

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

K.Garrybaýew

ÖLÇEG ÖZGERDIJILERI

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

K.Garrybaýew, Ölçeg özgerdijileri.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

Giriş.

Bitarap Türkmenistan hoşniýetliligi, abadanlygy, söýüjiligi, dünýä ýüzünde – de abadanlygy goramakda tagallalaryny gaýgyрмаýan ýurtdugy bilen özüni älem – jahana ykrar etdiren ýurtdur.

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan döwletimizde geljegimiz bolan ýaşlaryň dünýäniň in ösen talaplaryna laýyk gelýän derejede bilim almagy üçin ähli işler edilýär.

Hormatly Prezidentimiz döwlet başyna geçen ilkinji gününden bilime, ylma giň ýol açdy, Türkmenistan ýurdumyzda milli bilim ulgamyny kämilleşdirmek boýunça düýpli özgertmeler geçirmäge girişdi.

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň «Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakynda» 2007-nji ýylyň 15-nji fewralyndaky Permany bilim ulgamyndaky düýpli özgertmeleriň başyny başlady.

Häzirki wagtda milli bilim ulgamyndaky döwrebap özgertmeler ýaş nesliň ýokary derejede bilim almagyna we terbiýelenmegine, giň dünýägaraýyşly, edep-terbiýeli, tämiz ahlakly, kämil hünärmenler bolup ýetişmeklerine uly ýardam edýär.

Aldyndan üçünji münýýlygyň altyn daňy atan eziz halkymyz beýik Galkynyşlar Zamanasynyň, eşretli, bagtyýar durmuşyň hözüriňi görüp ýaşaýar. Ösen Dünýä jemgyýetçiliginiň in görnükli Liderleriniň birine öwrülen hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň günibirin durmuşa geçirýän taýsyz tagallalarynyň, atalyk aladasynyň netijesinde Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan döwletimiz Dünýäniň in bir ösen ýurtlarynyň hataryna girdi. Onuň her günü täze üstünlikleriň, ajaýyp öwrülişikleriň, dünýä derejesindäki belent tutumlaryň beýik ruhuna eýlenýär, toý-baýramlara beslenýär.

Ata Watanymyzyň geljegi bolan bilimli – terbiýeli, edepli, ýokary ahlakly şahsyýet kemala gilip, ýurdumyzyň halk hojalygynyň ähli pudaklarynda ak ýürekden zähmet çekýärler. Halk hojalygynyň pudaklary üçin ýokary hünärli, şol sanda dolandyryş bölümüniň işgärlerini taýýarlamak ýurduň ösüşini hil taýdan täze derejä çykarmak babatda ýaýbaňlandyrylan ouň özgertmeleriniň özeni bolup durýar.

Beýik Galkynyşlar eýýamynda täze desgalary gurmak işi has giň gerime eýe boldy. Diňe soňky iki ýyla golaý wagtyň içinde ýurdumyzda iňňän möhüm ähmiýetli desgalaryň onlarçasynyň ulanylmaga berilmegi, wajyp taslamalaryň ençemesiniň durmuşa geçirilmegine badalga berilmegi hem munuň aýdyň subutnamasydyr.

Häzir Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek, dünýä ünlülerine laýyk getirmek, ýaş nesle döwrebap bilim - terbiýe bermek boýunça düýpli özgertmeler amala aşyrylýar.

Hormatly Prezidentimiz öz çykyşlarynyň birinde şeýle diýdi: „Milletimiziň ruhy we aň taýdan ösüşini, onuň özboluşly milli mirasynyň umumyadamzat gymmatlyklary bilen hemme taraplaýyn sazlaşykly ösmegini üpjün etmek bilen, biz eziz Watanymyzyň gülläp ösmegini, onuň dünýäniň ösen ýurtlarynyň birine öwrülmeğini gazanarys“.

Bilşimiz ýaly, türkmeniň kerem – keramatly söz şalygynda ata Watan bilen, ene bolsa, toprak bilen, ýagny, göbek ganyň daman ýeri bilen deňelýär.

Watanyň ýeke – täkligi, onuň duzunyň mukaddesligi, oňa dirikäň eden hyzmatyň üçin bu dünýäden gideniňden soň hem ruhuňy gorap durýandygy baradaky ynanç – ygtykatlar hem pederlerden bize galan mukaddesliklerdir.

Ýurdumyzda täze – täze binalaryň gurulmagy we täze – täzetehnologiýalaryň önümçilige ornaşmagy bilen ýokary mekdebi tamamlayan hünärmenlere bolan talap hem artýar.

Ölçeg özgerdijileri atly adalga häzirki wagtda has giňden ulanylýar. Ölçeg özgertmesi bu bir fiziki ululygyň özara baglanşykly başga bir fiziki ululygyň ölçegine özgerdilmegidir.

Ölçeg özgerdijileriniň ulanylmagy bu islendikölçeg desgasyňy gurmaklygynyň tejribedäki ýeke-täk usuly bolup durýar.

Ölçeg özgerdijisi – bu bir hususy ölçeg özgermesini ýerine ýetiriji, kesgitli fiziki iş düzgüninde gurlan tehniki gurluşdyr. Ölçeg özgerdijileriniň işi çylşyrymly şertde bolup geçýär, sebäbi bu çylşyrymly, köp taraply iş bolup dürli parametrler bilen häsiýetlendirilýär. Bu parametrler beýleki parametrler bilen bilelikde ölçeg özgerdijilerine täsir edýärler. Bizi gyzyklandyryýan diňe bir parametr bolup, ony biz ölçeg ululygy diýip atlandyryýarys, galan parametrleri bolsa päsge beriji parametrler hasaplaýarys. Şonuň üçin hem her ölçeg özgerdijilerinde tebigy giriş ululygyny kabul etmek amatlydyr. Şeýle ýagdaýda ölçeg özgerdijisiniň tebigy çykyş ululygyny hem kesgitleýäris. Tebigy çykyş ululygy boýunça ölçeg özgerdijileri iki sany uly topara bölünýärler: generatorly (çykyş ululygy bilen $e=f(x)$ ýa-da $i=f(x)$ we içki garşylygy $Z_{iç}=const$) we parametriki (EHG bilen $e=0$ we x funksiýasynda üýtgeýän R, L ýa-da C çykyş ululykly).

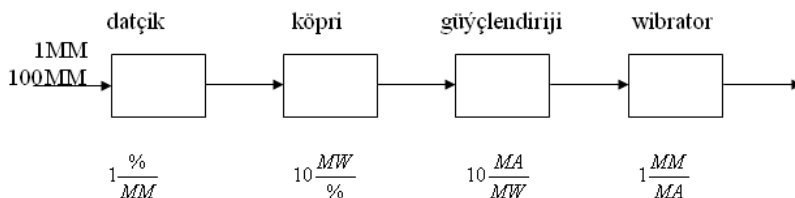
Ölçeg özgerdijisiniň özgerdiş funksiýasy – bu çykyş we giriş ululyklarynyň funksional arabaglanşygy bolup, ol analitiki aňlatma ýa-da grafik görnüşinde ýazylýar.

Özgerdijiniň çyzykly häsiýetnamasyny $\alpha = \varphi(\chi) = \alpha_0 + \Delta\alpha X$ ýazmak üçin iki parametr ýeterlidir. Ol X giriş ululygynyň nul bahasyna laýyk gelýän çykyş α_0 ululygynyň deslapky bahasyna we özgerdijiniň duýgurlygy diýlip atlandyrylýan $S = \Delta\alpha / \Delta X$ häsiýetnamanyň oňnositel gysarma görkeziji parametrleridir.

Özgerdijiniň duýgurlygy – bu giriş we çykyş ululyklarynyň tabigatyna baglylykda dürli ölçeg birlikli atlandyrylan ululyklardyr. Reostat özgerdijileri üçin duýgurlyk birlihi – Om/mm, termopara üçin - mW/K, fotoelement üçin - mkA/lm, ýörediji üçin - ayl/(s.w) ýa-da Gs/W, galwanometr üçin - mm/mkA we ş.m.

Ölçeg abzalynyň duýgurlygy bu birnäçe ölçeg özgerdijileriniň yzygiderli birikmesinden durýar, ol bolsa

maglumat geçiriji kanal emele getirýän hemme özgerdijileriň duýgurlyklarynyň köpeltmek hasyly bilen kesgitlenilýär. Muny ýönekeý düşünmek üçin magnitoelektriki ossillografyň wibratoryndan, güýçlendirijiden, deňagramlaşdyrylmadyk ölçeg köprüsinden we datçikden durýan çalt çyzykly süýşmeleri hasaba alýan we ölçemek üçin, ölçeg abzalyna seredip geçeliň.



Goý datçige ölçeg süýşmesi 1 mm täsir edende onuň garşylygy 1% özünüň ilkinji bahasyny üýtgedýär diýeliň. Onda onuň duýgurlygy $S_d = 1\%/mm$. Datçik, $x=0$ bolan ýagdaýynda deňagramlaşan ölçeg köprüsine birikdirilýär x nuldан gyşaran mahalynda ölçeg köprüsi deňagramlaşan ýagdaýyndan çykýar we onuň çykyşynda naprýaženiýe emele gelýär. Eger datçigiň garşylygy 1% üýtgesse, ölçeg köprüsiniň çykyşynda 10 mW naprýaženiýe emele gelýär, bu ýerde ölçeg köprüsiniň duýgurlygy $S_m = 10mW/\%$ deňdir. Ölçeg köprüsiniň çykyş naprýaženiýesi güýçlendirijä berilýär we eger güýçlendirijiniň duýgurlygy

$$S_{güýç} = 10mA/mW$$

bolýan bolsa, onda ossillografyň wibratoryna barýan güýçlendirijiniň çykyş togy 100mA deň bolar. Wibratoryň duýgurlygy $S_w = 1mm/mA$ bolan ýagdaýynda bu tok wibratoryň şöhlesiniň 100mm gyşarmasyna getirer. Şeýlelik bilen ölçeg abzalynyň jemleýji duýgurlygy aşakdaky ýaly bolar

$$S = S_d S_m S_{güýç} S_w = 1\%/mm \cdot 10mW/\% \cdot 10mA/mW \cdot 1mm/mA = 100mm/m$$

Ölçeg özgerdijleriniň hakyky we nominal häsiýetnamalary hem-de ýalňyşlyklary barada düşünje

Bir kysymly ölçeg özgerdijileri graduirlenende olaryň häsiýetnamalary bir-birinden ep-esli tapawutlanýarlarlar. Şonuň üçin ölçeg özgerdijileriniň pasportynda nominal diýlip atlandyrylýan ortaça häsiýetnamasy getirilýär. Özgerdijiniň pasportynda görkezilen nominal häsiýetnamasy bilen onuň hakyky häsiýetnamasynyň arasyndaky tapawuda bolsa ýalňyşlyk hökmünde seredilýär.

Birsyhly ýüze çykýan ýalňyşlyklar

4. Belli bir wagtyň geçmegi bilen üýtgemeyän ýa-da wagtyň geçmegi bilen kesgitli parametrlere üýtgemeyän funksiýaly ýalňyşlyklara birsyhly ýüze çykýan ýalňyşlyklar diýilýär.

Birsyhly ýalňyşlyklaryň esasy häsiýetleriniň biri hem olardan, laýyk düzediş girizmek bilen doly saplanyp bolýar.

Hemişelik birsyhly ýalňyşlyklaryň aýratyn howpy hem bu ýalňyşlyklaryň bardygyny adatdan daşary kyn ýüze çykarmakdyr. Olar köp wagtlap göze ilmän galyp bilýärler. Olary ýüze çykarmagyň ýeke täk usuly nusgalyk ölçeg abzaly boýunça gaýtadan derňew geçirmek ýoly bilen onuň duýgurlygyny we nol derňewininde ýüze çykarmakdyr. Birsyhly ýalňyşlyklaryň ýene-de bir sebäbi goşmaça ýalňyşlyklary, ýagny temperaturanyň, ýygylgyň, naprýaženiýäniň we ş. m. ýüze çykmagyndan döreýän ýalňyşlyklardyr.

Bulary hem goşmaça düzediş girizmek arkaly ýalňyşlyklary aradan aýryp bolar.

Tötänleýin ýüze çykýan ýalňyşlyklar.

Bu ýalňyşlyklar bahasy belli kesgitlenilmedik ýa-da ýeterlik öwrenilmedik ýalňyşlyklardyr. Bu ýalňyşlyklar ýüze çykanda haýsydyr bir kanunalaýyk kesgitleme bermek bize başartmaýar. Tötänleýin ýalňyşlygyň bardygyny birnäçe gezek gaýtadan ölçemek arkaly ýüze çykaryp bolar.

5. Ölçeg özgerdijileriniň umumy häsiýetleri we toparlara bölünişi. Gurluşy we işleýiş düzgüni boýunça ölçeg özgerdijileri dürli-dürli bolanlygy üçin olaryň häsiýetnamalary we parametrleri hem dürli-dürlidir. Olaryň iň esasyalary: draduirleme häsiýetnamasy, özgerdiş koeffisiýenti, ýalňyşlyklary we özgerdiş diapazonydyr.

Graduirleme häsiýetnamasy bu ölçeg özgerdijisiniň çykyş we giriş ululyklarynyň arasyndaky baglansykdyr.

$$y=f(x)$$

Özgerdiş koeffisiýenti – bu ölçeg özgerdijisiniň çykyşyndaky signaly ΔY üýtgemegine getirýän ululyga bolan gatnaşygydyr.

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

Özgerdijiniň ölçeg zynjyryndaky koeffisiýenti, birnäçe yzygiderli birikdirilen ölçeg özgerdijileriniň koeffisiýentleriniň köpeltmek hasylyna deňdir.

Elektriki däl ululyklaryň ölçeg özgerdijilerini esasan ulanylýan ýerleri we işleýiş düzgünleri boýunça aşakdaky toparlara bölýärler.

Ulanylýan ýerleri boýunça ölçeg özgerdijilerini mehaniki, ýylylyk, himiki, biologiki we beýleki fiziki ululyklaryň ölçeg özgerdijileri diýip bölýärler.

Işleýiş düzgüni boýunça olary generatorly we parametriki ölçeg özgerdijilerine bölýärler. Generatorly

özgerdijilerde ölçenilýän elektriki däl ululyk proporsional elektrik hereketlendiriji güýjüne ýa-da toguň güýjüne özgerdilýär. Şeýle özgerdijilere elektromagnitli, Hollyň elementlerine esaslanan özgerdijiler, pýezoelektriki we optiki özgerdijiler girýär. Parametriki özgerdijilerde ölçenilýän ululyklar elektrik zynjyrynyň dürli parametrlerine, ýagny garşylyga, sygyma, induktiwlige, ýygylýga we beýlekilere özgerdilýärler. Parametriki özgerdijilere rezistiw (kontaktly, reostatly, tenzorezistorlar), elektrostatik, elektromagnitli (induktiwli we magnitomaýýsgak), optik we beýleki özgerdijiler girýär.

Durmuşda şol bir elektrik däl ululyklary ulanylýan şertine baglylykda dürli kysymly ölçeg özgerdijilerini peýdalanýarlar.

Ölçeg özgerdijileriniň dinamik häsiýetleri.

1. Ýylylyk inersiýasy hakynda mesele çözmek zerurlygy ýüze çykanda iki ýagdaýa seretmeli bolýarys. Birinji ýagdaýda a) çyzgy **m** agramly, **c** udel ýylylyk sygymly, **Ö₁** hemişelik temperaturaly gurşawda ýerleşmek bilen, käbir **t₁** moment wagtynda işe girizilýär. Şunuň netijesinde onuň içinden **P** kuwwat bölünip çykýar we datçigiň temperaturasy **Ö₂ (t)** käbir durnuklaşdyrylan ýagdaýa ýetmek üçin ýokarlap başlaýar.

Özgerdijiniň takmynan deňlemesi

$$P = \xi S (\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1) + mc \frac{d(\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1)}{dt};$$

ýa-da ony tablisa görnüşine getirmek bilen alýarys

$$P / (\xi S) = (\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1) + \frac{mc}{\xi S} \frac{d(\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1)}{dt};$$

bu ýerde **S** – ýylylyk çalşygynyň üsti, şeýle-de özgerdijiniň sowadyş üsti diýlip atlandyrylýar.

ξ - ýylylyk beriji koeffisiýenti.

Getirilen deňleme periodik däl deňlemäniň bölegine laýyk gelýär.

$$PS_0 = (\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1) + Td(\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1)/dt ;$$

2. Özgerdijiniň statik duýgurlygy

$$S_0 = (\ddot{O}_2 - \ddot{O}_1) / P = 1/(\xi S) ;$$

wagt hemişeligi

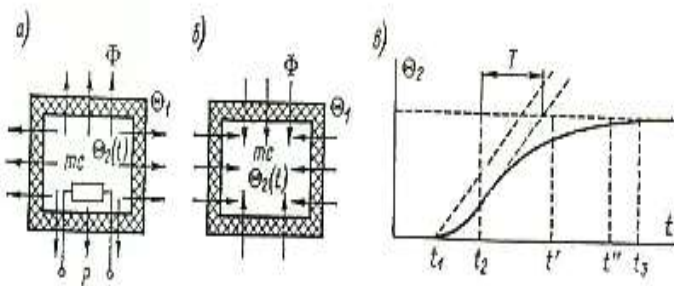
$$T = mc/(\xi S) ;$$

Ikinji ýagdaýda (b çyzgy) ölçeg abzaly we datçik **m** agramly we *c* ýylylyk sygymly, \ddot{O}_2 temperaturaly **t**₁ moment wagtynda \ddot{O}_1 temperaturaly gurşawa ýerleşdirilýär we munuň netijesinde gurşaw bilen ýylylyk çalşygy sebäpli onuň temperaturasy \ddot{O}_1 bahasyna ýetmäge ymtylýar. Bu ýagdaýda özgerdiş deňlemesi

$$\ddot{O}_1 - \ddot{O}_2 + \frac{mc}{\xi S} \frac{d\ddot{O}_2}{dt} ;$$

ýa-da operator görnüşinde

$$\ddot{O}_2 = \ddot{O}_1 / (1 + Tp) ;$$



Surat 2.

