cdot \frac{j\omega C1 R1}{1 + j\omega R1 C1} \dot{F}. \quad (4.86)$$

Bu sxem $\tau = C1 \cdot R1$ zaman sabitinin böyük qiymətini almağa imkan verir. Elektrik yükü gücləndiricili vericilərin real zaman sabitləri 10 – 100 san-yə bərabər olur, bu isə pyezoelektrik vericilərin kvazistatik dərəcələnməsini aparmağa imkan verir.

Sxemin üstünlüklərinə çıxış gərginliyinin $(C_0 + C_k)$ tutumundan asılı olmaması və $C1$ tutumunu kiçiltədikdə həssaslığı artırma imkanındır. Lakin 50 – 100 pF-dən kiçik tutumlar tətbiq etmək məqsədəuyğun deyil-dir, çünki bu halda parazit tutumlar nəzərə çarpacaq təsir etməyə başlayırlar.

Pyezoelektrik vericilərin üstünlüklərinə aşağıdakılar aiddir: kiçik ölçülər, konstruksiyanın sadəliyi, yüksək etibarlılıq, cəlddəyişən proses-ləri ölçmə imkanı, mexaniki gərginliklərin elektrik yükünə çevrilməsi-nin yüksək dəqiqliyi. Məsələn, kvarsdan olan ÖÇ üçün çevirmə xətası $10^{-4} - 10^{-6}$ -ya bərabərdir.

Çatışmazlığa aşağıdakıları aid etmək olar: statik kəmiyyətləri ölç-mənin qeyri-mümkünlüyü, qeyri-xəttiliyin və histerezisin olması, dərəcələnmənin çətinliyi, maneələrdən

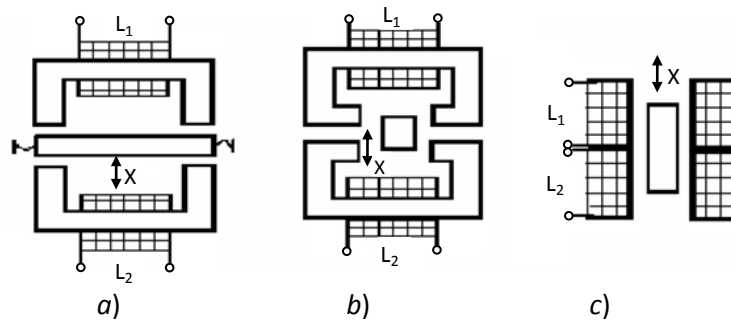
qorunmanın və ekranlamanın mürək-kəbliyi, keyfiyyətli gücləndiricilərin tələb olunması.

Elektromaqnit ilkin ölçmə çeviricilərində xəталər. Elektromaqnit İÖÇ-lərin ölçmə dövrləri.

İnduktiv vericilərin xətaləri arasında aşağıdakıları ayırmaq olar: 1) sarğacın aktiv müqavimətinin, maqnit keçiriciliyinin və lövbərin materialının maqnit nüfuzluluğunun, maqnit dövrəsinin ölçülərinin temperaturun dəyişməsindən yaranan temperatur xətası; 2) lövbərin cəzb etmə qüvvəsinin təsirindən yaranan xəta; 3) çevirmə funksiyasının xətti-liyi xətası.

İnduktiv çeviricilər körpü sxemlərində işlədikdə körpünün qi-dalandırma gərginliyinin və tezliyinin qeyri-stabilliyindən, həmçinin qi-dalandırma gərginliyinin formasının dəyişməsindən xəta yaranır.

İnduktiv ÖÇ-nin xassələrini yaxşılaşdırmaq üçün diferensial çeviricilər istifadə olunur. Onlar ümumi hərəkət edən elementə malik olan iki birqat çeviricidən ibarətdirlər. Şəkil 4.42-də hava aralığının uzunluğu dəyişən (şəkil 4.42, a), hava aralığının sahəsi dəyişən (şəkil 4.42, b) və açıq maqnit dövrəli (şəkil 4.42, c) diferensial ÖÇ-nin konstruksiyaları göstərilir.