2-nji çyzgyda ýylylyk özgerdijisiniň giriş prosesiniň eksperimental gyşarmasy görkezilendir. Periodiki däl özgerdijiniň geçiş prosesiniň bu gyşarmasynyň tipli gyşarmadan aýratynlygy aşakdakylardan durýar: **t**₂ – **t**₁ sazlaşyga çenli düzgün diýlip aýdylýar (ýokarda getirilen deňleme çykarylanda hasaba alynmadyk), bu wagtda temperaturanyň gaýtadan paýlanmasy bolup geçýär we bir

tarapa ugrukdyrylan ýylylyk akymyna laýyk gelýän temperatura gradiýenti amala aşyrylýar. $t_3 - t_2$ bölekde temperaturanyň sazlaşykly düzgüni amala aşyrylýar, t_3 –den soňra ýylylygyň deňagramlaşan düzgüni durnuklaşýar. Ölçeg özgerdijilerinde sazlaşyga çenli bolan düzgün otnositel az wagt eýeleýär, şonuň üçin özgerdijileriň dinamiki häsiýetlerine baha bermek üçin periodiki däl özgerdijiler üçin alnan hemme hasaplama gatnaşygy ulanylýar.

Wagtyň ýylylyk hemişeligi $T = mc / (\xi S)$ özgerdijiniň doly ýylylyk sygymy we onuň daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşmak şerti bilen kesgitlenilýär, şonuň üçin şol bir özgerdijiniň ýylylyk çalyşmak şertine baglylykda dürli wagt hemişelig bardyr.

Wagt hemişeligini hasaplamak üçin datçigiň ýa-da abzalyň detalyňyň umumy ýylylyk sygymyny tapmak zerurdyr. Bu diňe takmynan ýerine ýetirilmegi mümkindir. Ähli agyr metallar üçin (mis, latun, demir) $c=400 \text{ Dj}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ kabul edip bolar, ýeňil metallar üçin (alýuminiý, farfor, slýuda) $c=800 \text{ Dj}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, organiki metallar üçin (tekstolit, geinaks, orgaýna) $c=1300 \text{ Dj}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ deňdir.

Ýylylyk beriş koeffisiýenti özgerdijiniň ýerleşýän daşky gurşawyna, onuň üstki ýagdaýyna, onuň daşyndaky suwuklygyň ýa-da gazyň konweksiýasyna baglydyr we diňe takmynan hasaplamalar geçirmäge mümkinçilik berýär.

Ýokarda getirilen deňlemeler boýunça aşa gyzmaklygyň durnuklaşmagyny hasaplamak diňe bir ölçeg abzalyňyň içindäki aýry-aýry detallaryňyň temperatura bolan gatnaşygy boýunça däl-de, ölçeg abzalyňyň tutuşlaýyn daşky gurşawyň temperaturasyna bolan gatnaşygy boýunça hasaplaýarlar. Bu ýagdaýda ýylylyk beriş koeffisiýenti ölçeg abzalyňyň daşynyň kysymyna we ölçeg abzalyňyň içindäki ýylylyk çykaryjy elementleriň ýerleşişine baglydyr.

Agramy **1-3 kg** bolan özgerdijileriň ýa-da ölçeg abzallaryňyň wagt hemişeligi 20-30 min. durýar. Senagat termometrleriň wagt hemişeligi **3-6 min.**

Uzynlygy **L**, dykzlygy **P** we diametri **d** bolan silindr görnüşli jisimiň wagt hemişeligi

$$T = \frac{plc\pi d^2 / 2}{\pi d / \xi} = pcd / (2\xi);$$

Dürli görnüşli gaty jisimlerde köpeltmek **p·c=k** uly bolmadyk aralykda üýtgeýär. Bu organiki maddalarda **1,4·10⁶Dj/(m³·K)** – dan, metallar üçin **3,5·10⁶ Dj/(m³·K)** – e çenli üýtgeýär. Şonuň üçin $T = kd / \xi$ azaltmak diňe **d** diametri kiçeltmek we ξ ýylyk beriş koeffisiýentini ulaltmak ýoly bilen mümkindir.

Basyşyň tenzorezistiwi datçiginiň dinamiki häsiýetine seredip geçeliň. Ol titan wtulkasyna berkidilen kremniý tenzorezistorly sapfiý membranasyndan durýar.

Membrananyň aşagyndaky kamera ştuseriň üsti bilen basyş berilýär. Berkitmegiň goşmaça elementi hökmünde burçluk metal ulanmak mümkindir.

Datçigiň dinamiki duýgurlygy aşadaky deňleme boýunça kesgitlenip bilner.

$$S(p) = S_1(p)S_2(p)K_3S_4(p);$$

bu ýerde $S_1(p)$ - ölçenilýän basyşyň özgerdiş koeffisiýenti **P_{öçl}**, bu membrananyň aşagyndaky kameradaky basyşdyr. **P_x** ;

$S_2(p)$ - basyşyň özgerdiş koeffisiýenti **P_x**, bu membrananyň deformirlenen basyşy;

K₃ - tenzoköprüniň çykyşyndaky güýjenmäniň **E** deformasiýasynyň özgerdiş koeffisiýenti.

$S_4(p)$ - datçigiň korpusynyň ýokarky böleginde ýerleşdirilen güýçlendirijiniň güýçleniş koeffisiýenti.

Galyňlygy 2,25 mm we diametri 12 mm bolan membrananyň hususy yrgyldasynyň ýygyllygy 33 KGs bolýar. Güýçlendirijiniň geçiriş zolagynyňky has ýokary bolmagy mümkin. Şeýlelik bilen geçiriş kanalynyň basyşy has inersiýaly bolmagy mümkin.

Kanalýň hususy ýygylgy

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}};$$

$$\text{bu ýerde } C = C_k + C_{tr} = \frac{V_0}{pc^2} + \frac{S_{tr}L_{tr.ekw}}{pc^2};$$

$$L = L_{tr} = \rho \frac{L_{tr.ekw}}{S_{tr}};$$

c – gardaky ses tizligi; p – gazyň dykzlygy;

$S_{tr} = \pi d^2 / 4$ - trubkanyň kese kesigi;

$L_{tr.ekw} = kL_{tr}$ - trubkanyň ekwiwalent uzynlygy;

şýlelik bilen kanalýň hususy ýygylgy

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{c}{\sqrt{kL_{tr}(kL_{tr} + V / S_{tr})}};$$

Gazlaryň we suwuklyklaryň basyşyny özgertmek üçin tenzorezistorlardan başga elektrostatik, induktiw, pýezo elektrik we reostatly özgerdijiler ulanylýarlar.

3. Basyş özgerdijilerinde membrana görnüşli maýyşgak elementleri ýygy-ýygdan peýdalanýarlar. Şýle özgerdijileriň korpusyna membrana berkidýärler, onuň üstüne tenzorezistor ýelimleýärler. Has uly duýgurlygy üpjün etmek üçin tenzorezistoryň ölçegi bilen membrananyň ölçegi bir-birine laýyk gelmelidir. Bu ýagdaýda membrananyň galyňlygyny we diametrini mümkin boldugyça kiçi saýlaýarlar.

Basyşy ölçýji tenzorezistorly özgerdijiler **40 MPa** - a çenli basyşy ölçemäge mümkinçilik berýärler.

Basyşy pýezoelektrik özgerdijilerde gaz ýa-da suwuklyk membrananyň üsti bilen ilki pýezoelemente täsir edýär. Olar özgerdijiniň korpusynda şýle ýerleşdirilen, özgerdijiniň içki tekizliginde metal gatlak bilen galtaşyp bir belgili zaryad öndürýärler. Güýçli gysylmanyň täsiri astynda ýüze çykan elektrik hereketlendiriji güýji geçirijiniň kömegi

bilen özgerdijiniň korpusyndan birikdirilen metal gatlagga çykarylýar. Pýezoelementleriň deňagramly ýüklenmegi üçin, olary metal gatlaklaryň arasyna berkidýärler. Gatlagyň üsti bilen basyş aşaky pýezoelemente täsir edýär, ýokarky pýezoelement gatlagyň we şarigiň üsti bilen korpusyň gapagyna direlýär. Pýezoelementleri özgerdijiniň korpusyna şeýle ýerleşdirýärler, ýagny özgerdijiniň çykyşyndan otrisatel zarýadlar çykýarlar, položitel zarýadlar korpusyň üsti bilen ýere goýberilýär. Özgerdijilerde zarýadlar diňe membrana üýtgeýän mahalynda täsir edýänligi sebäpli ýüze çykýarlar, şonuň üçin beýle özgerdijileri ýygylýk diapazony **10-dan 80 000 Gs-e** çenli üýtgeýän basyşy ölçemek üçin peýdalanýarlar.

Basyşyň reostatly özgerdijilerinde iňňe kebşirlenen membrana özgerdijiniň korpusyna berkidilen. Iňňäniň uýy garşylygy üýtgeýän rezistoryň hereketlenýän kontakty bilen birikdirilen. Suwuklyk ýa-da gaz özgerdijiniň membranasyna täsir edende, ol deformirlenýär we iňňäniň üsti bilen hereketlenýän kontakty süýşürýär. Hereketlenýän kontaktyň süýşme ýagdaýy özgerdijiniň garşylygynyň üýtgame ýagdaýyna laýyk gelýär. Mehaniki naprýaženiýäni we basyşy ölçemek üçin adatça derňew edilýän ýere iki tenzorezistor ýelimleýärler we ony ölçeg köprüsiniň iki egnine birikdirýärler. Bu çyzgynyň duýgurlygyny ýokarlandyrmak we temperaturasyny durnuklaşdyrmak üçin zerurdyr. Ölçenilýän mehanik naprýaženiýäniň täsir okunyň uzaboýuna iki tenzorezistor ýelimlenen mahalynda ölçeg çyzgysynyň duýgurlygy takmynan iki esse ýokarlanýar. Bir tenzorezistoryň temperatura garşylygynyň üýtgemegi, beýleki tenzorezistoryň garşylygynyň garşylyklaýyn üýtgemegi bilen özara kompensirlenýärler.

Pnewmatik we gidrawlik bölekleriň dinamik häsiýetnamalary

1. Pnewmatik we gidrawlik ulgamlary hasaplanlarynda olaryň elektrik meňzeşligini ulanýarlar. Gidrodinamik garşylyk käbir bölekdäki hemişelik basyşyň üýtgäp durmagynyň ΔP şu bölekdäki maddanyň akymyna (sekunt saýyn göwrüminiň harçlanylşy) derňew, ýagny $R = \Delta P/Q$ we Nýuton sekundyň metriň başinji derejesine bolan gatnaşygy bilen ölçenilýär. ($H \cdot C/M^5$)

2. Gidrodinamiki induktiwlik.

$$L = \Delta P / (dQ/dt); (1)$$

maddanyň agramynyň şol maddanyň akyp geçýän meýdanynyň kesiginiň inedördülligine bolan gatnaşygy bilen aňladylýar.

$L = m/S^2$ bu kilogramyň metriň dördünji derejesi bilen ölçenilýär, (kg/m^4) Gidrodinamik sygym.

Käbir göwrümiň gidrodinamik sygymy, şu göwürüme akýan akymyň, şol akymyň tizligi sebäpli basyşyň üýtgemegine bolan gatnaşygyna deňdir

$$C = Q / (dP/dt); (2)$$

bu metriň başinji derejesiniň Nýutona bolan gatnaşygy bilen ölçenilýär, (m^5/H).

Ölçeg ulgamynda ýygy-ýygydan duş gelýän käbir pnevmatiki elementleriň garşylygynyň, sygymynyň we induktiwliginiň aňladylşyna seredip geçeliň

Göwürümi V gaz bilen doldurylan gap. Gabyň göwürümi elektriki meňzeş bolan C sygym daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşygy ýok wagtynda aşakdaky deňleme boýunça kesgitlenilýär

$$C = V / (\gamma P) = V / (\rho c^2); \quad (3)$$

bu ýerde P – gapdaky absolýut basyş;

$\gamma = C\rho / C_v$ - hemişelik basyşyň wagtynda ýylylyk sygymynyň hemişelik göwrüme bolan gatnaşygy;

ρ - gazyň dykzlygy;

c – sesiň tizligi.

Gabyň göwrüminiň hemme ýerini hemişelik temperatura bilen üpjün edýän daşky gurşaw bilen gabyň diwarlarynyň arasyndaky ýylylyk çalşygy mahalynda gidrodinamik sygym aşadaky formula bilen kesgitlenilýär

$$C_0 = V / P; \quad (4)$$

Bu ýerde örän ýuwaş – ýuwaşdan basyş üýtgän mahalynda, ýagny pes ýygylkda izotermik prosesiniň bolup geçmegi ikiüçsyzdur.

Kese kesigi S we uzynlygy L bolan turba. Togalak turbanyň gidrodinamik garşylygy

$$R = \frac{32\mu l}{d^2 s} = \frac{40,8\mu l}{d^4}; \quad (5)$$

bu ýerde μ - dinamik şepbeşiklik

Gidrodinamik induktiwlilik

$$L = \rho l / S; \quad (6)$$

Kanallyň sygymy

$$C = V / (\rho c^2); \quad (7)$$

Ýagny togalak turba üçin

$$C = \frac{\pi d^2 l}{(\rho c^2)}; \quad (8)$$

3. “Ýerli garşylyk” – akymyň giňelmegi ýa-da gysylmagy, diwarynda deşik etmek. Bu garşylyklaryň esasy aýratynlygy olaryň akymyň absolýut bahasyna baglylygy bolup durýar. Q Ýerli garşylyk aşadaky deňleme boýunça kesgitlenilýär.

4.

$$R=bQ; (9)$$

Has ýönekeý ýagdaýlar üçin koeffisiýent **b** deňdir:

a) akymyň birden giňelen ýagdaýynda ($S_2 > S_1$)

b)

$$b = 0,5(1 - S_1 / S_2) \rho / (2S_2^2); \quad (10)$$

c) akymyň birden gysylan ýagdaýynda ($S_1 > S_2$)

d)

$$b = 0,5(1 - S_2 / S_1) \rho / (2S_2^2); \quad (11)$$

ç) **f** kese kesikli kiçi deşikli ýuka diwarda

$$b = 2,5 \rho / (2f^2); \quad (12)$$

Akymyň üýtgeýän düzüjileri üçin ýerli garşylyk

$$R_{\sim} = 0,87bQm; \quad (13)$$

bu ýerde **Qm** – akymyň esasy ýygylgynyň amplitudasyny düzüji.

Akymyň amplitudasy aşadaky deňleme boýunça kesgitlenilýär

$$Qm = WC(P_{\text{çyk}})m; \quad (14)$$

bu ýerde **W** – akymyň pulsasiýa ýygylgy

C – ýerli garşylygyň aňyrsynda ýerleşýän sygym ulgamy.

$(P_{\text{çyk}})_m$ - ýerli garşylygyň aňyrsyndaky pulsirleýji basyşyň amplitudasy.

4. Artykmaç basyşyň datçiginiň gurluşy aşadaky çyzgyda berlendir. Datçik kameradaky howanyň pulsirleýji basyşyny

(1) ölçemek üçin niýetlenen. Basyşyň hemişelik düzüjisi P_o , basyşyň üýtgeýän düzüjisiniň amplitudasy P_m , membrananyň aşagyndaky kameranyň diametri $2D$, beýikligi h , barýan (3) turbanyň uzynlygy l , diametri d .

Ýygylýk $0 - 200$ Gs diapazonda geçiriş kanalyňyň basyşynyň ýygylýk häsiýetnamasyny aşakdaky ýaly kesgitleýäris.

Pnewmatik ulgamyň ekwiwalent çyzgysy b çyzgyda görkezilendir. Bu ýerde R_1 – kanala girýän ýerli garşylyk;

R – kanalyň garşylygy;

L – kanalyň induktiwligi;

R_2 – kanaldan çykýan ýerli garşylyk;

C_k – membrananyň aşagyndaky kameranyň sygymy;

p – howanyň dyklyzlygy;

μ – şepbeşiklik;

γ – ýylylyk sygymlarynyň gatnaşygy;

Kameranyň sygymy

$$C_k = \frac{V}{\gamma \rho}; \quad (15)$$

Kanalyň induktiwligi

$$L = \frac{pl}{s}; \quad (16)$$

Kanalyň sygymy

$$C = \frac{V}{\gamma \rho}; \quad (17)$$

Kanalyň garşylygy

$$R = \frac{40,8\mu l}{d^4}; \quad (18)$$

Ýerli garşylyk

$$R_1 = \frac{0,5p}{2(\pi d^2/4)^2} 0,87wcP_m; \quad (19)$$

garşylyk $R_2 \approx R_1$

Ýokardaky formulalardan görnüşi ýaly kanalyň C sygymyny hasaba almazdan ekwiwalent çyzgyny ýönekeýleşdirip (çyzga seret) bolar.

Basyş geçiriji kanalyň geçiriş funksiýasyny aşakdaky deňleme arkaly kesgitleýäris.

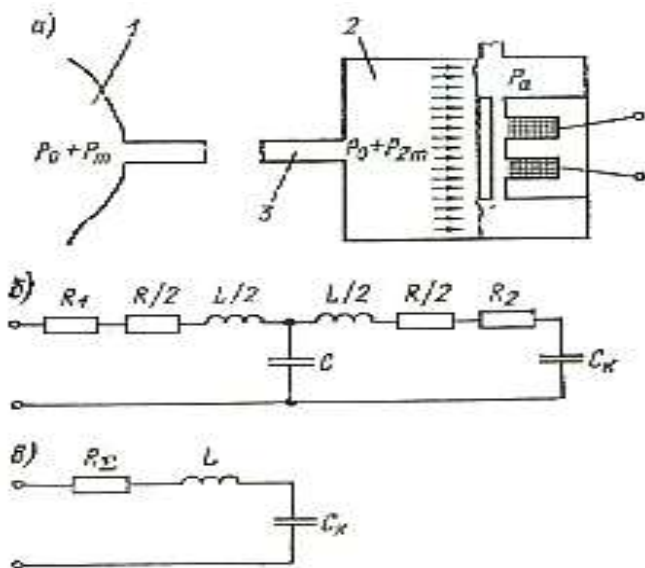
$$\frac{P_2(\rho)}{P_1(\rho)} = \frac{1/(\rho C_k)}{1/(\rho C_k) + R_\Sigma + \rho L} = \frac{1}{1 + \rho C_k R_\Sigma + \rho^2 C_k L}; \quad (20)$$

Kanalyň amplituda – ýygylýk häsiýetnamasy aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$P_{2m} = P_{1m} \frac{1}{V(1 - w^2 C_k L)^2 + w^2 (C_k R_\Sigma)^2}; \quad (21)$$

Mehano – elektrik özgerdijileriň ekwiwalent elektrik çyzgylary

Ölçeg tehnikasynnda şeýle özgerdijiler ýygylý – ýygylýdan ulanylýar. Olaryň ýygylýk häsiýetnamalary bölekleyin elektriki, bölekleyin mehaniki parametrlr bilen kesgitlenilýär. Şunuň ýaly ýagdaýlarda ähli parametrleri haýsydyr bir görnüşe (gowusy elektriki) getirmek we hemme özgerdijileri nähilidir bir ekwiwalent görnüşe ýagny şol bir ýygylýk häsiýetleri bar elektrik zynjyryna öwürmek amatlydyr. Bu zynjyrlaryň hem elektriki, hem mehaniki elementleri bolmalydyr. Bu usul ekwiwalent çyzgylar usuly ýa-da elektriki oruntutmalar usuly diýip atlandyrylýar. Bular elektrik we mehanik ulgamlaryň differensial deňlemelerine esaslanýar.



3-nji çyzgy.

3-nji çyzgyda mehanik yrgyldylar ulgamy we onuň yzygiderli we parallel konturlar görnüşinde elektrik meňzeşligi görkezilendir.

Mehanik ulgamlaryň differensial deňlemesi aşakdaky ýaly ýazylýar.

$$m = \frac{d^2 x}{dt^2} + P \frac{dx}{dt} + nx = F ; \quad (22)$$

ýa-da

$$m = \frac{d\vartheta}{dt} + P\vartheta + n \int \vartheta dt = F ; \quad (23)$$

bu ýerde

F – goýulan güýç;
m – hereketlenýän bölegiň agramy;

p – şepbeşik sürtelmäni häsiýetlendirýän köşeşdiriji koeffisiýent;

n – ýaýjygyň işleýşi;

x – hereketlenýän bölegiň süýşmesi;

$v=dx/dt$ - hereketlenýän bölegiň hereket tizligi.

Yzygiderli konturyň differensial deňlemesi aşakdaky ýaly ýazylyp bilner:

$$L = \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = e; \quad (24)$$

Parallel konturyň differensial deňlemesi

$$C = \frac{de}{dt} + \frac{e}{R} + \frac{1}{L} \int e dt = i; \quad (25)$$

Differensial (22), (23), (24) we (25) deňlemeleri deňeşdirenimizde mehaniki ulgamyň yzygiderli şeýle-de parallel elektrik konturlar bilen çalşyp bolýandygyny görkezýär. Elektromehanik meňzeşlik usuly ölçeg özgerdijileri hasaplanylanda giňden peýdalanylýar.

Generatorly özgerdijileriň ölçeg zynjyrlary.

Generatorly özgerdijiler giriş ululygynyň x funksiýasy we Z_i içki garşylygy bolup durýan çykyş elektrik hereketlendiriji güýjüni $E(x)$ häsiýetlendirýär. Bu iki ululyk gysga utgaşmak düzgüninde özgerdijileriň özdürýän $P_{g.u}=E_2/Z_i$ kuwwatyny, ýagny içki garşylykda harçlanýan kuwwaty kesgitleýär. Generatorly özgerdiji tarapyndan Z_n garşylykly indiki özgerdijä berilýän kuwwat, gysga utgaşma $P_{g.u}$ we generatorly özgerdijini peýdaly ulanmaklygy häsiýetlendirýän käbir ölçegsiz ξ koeffisiýenti kesgitleýär.

Hakykatdan özgerdijileriň garşylygyny we ýüki aktiw hasaplap, aşakdaky deňlemäni alýarys:

$$P_{yuk} = I^2 R_{yuk} = \frac{E^2 R_y}{(R_i + R_y)^2} = \frac{E^2}{R_i} \frac{R_i R_y}{(R_i + R_y)^2} = \xi P_{g.u.};$$

bu ýerde

$$\xi = \frac{R_i R_y}{(R_i + R_y)^2} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)^2}; \quad \alpha = R_y / R_i;$$

funksiýanyň gatnaşygy bolup, R_i we R_y absolýut bahalaryna bagly dälendir.

Ylalaşylan garşylyklarda kompleks ululyklar Z_i we Z_y bar bolan ýagdaýynda doly kuwwatlaryň gatnaşygy $\xi = P_y / P_{g.u}$ diýip düşünmelidir.

Käbir ýagdaýlarda ylalaşan şertlerden ýüz öwürmeli bolýar. Ol ölçeg desgalarynyň ýalňyşlyklaryny azaltmak üçin edilýär. Termoelektrik termometrler üçin, meselem, ylalaşylan şert garşylyklaryň deňleşmegi bolup durýär.

$$R_{tp} + R_s = R_{yuk};$$

bu ýerde R_{tp} - termoparanyň garşylygy
 R_s - birikdiriji simleriň garşylygy
 R_{yuk} -ýüküň garşylygy (milliwoltmetr)

Bu ýagdaýda birikdiriji simleriň garşylygynyň üýtgemeginden, termoparanyň garşylygynyň üýtgemeginden termometriň uly ýalňyşlygy ýüze çykýar.

Galwanik özgerdijiler bilen işleýän zynjyrlar hem şeýle ýagdaýa düşüp bilerler. Galwanik özgerdijileriň elektrolitiniň üstünden uly toklar geçende, olaryň elektrodларыnda polýarlaşmak ýagdaýyny ýüze çykarýarlar, şunuň bilen birlikde jemleýji elektrik hereketlendiriji güýjüni üýtgedýär. Şonuň üçin şeýle özgerdijiler bilen işleýän zynjyrlaryň giriş garşylyklaryny $R_y > 1000 R_i$ deňläp alýarlar.

Pýezoelektrik özgerdijileriň we induksion özgerdijileriň içki reaktiw garşylyklary bardyr. Bu giriş ululyklarynyň ýygylýkdan üýtgemegine, çykyş ululyklarynyň baglylygyna getirýär, sebäbi

$$E(x) = S_{\text{öz}} X_m \sin wt ;$$

bu yerde $S_{\text{öz}}$ – özgerdijiniň duýgurlygy.

Şu ýagdaýda pýezoelektriki özgerdijilere pes ýygylkda ýygylk ýalňyşlygy häsiýetlidir, induksion özgerdijiler üçin bolsa ýokary ýygylkda häsiýetlidir. Bu iki ýagdaýda-da ýygylk ýalňyşlygyny azaltmak $R_y \gg Z_i$ ýagdaýda ýerine ýetirilýär.

Parametrik özgerdijiler bilen işlemek üçin hem hemişelik tok, hem üýtgeýän tok bilen iýmitlendirilýän ölçeg zynjyrlary ulanylýar.

Parametrik özgerdijiniň garşylygy ölçeg ululygynyň $R=f(x)$ funksiýasy bolup, ol $R=R_0+\Delta R(x)$ aňladylyp bilner. Özgerdijileri iýmit çeşmeleri ýeterli ätiýaçlyk kuwwatly bolýarlar. Özgerdijä goýberilen kuwwat tok çeşmesiniň mümkinçiligi bilen däl-de, özgerdijiniň işleýän şerti bilen çäklendirilýär, ýagny ygtybar berlen ýaýraýjy kuwwat bilen çäklendirilýär. Şeýlelik bilen parametrik özgerdijileriň häsiýetnamalary şu aşakdakylar bolup durýar:

- ygtyýar berlen ýaýraýjy kuwwat;
- başlangyç garşylyk;
- garşylygyň oňnositel üýtgemegi $\varepsilon = \Delta R / R_0$;

Parametrik ölçeg özgerdijileri bilen üç görnüşli ölçeg zynjyrlary ulanylýar:

- yzygiderli birikdirilýän zynjyrlar;
- bölüjiler görnüşli zynjyrlar;
- ölçeg köprüsi görnüşli zynjyrlar.

Ýük garşylygyndaky çykyş güýjenmesi üçin $U_{\text{çyk}}$, başlangyç güýjenme

$U_0, \varepsilon=0$ bolan ýagdaýynda we güýjenmäniň üýtgemesi $\Delta U_{\text{çyk}}=f(\varepsilon)$ ε baglylykda we $\alpha= R_y/R_0$ yzygiderli birikdiriliş zynjyry üçin we differensial we ýekegat bölüjiler görnüşindäki özgerdijileriň zynjyrlary üçin formulalar aşakdaky tablisada berlendir.




Yzygiderli birikdirilen zynjyr üçin özgerdijiniň garşylygy we ýüküň ylalaşyk şerti

$$\alpha = 1/3; \quad \text{ýa-da} \quad R_{yuk} = 1/3R_0; \text{ bolar.}$$

Ylalaşyk şerti ýerine ýetirilen halatynda görkeziji garşylykly alnan signalyň kuwwaty $P_{yuk} = 3/1 \varepsilon P_{i_{ygt}} \varepsilon^2$, bolar.

Parametrik özgerdijiler üçin α – dan özgerdijiniň netijelilik baglanşygy $\xi = P_{yuk} / (P_{i_{go\phi o}} \varepsilon^2)$; aşakdaky suratda görkezilendir.

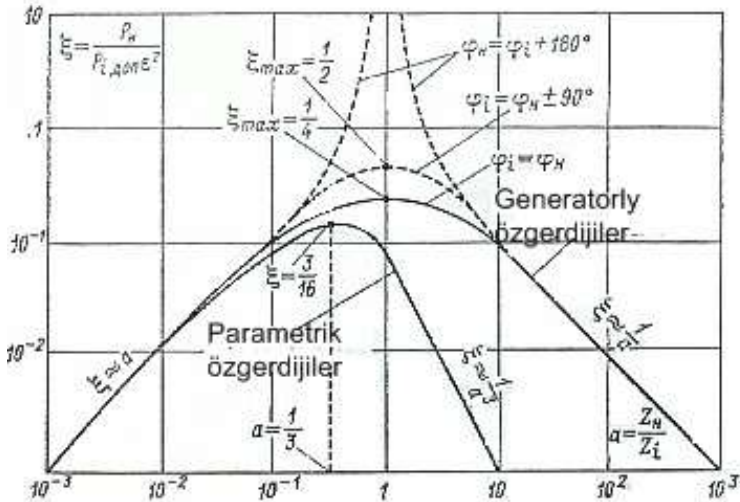
Gözenek 3

Ölçeg zynjyrynyň görnüşi	Napryazheniye üçin formula		
	U_{yuk}	U_0	ΔU_{yuk}
	$E \frac{R_n}{R_0 + R_n + \Delta R}$	$E \frac{\alpha}{1 + \alpha}$	$E \frac{\alpha}{1 + \alpha} \frac{1 + \alpha}{1 + \alpha + \Delta R}$
	$E \frac{(R_0 + \Delta R) R_n}{R_n (R_0 + \Delta R + R_1) + (R_0 + \Delta R) R_1}$	$E \frac{\alpha}{2\alpha + 1}$	$E \frac{\alpha}{2} \frac{1 + \alpha}{2 + 2\alpha + 1 + (2\alpha + 1) \alpha + \alpha + 1 + (2\alpha + 1) \alpha}$
	$E \frac{(R_0 + \Delta R) R_n}{R_1 + \Delta R R_0 - \Delta R R_1}$	$E \frac{\alpha}{2\alpha + 1}$	$E \frac{\alpha}{2\alpha + 1} \frac{1 + \alpha (1 + 2\alpha) + \alpha^2}{1 + 2\alpha - \alpha^2}$

Maksimum gyşarma has ýiti bolýar we generatorly özgerdijelere seredeniňde, parametrik özgerdijiler üçin ylalaşyk şerti has berk ýerine ýetirilmelidir.

Yzygiderli birikdirilen ölçeg zynjyrlary we bölüjiler görnüşindäki zynjyrlar ε we $\Delta U_{çyk}$ arasyndaky çyzyksyz baglanşyk bilen häsiýetlendirilýär, şeýlelikde ε näçe uly boldugyça çyzyk ýalňyşlygy şonça köp bolýar. Bölüjiniň zynjyryna differensial

özgerdiji birikdirilende α näçe uly boldugyça çyzyk ýalňyşlygy azalýar we $\alpha \rightarrow \infty$ bolanda nola deňleşýär.



Surat 3.2.

Yzygiderli birikdiriliş zynjyrlarynyň we bölüjiler görnüşindäki zynjyrlaryň esasy kemçilikleri $x=0$ bolanda çykyş naprýaženiýesi $U_{çyk} \neq 0$ laýyk gelýär. Bu kemçilikleri üýtgeýän ululyklar ölçenilen mahalynda bölüji kondensatorly ölçeg zynjyrlaryny ulanmak bilen, aradan aýryp bolar.

Deňagramsyz ölçeg köprüleri görnüşindäki ölçeg zynjyrlary.

Deňagramsyz ölçeg köpri zynjyrlaryny gurmaklygyň esasy manysy çykyş signalynyň deslapky bahasyny başlangyç kompensirlemek bolup durýar, ýagny $x=0$ bolanda ol nula deň bolmalydyr. Munuň üçin R_1 özgerdijiden durýan R_1 we R_2 bölüjä ýene bir R_3 we R_4 bölüji goşýarlar. Şeýle ýagdaýda R_{yuk} garşylykdaky U_{yuk} we onuň üstünden geçýän I_{yuk} tok $x=0$ bolanda ýok bolmaly.

X 0-dan gyşaranda we $R_1 = R_0 \pm \Delta R$ bolanda köpri deňagramlylyk ýagdaýyndan çykýar, munuň netijesinde

$$I_{yuk} = f_1(x) \quad \text{we} \quad U_{yuk} = f_2(x)$$

Şeýle gurluş diňe bir elektrik köprüleriň ölçege zynjyrlarynda bolman, eýsem magnitli, optik we beýleki ölçege köprülerinde hem bardyr. Şeýle ýagdaý elektrik toklary üçin döredilmän, magnit, ýagtylyk we beýleki akymlyar üçin hem döredilýär.

Deňagramsyz ölçege köprüsiniň ölçege zynjyrlarynyň, bölüji görnüşli zynjyrlardan mümkinçiligi örän ulydyr, sebäbi parametriki özgerdijileri bir, iki ýa-da dört eginli ölçege köprüsi hökmünde birikdirilip bilner. Muny düşünmek üçin deňagramsyz ölçege köprüleriniň ölçege zynjyrlarynyň esasy häsiýetlerine seredip geçeliň.

Deňagramlylyk ýagdaýy, ýagny $x=0$ bolan ýagdaýynda ölçege geçirmezden öň $I_{yuk} > 0$ deňleýärler. Ölçege köprüsini deňagramlaşdyrmak şerti

$$R_2 / R_1 = R_4 / R_3 \text{ ýa-da} \quad R_2 R_3 = R_1 R_4$$

Ölçege köpri zynjyrynyň çykyş togy aşakdaky aňlatmada görkezilendir.

$$I_{yuk} = E \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_{yuk} (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} ;$$

bu ýerde I_E – ölçege köprüsiniň tok çeşmesi.