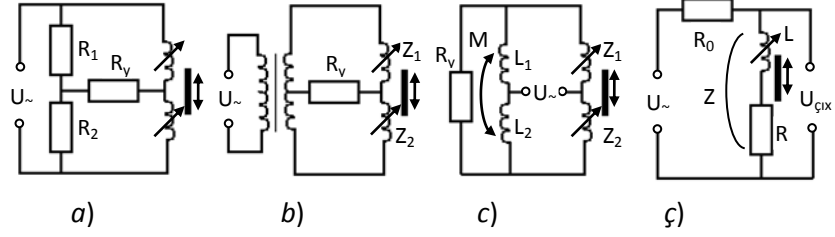
Şəkil 4.42

Diferensial çeviricilərdə giriş kəmiyyətinin təsiri ilə hərəkət edən lövbər yerini dəyişdikdə bir sarğacın induktivliyi, məsələn L_1 artır, ikin-ci L_2 azalır. Ölçmə dövrəsinə qoşduqda çıxış siqnalı hər bir çeviricinin çıxış siqnallarının fərqi ilə mütənasibdir. Diferensial çeviricilər xətaləri xeyli azaltmağa, həssaslığı yüksəltməyə və xarakteristikanın xətti hissəsini artırmağa imkan verirlər. $\Delta\delta$ xətti hissəsi $(0,3 - 0,4)\delta_0$ təşkil edir.

Praktikada induktiv ölçmə çeviriciləri adətən diferensial hazırlanırlar.

c) induktiv İÖÇ-nin ölçmə dövrləri

İnduktiv ÖÇ-nin əsas ölçmə dövrləri körpü dövrləridir (şəkil 4.43, a, b, c). Bəzi hallarda induktiv çevirici gərginlik bölücüsünə (şəkil 4.43, ç) və ya generatorun $L-C$ rəqs konturuna qoşulur.



Şəkil 4.43

Qeyri-müvazinət rejimdə işləyən körpü ölçmə dövrəsi ən geniş yayılmışdır. Bu halda yükdəki cərəyan qidalandırma gərginliyinə nisbətən 90^0 sürüşür. Başlanğıc vəziyyətdə körpünün müvazinətlənməsi iki təşkilediciyə görə yerinə yetirilir.

Transformator İÖÇ. Transformator ÖÇ-nin xətalrı induktiv ÖÇ-nin xətalrının yaran-dığı eyni səbəblərdən yaranır. Bu xətalardan başqa transformator çeviri-ciləri aşağıdakı xətalara malikdirlər: 1) ikinci tərəf dolağından cərəyan axmasından və onun müqavimətinin dəyişməsindən yaranan xətalər;

2) lövbər yerini dəyişdikdə birinci tərəf dövrəsində cərəyanın dəyişməsindən yaranan xəta.

Birinci tərəf dövrəsində cərəyanın dəyişməsindən yaranan xətanı azaltmaq üçün dövrəyə yüksək müqavimətli əlavə rezistor qoşmaq lazımdır. İkinci tərəf dövrəsində xətanın azaldılması ölçmə cihazı və ya böyük giriş müqavimətli ikinci çevirici istifadə etməklə əldə edilir.

Transformator vericilərinin xarakteristikalarını yaxşılaşdırmaq üçün diferensial çeviricilər istifadə olunur. Şəkil 4.44, d-də dəyişən uzunluqlu hava aralığı olan çevirici göstərilir. Birinci tərəf dolaqları öz aralarında ardıcıl, ikinci tərəf dolaqları isə qarşı-qarşıya qoşulmuşlar. Birinci tərəf dolaqlarının ardıcıl birləşməsi birinci tərəf dövrəsində cərəyanın dəyişməsindən yaranan xətanı azaltmağa imkan verir. Belə birləşmədə birinci dolaqlardan birinin müqaviməti artır, ikincinin isə təxminən o qədər azalır, ümumiyyətlə müqavimət dəyişməz qalır, yəni birinci tərəf dövrəsində cərəyan sabit qalır.

Diferensial transformator vericilərində cəm gərginlik bərabərdir:

$$U_{\text{çix}} = U_{1,2} - U_{2,2} = \frac{\omega n_2}{Z_{M1} Z_{M2}} (Z_{M2} - Z_{M1}) , \quad (4.95)$$

burada Z_{M1} və $Z_{M2} - 1$ və 2 çeviricilərinin maqnit müqavimətləridir.