Differensial özgerdijili deňagramsyz ölçege köprüsiniň özgerdiş funksiýasy, deňagramlylyk ýagdaýy şertinde köprüniň eginleriniň garşylyklarynyň hemmesi deň R_0 , berlen naprýaženiýe $E = \text{const}$ bolanda aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär.

$$U_{yuk} = \frac{1}{2} Ee \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_y} (1 - \varepsilon^2 / 2)} ;$$

Özgerdijiniň çyzykly funksiýasy bölüji görnüşli ölçeg zynjyrlarynda $R_{yuk} = \infty$ bolanda ýerine ýetirilýär.

Eger ölçeg köprüsine berlen tok $I_E = \text{const}$ bolanda islendik R_{yuk} bolanda-da özgerdiş funksiýasy çyzyklydyr we aşakdaky deňleme bilen aňladylýar

$$U_{yuk} = \frac{1}{2} I_E \varepsilon R_0 \frac{1}{1 + R_0 / R_y} ;$$

Differensial özgerdijili ölçeg köprüsiniň özgerdiş funksiýasy köprüniň R_1 we R_3 eginlerine birikdirilen, berlen düzgünde naprýaženiýe çeşmesi $E = \text{const}$ bolanda islendik R_{yuk} bolanda gönüçyzyksyzydyr,

$$U_y = \frac{1}{2} E \varepsilon \frac{1}{(1 - \varepsilon^2 / 4) + \frac{R_0}{R_y} (1 - \varepsilon^2 / 2)} ;$$

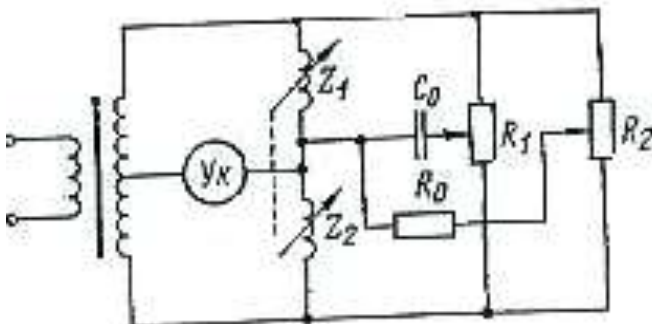
Üýtgeýän toguň deňagramsyz köprüleriniň aýratynlyklary.

1. Üýtgeýän toguň deňagramsyz ölçeg köprüleri ýokarda seredilip geçilen hemişelik toguň ölçeg köprülerinden özleriniň çylşyrymly aýratynlyklary bilen tapawutlanýar. Käbir ýagdaýlarda hemişelik tok bilen iýmitlenýän ölçeg özgerdijilerini ulanyp bolmaýar, käbir ýagdaýlarda bolsa hemişelik toguň ölçeg köprülerine seredeniňde üýtgeýän toguň ölçeg köprüleriniň birnäçe artykmaçlyklary bardyr. Şonuň üçin üýtgeýän toguň deňagramsyz ölçeg köprülerini, hemişelik tokda işläp biljek özgerdijiler bilen ýagny, tenzorezistorlar, termorezistorlar ýa-da fotorezistorlar we ş. m. bilen ýgy-ýgydan ulanýarlar.

Üýtgeýän toguň ölçeg köprülerini öňünden deňagramlaşdyrmagyň aýratynlygy, olar iki sany düzüjilerden

ýerine ýetirilmelidir, ýagny hakykatda taýýarlanylýan özgerdijilerde hemişe garşylygyň aktiw we reaktiw düzüjileriniň käbir deňagramlary bolup durýar.

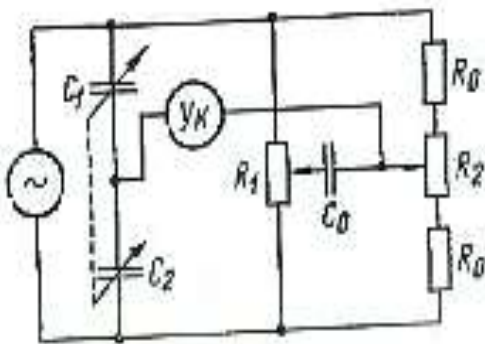
Ölçeg köprülerini deňagramlaşdyрма aşakdaky zynjyrlarda amala aşyrylýar:



Surat 3.10. a

Rezistoryň R_1 hereket edýän bölegini iň ýokary ýagdaýa süýşüreniňde özgerdiji Z_1 bilen parallel kondensator birikdirmäge mümkinçilik berýär, iň aşaky ýagdaýa süýşüreniňde bolsa Z_2 bilen kondensator birikdirmäge (parallel) mümkinçilik berýär. Eger özgerdijileriň reaktiw garşylyklarynyň tehnologiýa dargamagy $\pm 5\%$ -den ýokary geçmeýän bolsa, onda islendik duýdansyz saýlanyp alnan özgerdijileri deňagramlaşdyrmak üçin Z_1 we Z_2 özgerdijileriň reaktiw geçirijiliginiň 10% -e deň geçirijilikli C_0 kondensator almak ýeterlikdir.

2. Aktiw düzüjiler boýunça R_2 üýtgeýän rezistor bilen bilelikde üpjün edýän, R_0 rezistoryň garşylygynyň bahasy hem şuna meňzeş hasaplanylýar. Z_1 we Z_2 özgerdijilerine şunt birikdirmek deňagramlaşdyrmak zynjyrlatynda olaryň duýgurlygynyň peslemegine getirýär. Şonuň üçin şeýle maksat üçin deňagramlaşdyrmak zynjyrynyň başga usulyny gözleýärler. Bu usul **b** çyzygyda berlendir.



Surat 3.10. b

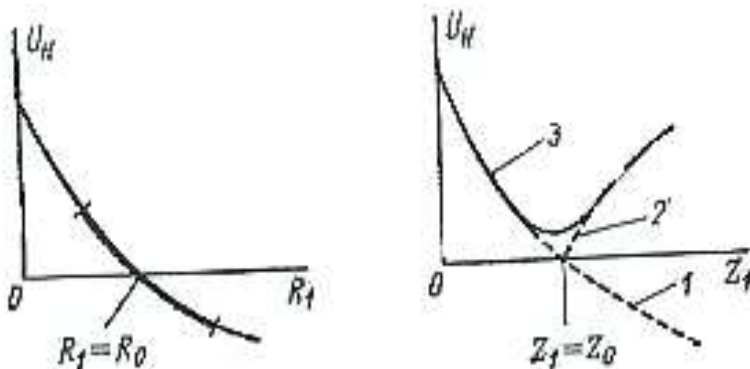
Bu çyzgyda deňagramlaşmak zynjyry ölçeg köprüsiniň passiw eginlerinde ýerleşdirilýär we iş C_1 we C_2 özgerdijilerini şuntndan aýyrýarlar.

Üýtgeýän toguň deňagramsyz ölçeg köprülerinde fazaduýgurly çykyş görkezijileri. Üýtgeýän toguň deňagramsyz ölçeg köprüleriniň hemişelik toguň deňagramsyz ölçeg köprülerine seredeniňde iň esasy aýratynlyklarynyň biri – de deňagramlyk nokadynda fazaduýgurlyk görkezijisiniň görkeziş üýtgame häsiýetiniň düýp göter dürliligidir.

3. Hemişelik toguň deňagramlaşmadyk köprülerinde $R_1, R_1=0$ – dan $R_1=R_0$ – a çenli üýtgän mahalynda, $U_y=0$ gözegçilik edenimizde we $R_1 \rightarrow \infty$ çenli üýtgände $U_y, U_y=f(R_1)$ gyşarma boýunça üýtgeýär. Garşylyk $R_1 > R_0$ bolanda güýjenme bir hilli belgili, $R_1=R_0$ bolanda ol nula deň bolýar, $R_1 < R_0$ bolanda başga hilli belgili bolýar we bu üýtgame $R_1=R_0$ ýakyn bolanda $\Delta R=R_1-R_0$ – den çyzykly baglanşykly diýip hasaplap bolar.

Üýtgeýän toguň ölçeg köprülerinde $U_y=f(Z_1)$ çykyş güýjenmesi ýokardaky ýaly 1 gyşarma boýunça üýtgeýär, şeýle hem bolsa $Z_1=Z_0$ 180% şu güýjenmäniň fazasy boýunça üýtgeýär, Şonuň üçin üýtgeýän toguň fazaduýgurly görkezijileri ulanylan mahalynda (tranzistorly woltmetr, göneldijili elektromagnitli, elektrostatiki we beýleki ölçeg abzallary) olaryň görkezijileri 2

gyşarma boýunça (çyzga seret) üýtgemelidir, ýagny ilki nola çenli azalyp, soňra ösüp başlaýar.



Surat 3.11.

Şeýle - de bolsa käbir ýagdaýlarda (ölçeg köprüsiniň eginleriniň garşylyklarynyň käbir çyzyksyzlygy, iýmitlendiriş naprýaženiýesiniň gyşarma görnüşiniň ýeterlik sinusoidal bolmazlygy we ş.m.) ölçeg köprüsiniň çykyş naprýaženiýesinde hemişe iýmitlendiriş naprýaženiýesiniň ýokary garmonikasy peýda bolýarlar. Şonuň üçin şu wagtda, haçanda $Z_1 = Z_2$ bolanda esasy tolkun boýunça köpri deňagramlaşan hasap etsek hem, ýokary garmonikalar (ikinji üçinji we ş.m.) boýunça deňagramsyzlaşýar, onuň çykyş güýjenmesi şeýle hem fazaduýgurly görkezijiniň görkeziji nuldан tapawutly bolýar. Munuň netijesinde $U_y = f(Z_1)$ üýtgame 3 gyşarma boýunça bolup geçýär, ol $Z_1 = Z_0$ bolan ýagdaýynda $U_y = 0$ - a ýetmeýär.

Ýokarda agzalanlaryň netijesinde:

- Fazaduýgurly görkezijiniň görkeziji boýunça $\Delta Z = Z_1 - Z_0$ gyşarma belgisini kesgitlemek mümkinçiligi ýok;
- $Z_1 = Z_0$ bolan ýagdaýynda ölçeg köprüsiniň duýgurlygy nula deňdir, munuň netijesinde ölçeg köprüsiniň önünden deňagramlaşmagy takmynan ýerine ýetirilýär;
- Ölçeg köprüsiniň häsiýetnamasy çyzyksyz bolup (gyşarma 3) ol nuluň üstünden geçmeýär.

Ýokarda görkezilen kemçilikleri aradan aýyrmak üçin fazaduýgurly görkezijileri ulanýarlar. Şeýle görkezijiler naprýaženiýäniň esasy tolkun ýygylgyndan başga ýygylklary duýmaýarlar, esasy tolkunynyň fazasy üýtgän mahalynda gysarma belgisi garşylyklaýyn üýtgeýär, ýagny hemişelik toguň ölçeg köprüleriniň häsiýetnamasyna meňzeş häsiýetnamany doly ýüze çykarýar, Şonuň üçin üýtgeýän toguň ölçeg köprüleri ulanylanda (deňagramsyz) olar fazaduýgurly görkezijiler bilen bilelikde ulanylýar.

Ölçeg özgerdijileri we ölçeg zynjyrynyň elementleri köp ýagdaýda bir – birleri bilen aralykdan simler ýa – da kabeller arkaly birikdirilýärler.

Şeýlelikde ölçeg özgerdijileri birikdirilende yzygiderli onuň garşylygy Z_i bilen bilelikde simleriň, kabelleriň Z_l kontaktlaryň garşylyklary hem birikdirilýär, parallel bolsa tokuň syzmagy bilen kesgitlenilýän garşylyk birikdirilýär. Garşylyk Z_l adatyça yzygiderli birikdirilen aktiw we induktiw düzüjilerden, garşylyk Z_{ut} –parallal birikdirilen aktiw w sygym düzüjilerden durýar. Generatorly özgerdijileri birikdiren mahalynda zynjyrdaky Z_l we Z_{ut} garşylyklaryň barlygy R_y garşylykda ölçeg zynjyrynda çykyş naprýaženiýäniň, zynjyrdaky elektrik hereketlendiriji güýji bilen deňeşdirende peselmegine getirýär, şeýlelikde

$$U_{cyk} = E(x) \frac{R_y Z_{ut} / (R_y + Z_{ut})}{Z_i + Z_l + R_y Z_{ut} / (R_y + Z_{ut})};$$

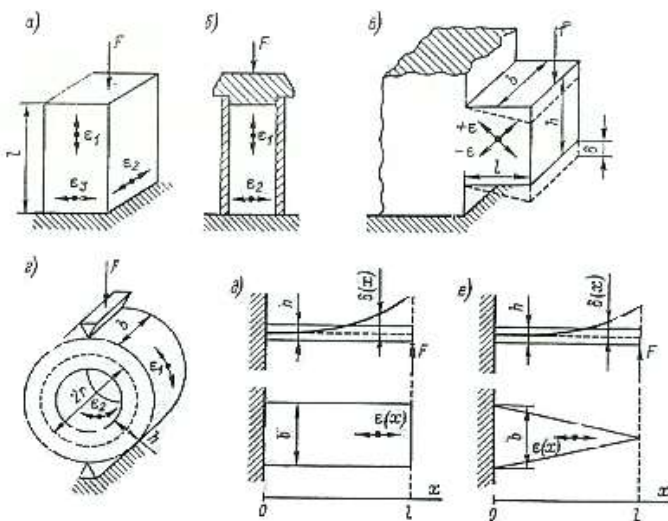
Zynjyrdaky $Z_l \neq 0$ bolmagy, kiçi giriş garşylykly ölçeg zynjyrlary bilen işlände, otnositel kiçi Z_i bolan özgerdijiler üçin hasaba alynmalydyr. $R_y \rightarrow \infty$ bolan ýagdaýynda ýalňyslyk aradan aýrylýar.

Ölçeg özgerdijileriniň maýyşgak elementleri.

1. Ölçeg özgerdijileriniň mehaniki ululyklarynyň giriş ululyklary jemlenen güýç, towlanma momenti, gazlaryň ýa-da suwuklyklaryň basyşy bolup biler. Bu ululyklar maýyşgak

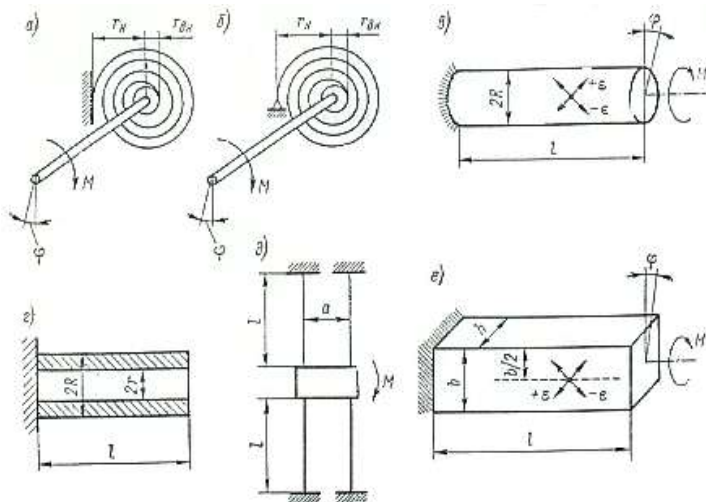
elementlere täsir edip, olaryň görnüşini üýtgetmäge (deformasiýa) mejbur edýärler. Görnüşini üýtgetmeklik göniden – göni gözegçi tarapdan (bu mehaniki görkeziji ölçeg abzallarynda) ýa-da indiki mehaniki ornuny üýtgetme görnüşli hakyky giriş ululykly ölçeg özgerdijileriň (reostatly, sygymly, induktiwli foto we beýleki özgerdijiler) bu orun üýtgetmäniň tizliginiň (induksion) ýa-da mehanik naprýaženiýäniň (deformasiýa) maýyşgak elementleri (tenzorezistiw) kabul edilýärler.

Maýyşgak elementleriň gurluşlary örän dürli – dürlidir. Uly güýçli dinamometrlerde (**10 KN köp**) gysyş düzgünde işleýän (**a çyzgy**) ýa-da süýşme düzgünde (**ç çyzgy**) üznüksiz özenler ulanylýar, kiçi güýçler üçin (**10-1 KN**) halka (**ç çyzgy**), az güýçler üçin – ýuka diwarly silindrler (**b çyzgy**) we ýasy ýaýyk (**e çyzgy**) görnüşinde ulanylýarlar. Bu ýagdaýlarda gurluşlaryň has netijelisi ýuka diwarly silindr ýa-da deň garşylykly pürs görnüşli hasaplanýlýar, haçanda maýyşgak elementleriň ähli ýerinde mehanik naprýaženiýe birmeňzeş we material has tygşytlý ulanylýar.



Çyzgy 4.1.

Aşakdaky görkezilen çyzgyda ýygy – ýygýdan ulanylýan tovlanma momentiň M we burç süýşmesiniň özgerdijileri φ ulanýarlar. Bu burum – burum ýaýjyklar (**a, b çyzgylar**) bütinleý, ýarysy açyk we tekiş torsionlar (**ç, d, e çyzgylar**) asma we dartyp süýndürmeler (**g çyzgy**).



Çyzgy 4.2.

2. Basyşy ölçemek üçin ulanylýan maýyşgak elementler aýratyn dürli – dürlidir. Bu ýasy we gofirlenen membranalar, gapyrjak membranalar. Bular hususy suwuklygyny ulanýarlar ýa-da daşky ýasy ýaýjyga daýanýarlar. Bularyň üstüne tenzorezistor ýelimlenen ýa-da tozanladylandyr. Uly çyzykly süýşmeleri almak üçin silfonlar we Burdonyň trubkasy peýdalanylýar, uly burç süýşmelerini almak üçin burum – burum we içki garşylykly hyrly tubajyklar ulanylýar. Şeýle maýyşgak elementleri hasaplamak ýörite hasap edilýär.

3. Maýýşgak elementleriň esasy hasaplamalary.

Maýýşgak elementler hasaplananda olaryň maksimal duýgurlygyny üpjün etmäge çalyşýarlar. Käbir ýagdaýlarda muňa päsgel berýän gurluşyň howply nokatlarynda ygtyýar berilmedik uly naprýaženiýäniň ýüze çykmagy bolup durýar. Şonuň üçin maýýşgak elementleri hasaplamak üçin başlangyç berlenler olaryň deňlemäniň kömegi bilen ýazylmagy bolýar, bular güýji, mehanik görnüşini üýtgemegi we ýüze çykýan naprýaženiýeleri baglanyşdyrýarlar. Bu ýerde diňe izotrop materiallar seredilip geçilýär. Izotrop materiallaryň häsiýeti iki sany biri – birine bagly däl parametrlr bilen ýazylýar: maýýşgaklyk **E** moduly we Plassonyň **μ** koeffisiýenti.

Süýşme ýa-da towlanmany başdan geçirýän elementler hasaplanylanda modul süýşmesini **G** peýdalanýarlar. Bu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenýär

$$G = 0,5E/(1 + \mu) ;$$

Üç sany **E**, **G** we **μ** hemişeligiň diňe ikisi biri – birine bagly däl bolup durýar, üçünji bolsa beýleki ikisiniň üsti bilen aňladylyp bilner.

Maýýşgak elementleri hasaplamak üçin anyk formulalaryň dürli görnüşi aşakda getirilendir. Bu ýerde aşakdaky belgiler ulanylýar: **F** - güýç; **F₀**-başlangyç çekilme; **M** - towlanma momenti; **P** - basyş; **δ** - epilme, absolyut uzalma; **ε**-otnositel uzalma; **ε_r**-radius ugruna uzalma; **ε_v** - radiusa perpendikulýar uzalma; **δ_{1,2-1,2}** nokatdaky mehanik naprýaženiýe; **δ₀** - başlangyç güýjenme; **δ_r**-radius ugruna güýjenme; **δ_v** - radius ugruna naprýaženiýe; **ε**-galtaşma naprýaženiýesi; **l** - uzynlyk; **x** - häzirki ulanylýan koordinat; **b** - ini; **h**-galyňlygy; **R, r** - radius; **j** - inersiýa momenti; **j_p** - inersiýanyň polýar momenti; **E** - maýýşgaklyk moduly; **μ** - Puassonyň koeffisiýenti; **G** - süýşme moduly; **n**-ýumşaklyk; **m** - sudur; **g** - agyrylyk güýjüniň tizlenmesi.

Kese kesigi **S** meýdanly özen we silindr

$$\begin{aligned}\delta &= \ell \sigma / E; & \sigma &= F / S; \\ n &= \delta / F = \ell / (SE); \\ \varepsilon_1 &= F / (SE) = \sigma / E; & \varepsilon_2 &= \varepsilon_3 = -\mu \varepsilon_1;\end{aligned}$$

Konsol çykyşy bir wagtda epilme we süýşme deformasiýasyny başdan geçirýär.

Bu ýagdaýda

$$\delta_{epil} = 4F\ell^3 / (Eb / \ell^3); \delta_{süýş} = 2(1 + \mu)F\ell / (Eb h);$$

$$\text{ýagny } \delta_{süýş} / \delta_{epil} = 0,5(1 + \mu)h^2 / \ell^2;$$

Bu ýerde süýşmäniň artykmaçlygynyň şerti

$$\ell \langle h \sqrt{(1 + \mu) / 2};$$

Süýşme netijesinde gapdal granlaryň üstlerindäki otnositel deformasiýa

$$\varepsilon = \delta_{süýş} / (2\ell);$$

Epilme netijesinde bolsa $\varepsilon=0$

Ygtyýar berlen güýç **F** çykyş ýerdäki naprýaženiýe bilen kesgitlenilýär, ol epilme netijesinde

$$\delta = 6\ell F / (bh^2);$$

süýşme netijesinde

$$\tau = 2(1 + \mu)F / (bh);$$

Halkada **F** güýjüň göniburç kesigi ygtyýar berlen naprýaženiýe bilen çäklenen

$$\sigma_1 = +0,318rF/W; \\ \sigma_2 = -0,182rF/W; \quad \text{bu ýerde} \quad W = bh^2/6;$$

Wertikal boýunça epilme

$$\delta_w = -0,149r^3F/(Ej);$$

Gorizantal boýunça

$$\delta_g = +0,137r^3F/(Ej); \quad \text{bu ýerde} \quad j = bh^3/12;$$

Konsol pürsüniň hemişelik kesigi

$$\delta(x) = \frac{\ell^3 F}{6Ej} \left(3 - \frac{x}{\ell}\right) \left(\frac{x}{\ell}\right)^2;$$

x=l bolanda

$$\delta_\ell = \frac{\ell^3 F}{3Ej}; \quad \text{we} \quad n_\ell = \delta_\ell / F = \ell^3 / (3Ej);$$

bu ýerde $j = bh^3/12$;

$$\delta(x) = \ell F(1 - x/\ell)/W; \quad \text{bu ýerde} \quad W = bh^2/6;$$

$$\varepsilon(x) = \sigma(x)/E = 6F\ell(1 - x/\ell)/(Ebh^2);$$

Deň garşylykly konsol pürsi

$$\delta(x) = \frac{6F\ell^3}{Ebh^3} \left(\frac{x}{\ell}\right)^2;$$

x=l bolanda

$$\delta_{\ell} = \frac{6F}{Eb} \left(\frac{\ell}{h}\right)^3; \text{ we } n_{\ell} = \frac{\delta_{\ell}}{F} \frac{6}{Eb} \left(\frac{\ell}{h}\right)^3;$$

$$\sigma(x) = \text{const} = Eh\delta / \ell^3; \quad \varepsilon(x) = \text{const} = h\delta_{\ell} / \ell^2;$$

Sarym sany w , sarymyň (galyňlygy) ýogunlygy \mathbf{h} we ini \mathbf{b} bolan ýasy burum-burum ýaýjyk.

$$\varphi = M\ell / (Ej); \quad \ell = \pi(r_{daş} + r_{içk})w; \quad j = bh^3 / 12; \quad \text{we} \\ n = \varphi / M = \ell / (Ej);$$

ujynyň daşy şarnirli

$$\varphi = 1,25M\ell / (Ej); \quad \text{we} \quad n = \varphi / M = 1,25\ell / (Ej);$$

Bütünleý togalak ok ýa-da togalak asma kesigi

$$\varphi = M\ell / (Gj_p); \quad G = 0,5E / (1 + \mu); \quad j_p = \pi R^1 / 2;$$

$$n = \varphi / M = \ell / (Gj_p);$$

$$\tau = MR / j_p = 2M / (\pi R^3) = GR_{\varphi} / \ell;$$

Ýarym togalak ok

$$j_p = \frac{\pi}{2} (R^4 - r^4); \quad \varphi = \frac{2M\ell}{G\pi(R^4 - r^4)};$$

$$\tau = \frac{GR_{\varphi}}{\ell} = \frac{2MR}{\pi(R^4 - r^4)}; \quad \varepsilon = \frac{R_{\varphi}}{\ell};$$

Sozulyp çekilýän iki sapagyň radiusy \mathbf{R}

$$n = M / \varphi = \pi R^2 (\sigma_0 \alpha^2 + 2GR^2) / \ell ;$$

$$\sigma = \sigma_0 + mg / (2\pi R^2) ; \quad \tau = GR_\varphi / \ell ;$$

bu ýerde **mg** - hereketlenýän bölegiň agramy; \mathcal{G}_0 -sozulyp-çekilmedäki başlangyç naprýaženiýe.

Göniburç kesikli torsion

$$\varphi = \frac{M\ell K_n}{3bh^3 G} ; \quad n = \frac{\ell K_n}{3Gb h^3} ; \quad \tau = \frac{Gh_\varphi}{\ell} K_\varepsilon ; \quad \varepsilon = \frac{h_\varphi}{\ell} K_\varepsilon ;$$

4. Membranalar hasaplananda olary plastinalara we plýonkalara bölýärler. Özüniň berkligi bilen maýyşgaklygyň gysarmagyna garşylyk görkezýän aralykdaky germewe plastina diýip düşüňýärler, Plýonkadan edilen germewiň hususy berkligi ýokdyr, ol öňünden çekmek arkaly maýyşgaklyk häsiýetine eýe bolýar.

Plastinany hasaplamagyň aýratynlygy, bu ýagdaýda otnositel deformasiýa ε we naprýaženiýe σ ýönekeý gatnaşyk $\sigma = \varepsilon E$; bilen bagly dälendir. Konturyň ugry boýunça goýulan plastina merkezine jemlenen güýç **F** täsir edende we gysarma merkezine **P** basyş ýok wagtynda plastinadaky naprýaženiýe, deformasiýa aşakdakylara deňdir.

$$\delta_m = \frac{3}{4} \frac{R^2(1-\mu^2)}{\pi h^3 E} F ; \quad \text{we} \quad n_m = \frac{3}{4} \frac{R^2(1-\mu^2)}{\pi h^3 E} ;$$

$$\delta(r) = n_m F [1 - (r/R)^2 - 2(r/R)^2 \ln R/r] ;$$

$$\varepsilon_r(r) = n_m F (\ln R/r - 1) (2h/R^2) ;$$

$$\varepsilon_g(r) = n_m F(2h/R^2) \ell n R/r;$$

$$\sigma_r(r) = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{h}\right)^2 \frac{F}{S} \left[(1+\mu) \ell n \frac{R}{r} - 1 \right];$$

$$\sigma_g(r) = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{h}\right)^2 \frac{F}{S} \left[(1+\mu) \ell n \frac{R}{r} - \mu \right];$$

bu yerde $\mathbf{S} = \pi \mathbf{R}^2$
 \mathbf{P} basyş täsir edende we $\mathbf{F} = \mathbf{0}$

$$\delta(r) = 0,25 n_m P S \left[1 - (r/R)^2 \right]^2; \quad \text{bu ýerde}$$

$$n_m = 0,75 R^2 (1 - \mu^2) / (\pi h^3 E);$$

$$\varepsilon_r(r) = \frac{1}{2} n_m P S \frac{h}{R^2} \left[1 - 3 \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right];$$

$$\varepsilon_g(r) = \frac{1}{2} n_m P S \frac{h}{R^2} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right];$$

$$\sigma_r(r) = \frac{3}{8} \left(\frac{R}{h}\right)^2 (1 - \mu) \left[1 - \frac{3 + \mu}{1 + \mu} \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right] P;$$

$$\sigma_g(r) = \frac{3}{8} \left(\frac{R}{h}\right)^2 (1 - \mu) \left[1 - \frac{3\mu + 1}{\mu + 1} \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right] P;$$

Gaty merkezli plýonka üçin we önünden hemme taraplaýyn çekmekde σ_0 jemlenen güýç \mathbf{F} ($\mathbf{P} = \mathbf{0}$) täsir edende

$$\delta(r) = \frac{F \ln(R/r)}{2\pi h \sigma_0};$$

Basyş **P (F=0)** täsir edende

$$\delta(r) = \frac{PR^2}{4h\sigma_0} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right];$$

Maýyşgak elementleri ýasamak üçin ulanylýan materiallar.

Maýyşgak elementleriň goýberýän ýalňyşlygy hemmesinden öz materiallaryň häsiýetleri bilen kesgitlenilýär. Meselem elementler üçin maýyşgak materiallaryň iň gowy sortundan hem gisterezisden ýalňyşlyk 0.2-0.05 % bolup durýar. Sebäbi ölceg maýyşgak elementleriniň göze görünip duran plastika deformasiýasynyň ýüze çykmagyna ýol berilmeýär. Bularda hemişe iş güýjenmesiniň bahasy ygtyýar berlen naprýaženiýeden az bolmalydyr.

Berkligi uly bolmadyk maýyşgak materiallary metal däl materiallardan, ýagny, rezinden, organiki aýnadan, kwars sapagyndan we ş.m. ýasalýarlar.

Eger-de ölceg özgerdijileri hasaplanylanda has ýokary hususy ýygyllyk almak meselesi goýulsa, onda aşakdaky ýagdaýlary göz önünde tutmalydyr. Has ýokary hususy ýygyllygy üpjün etmek üçin maýyşgak materiallary has gysga we ýogyn ýasamaly bolýar. Bu bolsa öz gezeginde aşakdaky ýagdaýlara getirýär, ýagny epilmäniň berlen bahasynda, onda ygtyýar berilmedik ýokary mehanik naprýaženiýe ýüze çykýar. Güýjüň berlen bahasynda bolsa, nobatdaky özgertme üçin has kiçi süýşme almaly bolýarys.

Epilmäniň berlen bahasynda ýüze çykýan naprýaženiýäni ygtyýar berlen bahasy bilen çäklendirilip, maýyşgak elementiň bu gurluşy üçin $f_0 \delta_3$ berýärisü Bu pürsler üçin

$$f_0 \delta_3 = \sigma_{ygt} / (3\pi \sqrt{E}) ;$$

membrana üçin

$$f_0 \delta_3 = \sigma_{ygt} / (7,8\pi \sqrt{Ep}) ;$$

bu ýerde E – maýyşgaklyk moduly;
 ρ – ulanylam materialyň dykzlygry.

Şonuň üçin maksimal berk maýyşgak elementde $\delta_3=10$ mkm bolmaklyk, pürs görnüşinde alýuminiý splawyndan **AMG6** ýasamak arkaly üpjün edilýär. Munuň hususy ýygylgy **50 kGs** bolup membrana görnüşinde bolsa hususy ýygylgy **60 kGs-dir**. Titan ulanylanda bu ýygylgyklar ýokardakylara laýyklykda **63.5** we **80 kGs-e**, berilliý bürünjinde – **73.5** we **90 kGs**, **KÝOHXMB** – **82** we **100 kGs**, **GOC2A** polatda bolsa **91** we **110 kGs**. Şeýlelik bilen maýyşgak ölçeg elementleriniň hususy ýygylgy çägene ýetmek, nähili gurluşly materiallary ulananyňda hem **50-100 kGs** aralykda bolýar.

2. Anizotrop materiallardan ýasalan maýyşgak elementleriň hasaplaýyş aýratynlyklary

Kristal materiallardan ýasalan maýyşgak elementleri hasaplananda kristallaryň anizotrop häsiýetlerini hasaba almak zerurlygy ýüze çykýar. Materiallaryň käbir häsiýetlerini, meselem, dykzlyk, çyglylyk, udel ýygylgy sygymy we ş.m. bir san bilen kesgitlenilýär we skalýar ululyklar bolup durýarlar. Başga häsiýetler, meselem, elektrik geçirijiligi, ýylylyk geçirijiligi, maýyşgaklyk, magnit siňdirijiligi täsir edilýän tarapa, ulanylýan materialyň gurluşyna bagly bolýarlar we diňe anizotrop materiallar üçin bir san bilen aňladylyp bilner. Anizotrop materiallar üçin bu häsiýetler sanlar tablisasy arkaly kesgitlenip bilner, ýa-da laýyk derejeli tenzor bilen kesgitlenilýär. Dördünji derejeli tenzor hasaplanylýan

maýyşgaklyga seretmezden öň, käbir kiçi derejeli tenzorlaryň umumy häsiýetnamasyna seredip geçeliň.

Tenzorlaryň umumy häsiýetleri

Nol derejeli tenzor, ýagny bir san bermek bilen kesgitlenýän skalýar.

Birnji derejeli tenzor, ýagny, wektor üç komponent bilen berilýär. Ol laýyk okda wektoryň proýeksiýasy bolup durýar. Meselem, elektrik güýjenmäniň wektory: $\mathbf{E}=[\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \mathbf{E}_3]$.

Ikinji derejeli tenzor, meselem, anizotrop geçirijiniň elektrik geçirijiligini dokuz komponentden durýar. Aşakdaky suratda izotrop we anizotrop geçirijilerde toguň dykzlygynyň we elektrik meýdanynyň naprýaženiýesiniň wektory görkezilmelidir.