$\delta_0^2 \gg \Delta\delta^2$ olduqda çevirmə funksiyası demək olar ki, xəttidir.

$$U_{\text{çix}} \approx \frac{n_2 U_{\sim}}{n_1 \delta_0} \Delta\delta , \quad (4.96)$$

burada $\delta_0 = \delta_1 = \delta_2$ lövbər və maqnit keçiriciliyi arasında başlanğıc aralığıdır; $\Delta\delta$ – lövbərin sürüşməsidir.

Diferensial transformator vericilərinin xassələri diferensial induktiv vericilərin xassələrinə uyğundur.

Maqnitelastik İÖÇ.Maqnitelastik İÖÇ-nin xətalara aşağıdakılar aiddir:

1. *Maqnitelastik histerezisdən yaranan xəta*, yəni ÖÇ-nin yükünü artırıqda və azaltdıqda çevirmə funksiyalarının üst-üstə düşməməsi. Statik yükləri ölçdükdə histerezis dinamik yüklərə nisbətən çoxdur. Adətən bu xəta digər təşkiledicilərdən çox olur və vahidlərlə faizə bərabər ola bilər. Xəta çeviricinin çoxqat sınılanması ilə azaldılır. Bu xəta həmçinin həssas elementin yüksək elastiklik həddli bütöv sahəsinin gərginliyi artdıqca azalır. Histerezisdən yaranan xəta faizin onda birləri-nə (0,3 %-ə) qədər azaldıla bilər.

2. *Xəttilik xətası*. Bu xətanı azaltmaq üçün əlavə qüvvə tətbiq etməklə materialda əvvəlcədən gərgin vəziyyət yaradılır. Çevirmə xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi çeviricinin həssas elementinin materialının uyğun seçilməsi ilə və çevirmə dövrəsinə ardıcıl olaraq korreksiya edici çevirici qoşmaqla azaldılır. Xəttilik xətası 1-2 %-ə qədər azaldıla bilər.

3. *Qidalandırma gərginliyinin dəyişməsindən yaranan xəta*. Qidalandırma gərginliyi dəyişdikdə μ maqnit nüfuzluluğunun başlanğıc qiyməti və maqnitelastik həssaslıq dəyişir. Bu xətanı azaltmaq üçün maksimum maqnit nüfuzluluğuna uyğun olan sahələrdə işləmək lazımdır. Xəta qidalandırma gərginliyinin 1% dəyişməsində 0,3-0,4 %-ə qədər azaldıla bilər.

4. *Temperatur xətası*. Temperatur dəyişdikdə dolaqların müqaviməti və maqnit nüfuzluluğu dəyişir. Temperatur xətası 0,5 – 1% olur. Xətanı azaltmaq üçün diferensial və maqnitə izotrop ÖÇ istifadə olunur.

5. *Maqnitelastik ÖÇ-nin materialının köhnəlməsindən yaranan xəta*. Köhnəlmə maqnit nüfuzluluğunun və maqnitelastik həssaslığın dəyişməsinə səbəb olur. Bu xətanı azaltmaq üçün təbii və süni köhnəlmə istifadə olunur, həmçinin diferensial vericilər tətbiq olunur. Köhnəlmə xətasını 0,5%-ə qədər azaltmaq olar.

b) maqnitelastik İÖÇ-nin ölçmə dövrləri

Ölçmə dövrləri kimi körpü dövrləri istifadə olunur. Xətanı kompensasiya etmək üçün körpünün qonşu qoluna işçi qoldakı eyni çevirici qoşulur. Maqnitelastik ÖÇ dəyişən cərəyan avtomatik potensiometrin dövrəsinə də qoşula bilər.

İnduksiya İÖÇ.Passiv ÖÇ-nin xətalara aşağıdakılardır: 1) maqnit sahəsinin eyni cinsli olmaması; 2) çeviricinin silikənlənməsinə və əlavə *e.h.q.*-nin yaranmasına səbəb olan mexaniki maneələr (vibrasiyalar, seysmik və akustik təsirlər); 3) maqnit sahəsinin tezliyinin dəyişməsi.