Birinji ýagdaýda (a surat) toguň dykzlygynyň komponenti:

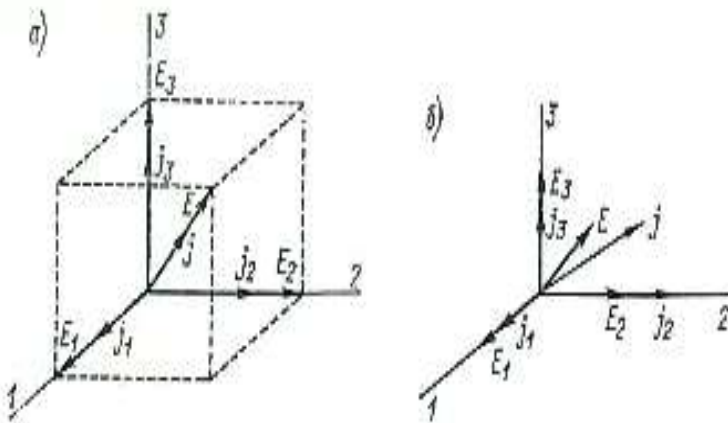
$$J_1 = \gamma E_1; \quad J_2 = \gamma E_2; \quad \text{we} \quad J_3 = \gamma E_3;$$

Ikinji ýagdaýda (b surat):

$$J_1 = \gamma_{11}E_1 + \gamma_{12}E_2 + \gamma_{13}E_3;$$

$$J_2 = \gamma_{21}E_1 + \gamma_{22}E_2 + \gamma_{23}E_3;$$

$$J_3 = \gamma_{31}E_1 + \gamma_{32}E_2 + \gamma_{33}E_3;$$



Surat 4.4

Indi her komponent J hemme üç E komponente bagly bolup durýar. Eger $E=[E_I]$ diýip hasap etsek, onda

$$J_1 = \gamma_{11}E_1; \quad J_2 = \gamma_{21}E_1; \quad \text{we} \quad J_3 = \gamma_{31}E_1;$$

Anizotrop geçirijiniň elektrogeçirijiligi dokuz komponentden düzýän tablisa görnüşinde berilýär we tenzoryň ikinji derejeli diýlip atlandyrylýar:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \end{bmatrix};$$

Komponentleriň indeks sany tenzoryň dereje sanyna laýyk gelýär. Tensor laýyklygyny gysgaça aşakdaky görnüşde ýazyp bolýar:

$$P_i = \sum_{j=1}^3 T_{ij} q_j (i=1,2,3);$$

ýa-da eger jemlemek belgisini goýbersek, onda komponentler

$$P_i = T_{ij} q_j (i=1,2,3);$$

Bu ýazgyny aýdyňlaşdyrmak toguň dykzylygynyň ýokarda gaýtalanýan görnüşiniň üç deňlemesini getirýär:

$$P_1 = T_{11}q_1 + T_{12}q_2 + T_{13}q_3;$$

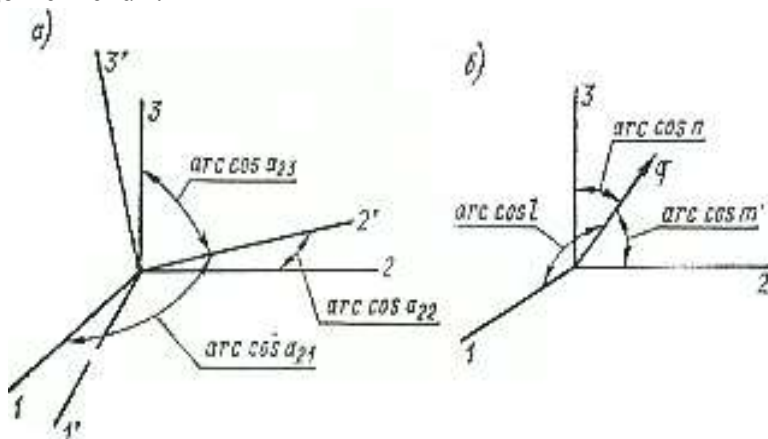
$$P_2 = T_{21}q_1 + T_{22}q_2 + T_{23}q_3;$$

$$P_3 = T_{31}q_1 + T_{32}q_2 + T_{33}q_3;$$

Indeks j jemlemek indeksi ýa-da lal indeks, indeks i bolsa azat indeks hasaplanylýar. Jemlemek indeksi jemlenýän agzalaryň her birinde iki gezek gaýtalanmalydyr. Gözenek görnüşinde ýazylanda i setir tertibi, j – sütün tertibi bolup durýar.

Tenzoryň koeffisientleriniň jemi fiziki ululyklar bolup durýar we saýlap alan koordinatlarymyza bagly däl, ýöne bu ululyklaryň görnüşi, ýagny koeffisientleriň baha hasaby,

koordinatalar ulgamynyň ikinji ýazgy görnüşine geçilende üýtgeýär. Aşakdaky çyzgyda iki koordinatalar ulgamy görkezilendir.



Surat 4.5

Täze 1', 2', we 3' hem-de köne burçlaryň 1, 2, 3 arasyndaky oklar kosinusy ugrukdyryjy tablisa arkaly kesgitlenilýär.

$$\begin{matrix} 1' \\ 2' \\ 3' \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix};$$

\mathbf{p} wektoryň komponentler täze koordinatalar ulgamynda aşakdaky ýaly kesgitlenilýär.

$$\begin{aligned} P_1' &= p_1 a_{11} + p_2 a_{12} + p_3 a_{13} \\ P_2' &= p_1 a_{21} + p_2 a_{22} + p_3 a_{23} \\ P_3' &= p_1 a_{31} + p_2 a_{32} + p_3 a_{33} \end{aligned} ;$$

ýa-da gysgaça ýazylyş görnüşinde

$$P_i' = p_j a_{ij};$$

Ikinji derejeli tenzoryň her komponenti täze koordinatalar ulgamynda ähli dokuz komponentler bilen kesgitlenilýär. Tenzora girýän köne koordinatlar ulgamynda gysgaça aşadaky görnüşinde ýazylyar

$$T_{ij}^l = a_{ik} a_{jt} T_{kt};$$

T'_{ij} açyp indeks boýunça başdan l jemlemesinde, alýarys

$$T_{ij}^l = a_{ik} a_{j1} T_{ki} + a_{ik} a_{j2} T_{k2} + a_{ik} a_{j3} T_{k3};$$

Mundan beýläk K boýunça açmak aşadakylary berýär

$$T_{ij}^l = a_{i1} a_{j1} T_{11} + a_{i1} a_{j2} T_{12} + a_{i1} a_{j3} T_{13} + a_{i2} a_{j1} T_{21} + a_{i2} a_{j2} T_{22} + a_{i2} a_{j3} T_{23} + a_{i3} a_{j1} T_{31} + a_{i3} a_{j2} T_{32} + a_{i3} a_{j3} T_{33}$$

Aýdyňlaşdyrmak üçin mysal hökmünde T_{12} komponentiň bahalaryny alýarys

$$T_{12}^l = a_{i1} a_{j1} T_{11} + a_{i1} a_{j2} T_{12} + a_{i1} a_{j3} T_{13} + a_{i2} a_{j1} T_{21} + a_{i2} a_{j2} T_{22} + a_{i2} a_{j3} T_{23} + a_{i3} a_{j1} T_{31} + a_{i3} a_{j2} T_{32} + a_{i3} a_{j3} T_{33}$$

Eger tenzor käbir oklara otnositel aşadaky ýaly görnüşde özgerdilse

$$\begin{bmatrix} T_{11} & 0 & 0 \\ 0 & T_{22} & 0 \\ 0 & 0 & T_{33} \end{bmatrix};$$

onda bu oklara esasy, ýagny baş oklar diýilýär.

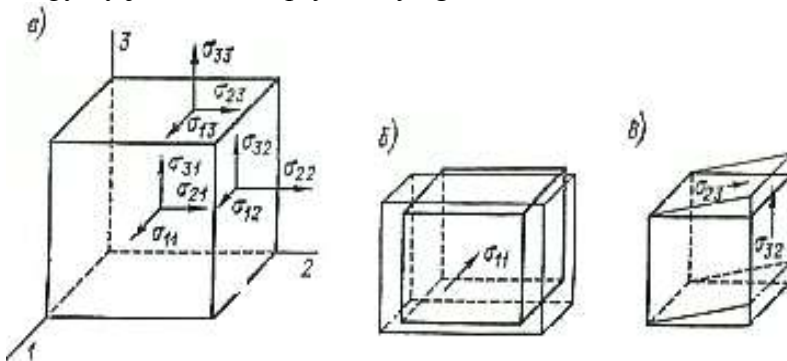
Islendik tarapdan täsir edilende q komponentiň baş okuna otnositel, wektora parallel q aşadaky ýaly kesgitlenilýär

$$P = (e^2 T_{11} + m^2 T_{22} + n^2 T_{33}) q;$$

3. Mehanik naprýaženiýeleriň tenzory

Daşarky güýçleriň täsir etmegi netijesinde jisimli dartgynly ýagdaýda bolýarlar. Eger kesgitli elementiň üstüne täsir edýän güýç jisimdäki elementiň nähili ýagdaýdadygyna bagly bolmasa, onda onuň ýaly naprýaženiýä birhilli naprýaženiýe diýilýär.

Aşakdaky suratda kubuň granlaryna täsir edýän güýç, ýagny dartgynly jisimdäki naprýaženiýe görkezilen.



Surat 4.6

σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} – sozulmak-gysylmak naprýaženiýesiniň komponentleri.

σ_{12} , σ_{21} , σ_{23} – naprýaženiýäniň süýşme komponentleri.

a) suratda görnüşi ýaly kubuň yzky, çep gapdalky we aşaky granlaryna täsir edýän naprýaženiýe deň, kubuň ön tarapdaky, sag gapdakly we ýokarky granlaryna naprýaženiýäniň belgisi boýunça garşylyklydyr.

b) we c) çyzgylarda azat, gysylmadyk elementiň gysyş we süýşme naprýaženiýeleriniň täsiri astynda deformirlenşi görkezilendir.

Şertli gysylma deformasiýasyny otrisatel, sozulma deformasiýasyny bolsa položitel diýip kabul edýärler.

Jisimiň maýyşgak häsiýeti

Jisime mehaniki naprýaženiýe täsir eden mahalynda, onuň deformasiýasy, ýagny görnüşini üýtgetmegi Gukuň kanuny boýunça kesgitleýärler.

$$\varepsilon = S\sigma; \text{ ýa-da } \varepsilon = \sigma / E;$$

Rezistiw özgerdijileriň iş düzgüni, esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri

1. Hemişelik toguň birelementli rezistiw özgerdijisiniň garşylygy materialynyň l uzynlygyna, s kese kesigine we ρ udel garşylygyna baglydyr.

2.

$$R_0 = \rho \int_0^l dl / S ;$$

Eger rezistoryň kesigi onuň uzynlygy boýunça hemişelik bolsa, onda

$$R = \rho l / S ;$$

Häzirki wagtda ulanylýan plýonkaly rezistorlaryň galyňlygy goýlan plýonkanyň tehnologiýasy bilen kesgitlenilýär, uzynlygy we ini bahasy boýunça deňşdirilip, uzynlygy we ini deň bolan meýdanyň R_{\square} garşylygy bilen häsiýetlendirilýär. Şeýlelik bilen uzynlygy l we ini b bolan rezistoryň R_0 garşylygy aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär

$$R_0 = R_{\square} l / b ;$$

(meselem $l=3 \text{ mm}$ we $b=1 \text{ mm}$ bolanda $R_0=3R_{\square}$).

Rezistor ölçeg zynjyrlaryna birikdirilende ondan bölünip çykýan kuwwat aşakdaky ýaly kesgitlenilýär

$$P = I^2 R ; \quad \text{ýa-da} \quad P = U^2 / R ;$$

bu ýerde I we U – tok we rezistordaky güýjenmäniň pese düşmegi.

Ygytýar berlen P_{ygt} kuwwat rezistor üçin düzgün boýunça ygtyýar berlen aşagyzymagy göz önünde tutup berilýär. Şonuň üçin özgerdijiniň üstünden geçýän togy çäklendirýärler.

$$I \leq \sqrt{P_{ygt} / R_{\max}} ;$$

ýa-da ondaky güýjenme

$$U \leq \sqrt{P_{ygt} / R_{\min}} ;$$

bu ýerde P_{max} we P_{min} – özgerdiji işlän wagtynda garşylygynyň üýtgäp biljek diapazon çägi.

3. Ygtyýar berlen kuwwatyň bahasy meýdanyň üsti, S_{sow} sowadylyş şerti we ygtyýar berlen aşagyzmak temperaturasy bilen kesgitlenilýär

4.

$$P_{ygt} = \xi S_{sow} \theta_{ygt};$$

bu ýerde ξ – üstäki ýylylyk beriş koeffisienti.

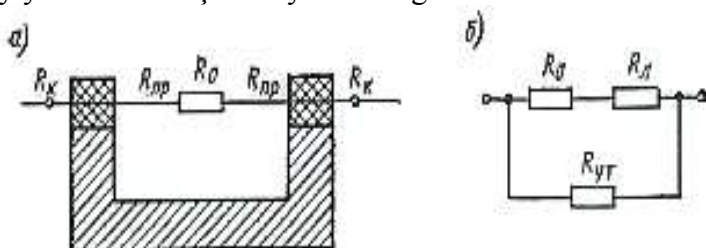
Aýratyn ýagdaýlarda özgerdijileriň tehniki häsiýetnamalarynyň arasynda berlen toguň dykzlygy görkezilýär we şol boýunça-da tok kesgitlenilýär.

Rezistiw özgerdijileriň ekwiwalent çyzgysy şu aşakdakylary hasaba alýar:

- rezistorlar zynjyra onuň garşylygy bilen yzygiderli birikdirilende, mälim bolşuna görä birikdiriji simleriň we kontaktlaryň garşylyklary hem bilelikde birikdirilýär

$$R_e = 2R_{sim} + 2R_{kon};$$

- rezistorlar garşylyklara parallel birikdirilende bolsa kontaktlaryň arasyndaky izolýasiýanyň (örtügiň) garşylygy we bile garşylyk döredýäm R_{syz} korpusa ýa-da ýere syzýan garşylyklar. Bular aşakdaky suratda görkezilendir.



Surat 5.1

Şeýlelik bilen rezistorlaryň ekwiwalent garşylyklary aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$R = (R_o + R_{sim})R_{syž} / (R_o + R_{sim} + R_{syž});$$

R we R_o garşylyklaryň arasyndaky tapawudy aşakdaky ýalydyr

$$\Delta R = R - R_o = (R_{sim}R_{syž} - R_oR_{sim} - R_o^2) / (R_o + R_{sim} + R_{syž}) \approx R_{sim} - R_o / R_{syž};$$

we garşylyklaryň otnositel ýalňyşlygy

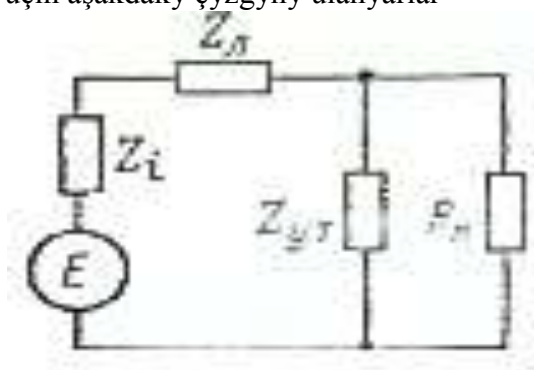
$$\gamma_R = \Delta R / R_o = R_{sim} / R_o - R_o / R_{syž};$$

Bu ýerde belli bolşy ýaly kiçi R_o garşylyklar wagtynda ýalňyşlyklar wagtynda ýalňyşlyklar R_{sim} garşylyklary bilen kesgitlenilýär, uly R_o garşylyklar wagtynda, ýalňyşlyklar $R_{syž}$ garşylyklary bilen kesgitlenilýär.

$R_o < \sqrt{R_{sim}R_{syž}}$ bolan mahalynda garşylygyň otnositel

ýalňyşlygy $\gamma_R > 0$, $R_o > \sqrt{R_{sim}R_{syž}}$ bolan ýagdaýynda $\gamma_R < 0$.

Birikdiriji simleriň we kontakrlaryň garşylyklarynyň täsirini azaltmak üçin aşakdaky çyzygyny ulanýarlar



Surat 3.12

Rezistory üýtgeýän toguň zynjyryna birikdirilende onuň induktiwliligini we sygymyny hasaba almak zerurdyr. Sygym c sarymlaryň arasyndaky sygymlar we rezistor bilen ýakyn durýan elementleriň arasyndaky sygym arkaly ýüze çyky

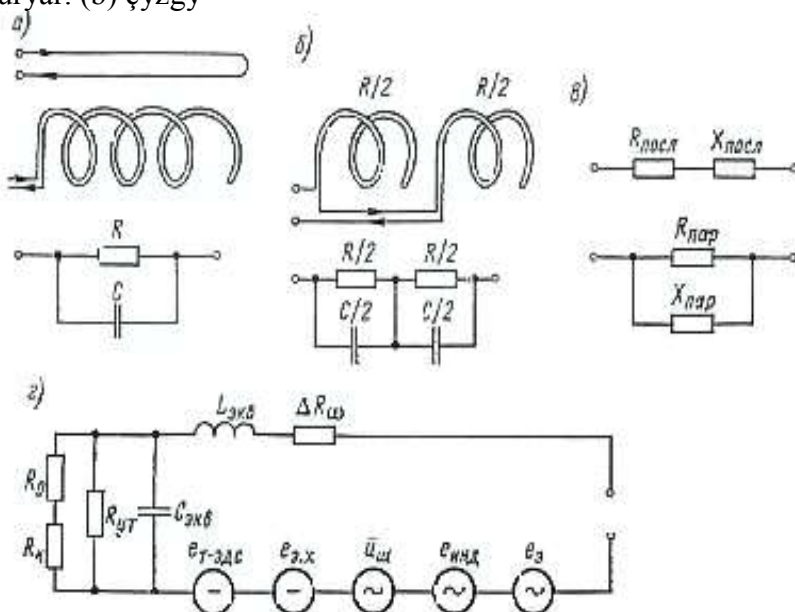
biler. Göniçyzykly bölekdäki radiusy r_0 we uzynlygy l bolan simiň induktiwligi aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär

$$L = \mu_0 l [\ln(2l / r_0) - 1] / (2\pi);$$

Radiusy r bolan bir sarymly konturyň induktiwligi aşakdaka deňdir

$$L = \mu_0 r [\ln(8r / r_0) - 2];$$

Köpsarymly simli rezistorlaryň induktiwligi aýratyn ýokarydyr. Ony azaltmak üçin aşakdaky a) çyzgyda görkezilen bifilýar sarymlary ulanýarlar. Bifilýar sarymlar ulanylanda induktiwligi hasaba almasaň hem bolýar, ýöne geçirijiler ýakynlaşan wagtynda olaryň sygymy has ýokarlanýar. Bifilýar seksiyaly sarymlary ulanmak bu meseläniň çözgüdi bolup durýar. (b) çyzgy



Surat 5.2

Induktivlik L we sygym c ýaýradylan parametrler bolup durýar, emma köplenç ýagdaýlarda olary jemlenen L_{ekw} we C_{ekw} parametrler hökmünde hasaba alýarlar. Zynjyrdaky induktivligiň we sygymyň barlygy garşylyklaryň reaktiw düzüjileriniň ýüze çykmagyna getirýär, şeýle-de käbir aktiw düzüjileriň üýtgemegine getirýär (çyzygy). Bularyň ekwiwalent çyzgylaryny aktiw we reaktiw garşylyklaryň yzygiderli we parallel birikdirilen görnüşinde göz önüne getirip bolar. Şular kiçi L_{ekw} we C_{ekw} bolanda takmynan aşakdaky formulalar bilen kesgitlenilýär

$$\begin{aligned} R_{yzyg} &= R_o \left[1 + w^2 C_{ekw} (2L_{ekw} - C_{ekw} R_o^2) \right]; \\ X_{yzyg} &= W (L_{ekw} - C_{ekw} R_o^2) = W L_{ekw}^i; \\ R_{paral} &= R_o \left[1 + w^2 (L_{ekw} / R_o)^2 \right]; \\ X_{paral} &= \frac{1}{w(C_{ekw} - L_{ekw} / R_o^2)} = \frac{1}{w C_{ekw}^1}; \end{aligned}$$

Üýtgeýän toguň garşylygyny hemişelik τ wagty bilen häsiýetlendirip bolar.

$$\tau = L_{ekw} / R; \quad \text{ýa-da} \quad \tau = C_{ekw}^1 R;$$

Şu nukdaý nazardan rezistiw özgerdijileri $\tau \approx 10^{-6} \div 10^{-7}$ s bilen häsiýetlendirilýär. $\tau \approx 10^{-6}$ özgerdijiler üçin modalyň garşylygynyň 0.01 % üýtgemesi, iýmitlendiriş güýjenmesiniň 1000 Gs ýygylgynda bolup geçýär.

Üýtgeýän toguň aktiw R garşylygy ýokary ýygylgyda hemişelik toguň garşylygyndan ýokarydyr. Diametri 1 mm bolan mis simiň garşylygy 0.01 % köpeltmek 10 KGs ýygylgyga laýyk gelýär.

Ähli garşylyklara R ýylylyk sesleri ýüze çykýar, olaryň orta kuwwaty Naýkwistiň formulasy boýunça kesgitlenilýär

$$P_{\text{с}} = 4kT\Delta f;$$

bu ýerde K – Bolsmanyň hemişeligi, $K=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Dj/K}$;
 T – absolýut temperatura;
 Δf – kuwwata degişli ýygylýk zolagy.

Rezistiw özgerdijiniň doly ekwiwalent çyzgysynda güýjenmäniň sesi tok çeşmesiniň elektrik hereketlendiriji güýji görnüşinde hasaba alynýar.

Işlenilýän şertde baglylykda özgerdijileriň ol ýa-da beýleki düzüjileriniň ekwiwalent çyzgylaryny hasaba alynmalydyr.

Emma hemişe birikdiriji simleriň, kontaktlaryň we örtükleriň garşylygyny hasaba almaly bolýar, şonuň üçin olaryň täsirini aradan aýyrmaklyga aýratyn üns berilýär. Bulardan başga-da ölçeg özgerdijilerini elektrik zynjyryna birikdirende elektrohimiýa elektrik hereketlendiriji güýjüni (EHG I_{ch}) termoelektrik hereketlendiriji güýjüni hem hasaba almaly bolýar.

5. Özgerdijileriň duýgurlygy we daşardan täsir edýän sebäpler. Umumy ýagdaýda rezistiw özgerdijilere dürli fiziki ululyklar elektrik, magnitli, mehaniki, ýylylyk, ýagtylyk we ş.m. dürli ululyklar täsir edýärler. Garşylyklaryň doly üýtgemesi aşakdakylary düzýär:

6.

$$dR = \frac{dR}{dX_{el}} dX_{el} + \frac{dR}{dX_{mag}} dX_{mag} + \dots + \frac{dR}{dX_{yag}} dX_{yag} ;$$

Deňlemäniň sag toparynyň hususy proizwodnysy dürli giriş ululyklaryna duýgurlyk bolup durýar. Rezistiw özgerdijileriň garşylyklary bilen degişli özgerdijileri gurmak üçin ulanylýan daşky täsirleriň arasyndaky funksional baglanşyk bolýar, ýöne şol bir wagtda garşylyklaryň durnuksyzlygyna we ýalňyşlyklaryň ýüze çykmagyna getirýär. Şonuň üçin ölçeg özgerdijileri gurnalanda garşylyklaryň üýtgemegine diňe bir fiziki ululyk täsir eder ýaly etmäge çalyşýarlar. Beýleki ululyklaryň täsir etmesini gurluş ýoly bilen minimuma getirýärler ýa-da kompensirleýji enjamlary ulanýarlar.

Daşardan täsir edýän uly sebäpleriň biri hem temperatura bolup durýar. Arassa metallarda we köp splawlarda temperaturanyň ýokarlanmagy bilen olaryň garşylyklary hem ýokarlanýar. Ol takmynan aşakdaky formula bilen kesgitlenýär

$$R_2 = R_1[1 + \alpha_\theta(\theta_2 - \theta_1)];$$

bu ýerde R_2 we R_1 — θ_2 we θ_1 temperaturalardaky garşylyklar;

α_θ — garşylygyň temperatura koeffisienti bu köp metallar üçin takmynan 0.004 K^{-1} deň. Diňe ýörite işlenip düzilen termodurnukly splawlar (manganin, konstantan) muňa degişli däl.

Manganiniň $10\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}$ temperaturada garşylygyň temperatura baglylygy aşakdaky formula bilen kesgitlenýär

$$R_\theta = R_{20}[1 + \alpha(\theta - 20) + \beta(\theta - 20)^2];$$

bu ýerde $\alpha \approx (1 \div 1.5)10^{-5}\text{ K}^{-1}$ we $\beta \approx (3 \div 6)10^{-6}\text{ K}^{-2}$.

Uly temperatura diapazonynda (-100 -den $+300$ -e $^\circ\text{C}$ çenli) garşylygyň üýtgemesi $\pm 0.5\%$ -e ýetýär. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýarymgeçirijileriň udel garşylyklary pese gaçýarlar, garşylygyň temperatura baglylygy çyzyksyz, emma $10\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$ temperatura diapazonynda takmynan garşylygyň temperatura koeffisientini 0.03 K^{-1} hasaplap bolar. Temperatura ýalňyşlygyny azaltmak üçin özgerdijileri termostatirlmek we temperatura düzedişin (korrektsiýa) dürli çyzgylary ulanylýar.

Bir tarapa ugrukdyrylan mehaniki σ güýjenmäniň täsiri astynda garşylygyň üýtgemegi otnositel deformasiýany ýüze çykarýar $\varepsilon_l = \Delta l / l = \sigma / E$, tenzoduýgurlyk koeffisienti bilen häsiýetlendirilýär

$$K_T = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l};$$

Metal rezistorlar üçin $K_T = 2 \div 2.5$, ýarymgeçirijiler üçin $K_T = 100 \div 200$. Geçiriji we ýarymgeçiriji materiallaryň daşky gurşawyň basyşyna bolan duýgurlygy bariý koeffisienti

$K_p = \frac{\Delta R / R}{P}$ bilen häsiýetlendirilýär. Bu ýagdaý metallarda

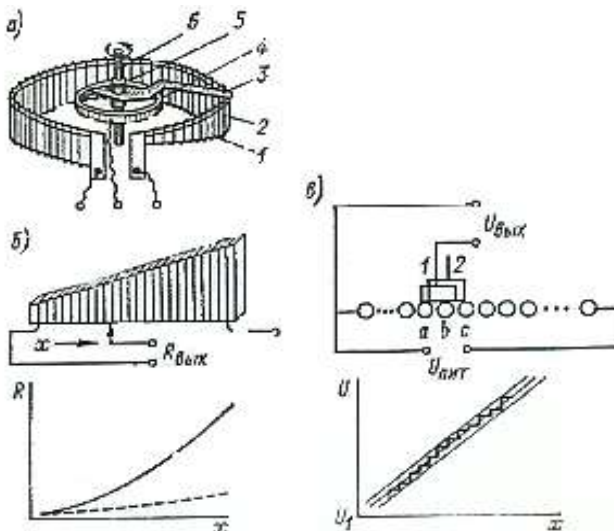
örän uly basyşlarda ýüze çykýar (10^8 Pa köp).

Ýokary we aşakyokary basyşlary ölçemek üçin ($30 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ çenli) manganin özgerdijileri ulanylýar. Manganiniň bariý koeffisienti $k_p=2$.

Reostatly özgerdijiler we tenzorezistorlar.

1. Ölçenilýän elektrik däl ululyklaryň täsiri astynda garşylygy üýtgedijiniň süýşmeginde reostatyň garşylygy üýtgeýär. Oňa reostatly özgerdijiler diýilýär. Reostatly özgerdijileriň hakyky giriş ululygy garşylygy üýtgedijiniň süýşmegi, çykyş ululygy bolsa garşylyk bolup durýar.

Aşakdaky a) çyzgyda reostatly özgerdijileriň gurluşy görkezilen.



Surat 5.7

Karkas 1 daşyna deňölçegli sarym bilen örtükli izolirlenen materialdan 2 sim saralan. Karkasyň ýokary granynda örtükli

simler arassalanýar we metal boýunça simleriň üstünden şetka 3 typýar. Goşmaça şetka 5 tok çykaryjy halka boýunça typýar. Şetkalaryň ikisi hem herekete getiriji 6 walikden izolirlenendir. Reostatly özgerdijiler karkasyň daşyna saralan simli ýa-da reohord kysymly ýerine ýetirilýär. Simleriň içinde platitanyň splawyndan ýasalan simler has köp ulanylýar. Bu material poslama, iýilmä berk durýar. Bulardan başgada manganin, konstantan, fehral ulanylýar. Inçe simler ölçegi 5x5 mm bolan kiçijik özgerdijileri ýasamaga mümkinçilik berýär.

Karkaslaryň görnüşi örän dürli-dürlidir, olar plastina, silindr, halka we ş.m. bolup bilýärler. Karkasyň görnüşini saýlamak bilen çykyş garşylygy bilen süýşmäniň arasyndaky kesgitli funksional baglanyşygy almak mümkin (b) çyzgy.

Reostatly özgerdijileriň çykyş garşylygy, karkasyň perimetri p we giriş süýşmesi x

$$R = \int_0^x r w_0 p dx;$$

baglanşyk bilen özara baglanşykly.

Bu ýerde r – metr simiň garşylygy;

ω – özgerdijiniň ölçeg uzynlygyna sarym sany.

Berlen $R = \varphi(x)$ baglanşyk boýunça $\rho = f(x)$ baglanşygy kesgitläp bolar.

Reostatly özgerdijiler kontaktlylara meňzeş basgançakly (diskret) özgerdijilerdir (reohord kysymly özgerdijilerden başga), sebäbi giriş ululyklarynyň üznüksiz üýtgemegi garşylyklaryň basgançakly üýtgemegine laýyk gelýär. Özgerdijiniň garşylygyny üýtgedijiniň l aralyga süýşmegi ω sarymlara laýyk gelse 2ω basgabçak bilen deň bolar, emma bu basgançaklar özgerdijiniň ähli uzynlygy boýunça birmeňzeş däl. ç) suratda görkezilişe ýaly güýjenme bölüji düzgünde birikdirilen ölçeg özgerdijisiniň çykyş häsiýetnamasyny mysal hökmünde seredip geçeliň. Birinji ýagdaýda iki $2d$ bolan

garşylygy üýtgediji a we b sarymlary gysga utgaşdyrýar, bu ýerde d-sarymyň diametri we çykyş güýjenme

$$U_{\text{çyk}}^1 = nU / (w_0 - 2) = Un / w ;$$

bu ýerde w_0 – sarymlaryň doly sany we n – a çenli sarym sany. Garşylygy üýtgedijini d/2 aralyga süşürenimizde, ýagny ikinji ýagdaýda garşylygy üýtgediji üç sarymy, ýagny a, b, ç sarymlary gysga urgaşdyrýar we çykyş güýjenmesi

$$U_{\text{çyk}}^{11} = Un / (w - 1) ; \text{deňdir.}$$

Garşylygy üýtgedijini ýene d/2 aralyga süşürenimizde çykyş güýjenmesi

$$U_{\text{çyk}}^{111} = U(n + 1) / w ;$$

Güýjenmäniň basgançagynyň ölçegi garşylygy üýtgedijini d/2 aralykda süşürenimizde n-e bagly bolup durýar. Birinji basgançak n-iň ulalmagy bilen ulalýar, ikinji bolsa kiçelýär, jemi bolsa hemişeligine galýar

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 = U / w ;$$

Özgerdijiniň çykyş güýjenmesi ç) çyzgyda görkezilendir. Reostatly özgerdijileriň birikdirilýän ölçeg zynjyrlaryny hemişelik güýjenmeden iýmitlendirmek amatly bolýar, ýöne olar üýtgeýän güýjenmeden hem iýmitlenip bilýärler. Özgerdijileriň iýmit güýjenmesi olaryň ygtyýar berlen kuwwaty bilen kesgitlenilýär (iň kiçi göwrümlü özgerdijileriň ygtyýar berlen kuwwaty 0.1 Wt-dan az bolmaýar), şeýlede olaryň garşylyklary bilen kesgitlenilýär. Has giňden ýaýran ölçeg özgerdijileri bu dolandyrylýan güýjenme bölüjileri görnüşinde birikdirilen özgerdijilerdir. Reostatly özgerdijileriň

garşylyklarynyň nominal üýtgemesi 90 %-e ýetýär. Şonuň üçin ölçeg çyzgysyndan gelip çykýan çyzyksyzlygy hasaba almak zerurdyr, şeýlede ygtyýar berlen çyzykly ýalňyşlyklaryndan ugur alyp ölçeg abzalynyň garşylyklaryny saýlap almalydyr.

2. Tenzorezistorlar

Tenzorezistorlaryň işleýşiniň esasynda mehaniki deformasiýanyň (görnüşini üýtgetmeginiň) täsir etmegi netijesinde geçirijileriň we ýarymgeçirijileriň garşylyklarynyň üýtgemesini özünde jemleýän tenzoeffektiň ýüze çykmagy ýatandyr.