İnduksiya ÖÇ-nin xətası faizin onda birlərindən vahidlərlə faiz qiymətləri alır.

Maqnit sahələrinin parametrlərinin (maqnit seli, maqnit induksiya qanunu, maqnit sahəsinin gərginliyi, maqnit hərəkət qüvvəsi) induksiya çeviriciləri geniş ölçmə diapazonu (məsələn maqnit induksiyasını ölçmə diapazonu $10^{-6} - 10^2$ Tl-dir), çevirmə funksiyasının xəttliliyi, xarakteristikasının yüksək stabilliyi, kiçik temperatur xətası, geniş tezlik diapazonu (onlarla meqahersə qədər), həm dəyişən, həm də sabit maqnit sahələrinin parametrlərini ölçmək üçün istifadə olunma imkanları ilə xarakterizə olunurlar.

b) ferrozond İÖÇ-nin xətalara

Ferrozond çeviricilərin xətalının yaranmasının əsas səbəbləri ət-raf mühitin temperaturunun dəyişməsi və küylərdir.

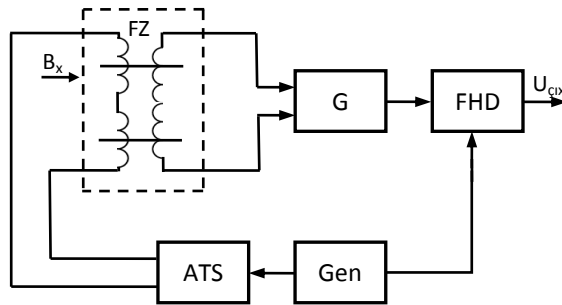
Ferrozond ÖÇ-ni diferensial hazırladıqda temperaturun təsirini xeyli azaltmaq olur. Küylərdən yaranan xətalı azaltmaq üçün ferro-zondların vericilərini simmetrikləşdirir və ölçmə dövrlərini küylərdən qoruyurlar.

Belə ferrozond-sahəölçənlərin xətası 0,01 %-ə qədər çata bilər. Ferrozond-qradientmetrlərin xətası vahidlərlə faizə çatır.

c) ferrozond İÖÇ- nin ölçmə dövrləri

Ferrozondların tətbiq olunduğu bütün hallarda çıxış siqnalının ikinci harmonikini ayırmaq lazımdır, çünki yalnız o, ölçülən sahənin gərginliyi haqqında informasiya daşıyır. Həm də bu halda birinci harmo-nik aradan qaldırılmalıdır.

Ferrozond ÖÇ-nin ölçmə dövrlərinə aşağıdakı tələbatlar qoyulur: təsirləndirmə dolağının qidalandırma mənbəyi təsirləndirmə cərəyanında cüt harmoniklərin aşağı səviyyəsi ilə xarakterizə olunmalıdır; ölçmə dövrəsi ferrozond çeviricinin çıxış siqnalından ikinci harmoniki ayırma-lıdır. Misal olaraq şəkil 4.53-də ferrozond teslametrin ölçmə dövrəsinin struktur sxemi göstərilir .



Şəkil 4.53

Ferrozond (FZ) dəyişən cərəyan generatorundan (Gen) qidalanır. Aşağı tezliklər süzgəcinin (ATS) köməyi ilə təsirləndirmə cərəyanında cüt harmoniklərin səviyyəsi azaldılır. ATS ikinci harmonikin tezliyində maksimal zəiflətməyə malikdir. İkinci harmonikə sazlanmış seçici G gücləndiricisi və fəzhəssas düzləndirici FHD ferrozond çeviricinin çıxış siqnalından ikinci harmoniki ayırır.

3. İstifadə olunan ədəbiyyat

- 1.С.А. Филист, О.В. Шаталова Измерительные преобразователи и электроды: Учеб. пособие – М.: Высшая школа Москва-2019
2. Л.В. Илясов Биомедицинская измерительная техника: Учеб. пособие – М.: Высшая школа, 2007
3. А.М.Раşayev, А.Р.Нəсənov Elektron qurğularının əsasları: Bakı 2014
4. E.B.İsgəndərzadə, Z.Y. Aslanov Ölçmə və nəzarətin üsul və vasitələri: Bakı 2017