Garşylygyň otnositel üýtgemesi $R = \rho l / s$ rezistoryň deformirlenen wagtynda aşakdaky formula arkaly kesgitleýärler

$$\varepsilon_R = \Delta R / R = \Delta \rho / \rho + \Delta l / l + \Delta S / S;$$

Gaty jisimlerde maýyşgaklyk zonasynda keseligine we uzaboýuna deformasiýalaryň Puassonyň μ koeffisientiniň üsti bilen baglansyklydyr we

$$\varepsilon_b = -\mu \varepsilon_l (\varepsilon_l = \Delta l / l, \varepsilon_b = \Delta b / b);$$

bu ýerde b – geçirijiniň kesiginiň ölçegi, ε_R aňlatma üçin aşakdaky görnüşde göz önüne getirmek mümkin

$$\varepsilon_R = \Delta \rho / \rho + (1 + 2\mu) \varepsilon_l;$$

Suwuk we akgyň materiallar üçin (simap, çeýe izolýasiýaly gabykly elektrolitler, plastiki deformirlenen metallar) bularda güýjenme ýok,

$$\Delta \rho / \rho = 0; \quad \mu = 0,5;$$

deformasiýa sebäpli materiallaryň göwrüminiň hemiýelik saklanýanlygy sebäpli we

$$\varepsilon_R = 2\varepsilon_l;$$

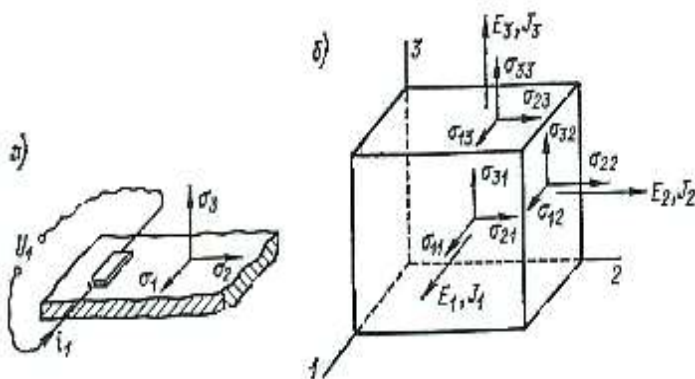
Metallarda udel garşylyk diňe gysylma we sozulma güýjenmesine bagly bolup durýar we süýşme güýjenmelerine bagly däl. Ol şeýle kesgitlenilýär

$$E_1 / j_1 = \rho_1 = \rho_0 (1 + \pi_{11} \sigma_1 + \pi_{12} \sigma_2 + \pi_{13} \sigma_3) \rho_0 [1 + \pi_{11} \sigma_1 + \pi_{12} (\sigma_2 + \sigma_3)];$$

bu ýerde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – özara üç tarapa perpendikulýar ugrukdyrylan mehaniki güýjenme;

π_{11} we $\pi_{12}=\pi_{13}$ – keseligine we uzaboýyna tenzorezistiwi koeffisientler;

E_1 we j_1 – ugrukdyrylan σ_1 güýjenme täsiri bilen gabat gelýän 1 ugurdaky meýdanyň güýjenmesi we toguň dykzlygy (aşakdan b surat)



Surat 5.8

Metal tenzoelement üçin

$$\pi_{11}=\pi_{22}=\pi_{33} \text{ we } \pi_{12}=\pi_{13}=\pi_{21}=\pi_{23}=\pi_{32}.$$

Has köp tenzorezistor ýasalýan konstantan üçin

$$\pi_{11} = 1,5 \cdot 10^{-12} P_a^{-1}; \quad \pi_{12} = 2,25 \cdot 10^{-12} P_a^{-1};$$

çyzykly dartgynly ýagdaýda

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma; & \sigma_2 &= \sigma_3 = 0; & \Delta \rho / \rho &= \pi_{11} \sigma; \\ \varepsilon_R &= \pi_{11} \sigma + (1 + 2\mu) \varepsilon_l; \end{aligned}$$

Zolakda maýyşgak deformasiýasy hasaba almak bilen

$$\sigma = E\varepsilon_l;$$

bu ýerde E – maýyşgaklyk moduly, alýarys

$$\varepsilon_R = [\pi_{11}E + (1 + 2\mu)]\varepsilon_l;$$

Ululyk $k_T = \varepsilon_R/\varepsilon_l$ – tenzoduýgurlyk koeffisienti.

Ýarymgeçiriji materiallardan tenzorezistorlar üçin p we n geçirijikli kremniý ulanylýar. Kremniý anizotrop material bolup durýar we oňa elektrik meýdanynyň, gysylp-sozulmak mehaniki naprýaženiýäniň we süýşmäniň bir wagtda täsir etmegi onuň üçin elektrik meýdanynyň naprýaženiýesiniň her E_1 , E_2 we E_3 komponentleri üç topara akýan toguň dykzylgynyň funksiýasy bolup durýar.

Gidrostatiki gysyşyň netijesinde garşylygyň üýtgemegi we başga aşadaky formula bilen baglanşyklydyr

$$\varepsilon_R = -[\pi_{11} + 2\pi_{12} - (1 - 2\mu)/E]P;$$

Koeffisient $k_p = \varepsilon_R/P$ – rezistorlaryň bariý koeffisienti.

Konstantanyň bariý koeffisienti $k_p = 4.5 \cdot 10^{-12} Pa^{-1}$.

Manganiniň bariý koeffisienti $k_p = 27 \cdot 10^{-12} Pa^{-1}$.

Ýarymgeçiriji tenzoelementleriň çyzykly dartgynly ýagdaýdaky duýgurlygy, metallardaky ýaly, tenzoduýgurlyk koeffisienti $k_T = \varepsilon_R/\varepsilon_l$ bilen baha berilýär, şonda-da bu koeffisient hemişe diýen ýaly tenzorezistiw netijelilik bilen kesgitlenilýär, ýagny $k_T \approx k_p$. Hakykatdan

$$K_T = \pi_{11}^1 E^1 + 1 + 2\mu;$$

$$1/E^1 = 64,0 \cdot 10^{-11} Pa^{-1};$$

$$\pi_{11}^1 = 6,85 \cdot 10^{-12} Pa^{-1}; \mu = 0,256;$$

$$K_T = 94,2 + 1,5 = 95,7;$$

$K_p = 94,2$ -dan az tapawutlanýar.

Ýarymgeçiriji tenzorezistorlaryň tenzorezistiw koeffisientleri goýulan mehaniki güýjenmä bagly bolup, bu ε_1 -den ε_k baglanşykdan çyzykly ýalňyşlyga getirýär.

2. Tenzorezistorlaryň temperatura ýalňyşlygy

Temperaturanyň üýtgemegi bilen tenzorezistoryň başlangyç garşylygy we tenzoduýgurlyk koeffisienti üýtgeýär. Şeýlelikde tenzorezistorlar üçin nulyň temperatura ýalňyşlygy we duýgurlygynyň temperatura ýalňyşlygy häsiýetlidir. Tenzorezistora ýelimlenen başlangyç garşylygynyň üýtgemegi iki ýagdaý bilen kesgitlenýär:

- temperaturanyň göniden-göni täsir etmegi netijesinde ρ udel garşylygynyň materialda üýtgemegi;
- eger tenzorezistorda we detalyň çyzykly giňelmesiniň koeffisienti deň bolmadyk ýagdaýynda tenzorezistorda ýüze çykyan goşmaça mehaniki güýjenmäniň täsiri astynda udlr garşylygynyň üýtgemegi.

Temperaturanyň täsiri astynda deformasiýanyň ululygy aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\Delta \varepsilon_{\theta} = [\alpha_{\theta} / K_T + (\beta_g - \beta_t)] \theta ;$$

bi ýerde α_{θ} – garşylygynyň temperatura koeffisienti;
 β_T – tenzorezistorlaryň we detallaryň materialynyň çyzykly giňelmesiniň koeffisienti.

Konstantanyň garşylygynyň temperatura koeffisienti splawdaky garynda baglylykda $\pm 30 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ çäkde islendik bahada bolup biler. Garşylygynyň temperatura koeffisienti otnositel uly bolmadyk interwalda temperaturanyň berlen bahasy $\pm (0.5 \div 1) \cdot 10^{-8} K^{-1}$ ýalňyşlyk bilen üpjün edilýär. Bu köp materiallaryň (polat, poslamaýan polar, alýumininiň splawy) ölçegi üçin termokompensirleýji tenzorezistorlary ýasamaga mümkinçilik berýär.

Temperaturanyň duýgurlyk koeffisienti temperaturanyň täsir etmegi netijesinde tenzoduýgurlyk koeffisientleriniň üýtgemegi bilen kesgitlenilýär. Konstantanly tenzorezistorlar üçin temperaturanyň duýgurlyk koeffisienti örän az, ýagny

$\gamma_3 = -0.00003 \text{ K}^{-1}$, p – kysymly kremniýden ýasalan ýarymgeçiriji tenzorezistorlar üçin $\gamma_3 = -0.0016 \text{ K}^{-1}$ ýetýär.

Tenzorezistorlaryň ölçeg zynjyrlary

Tenzorezistorlarda ýaýraýan P kuwwat, ýalňyşlygyň ýokary bahasynyň ýüze çykmagyna getirýän gyzmagy bilen çäklendirilen. Detallaryň temperaturasy, oňa ýelimlenen tenzorezistor bilen deňeşdireniňde, tenzorezistoryň θ aşagyzmagy aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$\theta = P / (\xi S_0) = P_{ud} / \xi ;$$

bu ýerde S_0 – rezistoryň ýylylyk beriş üstüniň meýdany, m^2 ;

ξ – ýylylyk beriş koeffisienti, $\text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$;

$p_{ud} = p/s_0$ – udel ýylylyk ýüki, Wt/m^2 .

Tenzorezistorlaryň ýelimiň gatynyň üsti bilen detallara ýylylyk kontakty mahalynda, daşky gurşawyň howasyndan 200-300 esse köp ýylylyk akymy berilýär. Bu aýakdaky bilen düşündirilýär. Howa ýylylyk beriş koeffisienti $\xi = 10 \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$, ýelimiň gatynyň üsti bilen metallarda ýylylyk beriş koeffisienti $\xi = 2 \div 3 \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ deňdir. Şonuň üçin ähli ýylylyk akymy tenzorezistordan ýelimiň gatynyň üstünden detallara berilýär diýip hasaplap bolar.

Tenzorezistoryň üstünden ygtyýar berlen tok I_{ygt} aşakdaky gatnaşykdan kesgitlenilýär $P = I^2 R = P_{ud} S_0$. Meselem, ρ udel garşylykly materialdan ýasalan n simli gözenekde α diametrli uzynlygy l bazaly tenzorezistorlar üçin

$$S_0 = \frac{\pi d}{2} n l ; \quad R = 4 \pi l \rho / (\pi d^2) ;$$

we ygtyýar berlen toguň bahasy

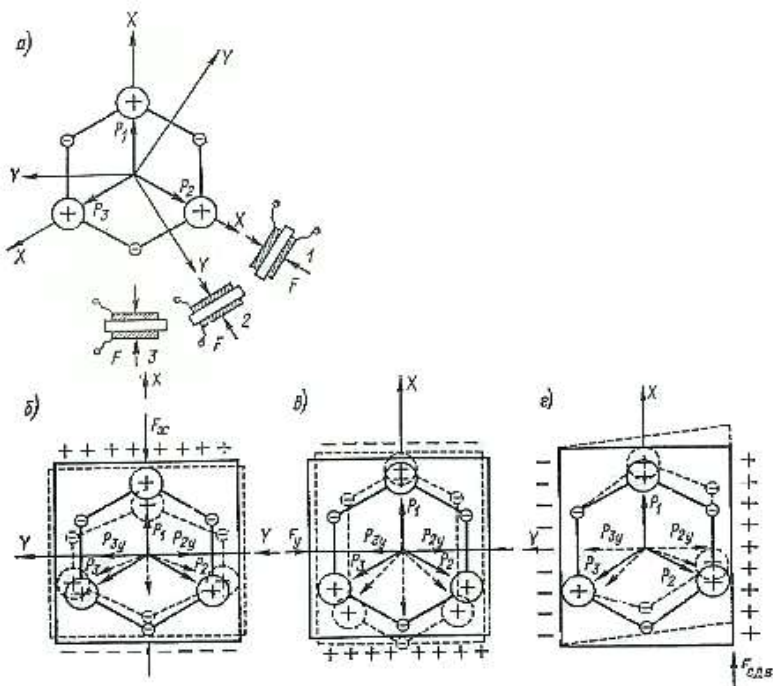
$$I_{ygt} = \sqrt{P_{ud} S_o / R} = \sqrt{P_{ud}} \pi^2 d^3 / (8p);$$

Pýzoelektriki özgerdijileriň fiziki esaslary we ulanylýan ýerleri.

1. Pýzoelektrikler diýlip kristallaryň mehaniki güýjenmäniň täsiri astynda elektriklenmegine (göni pýzeoeffekt) we elektrik meýdanynda görnüşini üýtgetmegine, ýagny deformirlenmegine aýdylýar. (ters pýzeoeffekt).

Pýzeoeffekt belgi duýgurlygyna eýe bolýar, ýagny gysylmagyň sozulmak bilen orny çalşanda zarýadyň belgisiniň üýtgemegi bolup geçýär we meýdanyň ugrunyň üýtgemegi bilen deformasiýanyň belgisi hem üýtgeýär. Kristalliki maddalaryň köpüsi pýzoelektriki häsiýete eýedirler: bular kwars, liti niobaty, segnet duzy we başgalar, şeýle-de emeli ýol bilen döredilýän we elektrik meýdanynda ýörite polýarlaşdyrylýan pýzokeramikler: bariýniň titanaty, gürşunyň titanaty, gürşunuň sirkonaty we ş.m.

Pýzeoeffektiň fiziki tebigatyny bize has belli bolan pýzoelektriki kristallyň – kwarsyň mysalynda seredip geçeliň. Aşakdaky a) suratda kwarsyň kristall gurluşynyň öýjükleriniň ýönekeý görnüşi berlendir. Öýjük бүтінлеý elektrik neýtral, emma onda merkeziň üstünden geşýän we iki dürli polýarly iony birikdiriji üç ugry kesgitlemek mümkin. Bu polýar ugurlar elektriki oklar ýa-da X oky diýlip atlandyrylýar we olar boýunça P_1 , P_2 we P_3 polýarlaşmak wektorlary ugrukdyrylandyr.



Surat 6.1.

Eger kwarsyň kristalyňa okuň uzaboýuna F_x güýji goýulan bolsa, bu güýç gyraňlar boýunça X okuna perpendikulýar deň ýaýraýar. Munuň netijesinde ýönekeý öýjükleriň deformirlenmegi bilen onuň elektriki neýtrallygy bozulýar. Bu ýagdaýda b) suratda görnüşi ýaly öýjügiň deformirlenen ýagdaýynda P_2 we P_3 wektorlaryň proyeksiýasynyň jemi X okuna görä P_1 wektora az (gysylmada) ýa-da köp (sozulmada). Netijede deň täsir ediji wektorlaryň polýarlaşmagy ýüze çykýar, gyraňlardaky polýarlaşan zarýadlar oňa laýyk gelýär. Bularyň gysylma üçin belgisi b) suratda görkezilen. Öýjükleriň deformasiýasynyň Y okunuň uzaboýuna elektrik ýagdaýyna täsir etmeýänligini görmek kyn däl. Bu ýerde wektorlaryň proyeksiýasynyň jemi nula deňdir. X okuna perpendikulýar gyraňlaryň zarýadlarynyň

polýarlaşmagynyň döremegi, X oky boýunda güýç täsir edende uzaboýuna pýzeoeffekt diýlip atlandyrylýar.

Y oklarynyň biriniň uzaboýuna mehaniki naprýaženiýe goýulan mahalynda (olary mehaniki oklar diýip atlandyrylýar) Y okuna P_2 we P_3 wektorlaryň proyeksiýasynyň geometriki jemi nula deňdir we Y okuna perpendikulaýar pýzeoelementiň gyraňlarynda zarýadlar ýüze çykmaýar. Şeýle bolsada X okuna goýulan P_2 we P_3 wektorlaryň proyeksiýasynyň jemi P_1 wektora deň däl bolup çykýar. ç) suratdan görnüşi ýaly pýzeoelementiň gysylmagy netijesinde görkezilen bahanyň jemi P_1 -den ýokary geçmeýär, netijede ýokarky gyraňlarda otrisatel, aşaky gyraňlarda ýüze çykma effekte keseligine pýzeoeffekt diýlip atlandyrylýar. Ähli tarapdan deňölçegli ýüklenen wagtynda (meselem, gidrostatiki gysylma) kwarsyň kristaly elektriki neýtral bolup galýar. Z oky boýunça X we Y oklaryna perpendikulýar ýüklenen wagtynda we kristalyň optiki oky atlandyrylýan ýüklenende kwarsyň kristaly elektriki neýtrallygyna galýar.

Ç) suratdan görnüşi ýaly öýjügi deformirleýji mehaniki naprýaženiýäniň süýşmesi, X okuna goýulan P_2 we P_3 wektorlaryň proyeksiýasynyň jemi, X oky boýunça ugrukdyrylan P_1 wektora deňdir, X okuna perpendikulýar gyraňlarda zarýad ýüze çykmaýar. Şeýle-de bolsa Y okuna goýulan P_2 we P_3 wektorlaryň proyeksiýalary deň däl we X okuna perpendikulýar gyraňlarda zarýad ýüze çykýar.

Pýzeoeffektin fiziki tebigatyna seretmeklik, materiallaryň dartgynly ýagdaýynda zarýadlaryň üç jübit gyraňlaryň arasynda dörap biljekdigini görkezýär. Şeýlelik bilen polýarlaşan zarýad wektor bolup üç komponent bilen ýazylýar. Dartgynly ýagdaý dokuz komponentli ikinji derejeli tenzor bilen häsiýetlendirilýär.

Pýzeoelektriki modul ýigrimi ýedi komponent bilen kesgitlenilýär we üçünji derejeli tenzor bolup durýar. Bu modul dartgynly ýagdaýa zarýada baglydygyny kesgitleýär.

Şeýle-de bolsa mehaniki naprýaženiýäniň tenzory biri-birine garaşsyz atly komponentden durýar. Bu komponentler aşakdaky ýaly belgilenýär:

$$\delta_{11} = \delta_1; \quad \delta_{22} = \delta_2; \quad \delta_{33} = \delta_3; \quad \delta_{23} = \delta_{14};$$

$$\delta_{13} = \delta_5; \text{ we } \delta_{12} = \delta_6;$$

Bu pýezomodulyň ýönekeý görnüşli ýazgysyna geçmäge mümkinçilik berýär, ony on sekiz komponentden durýan tablisa görnüşinde göz önüne getirýäris.

$$d_{ij} = \begin{bmatrix} d_{11}d_{12}d_{13}d_{14}d_{15}d_{16} \\ d_{21}d_{22}d_{23}d_{24}d_{25}d_{26} \\ d_{31}d_{32}d_{33}d_{34}d_{35}d_{36} \end{bmatrix}$$

Islendik naprýaženiýe täsir edende-de hemme üçgyraňlaryň zarýadynyň dykyzlygyny pýezomodullaryň tablisasy boýunça hasaplamak mümkindir. X oky boýunça gyraňlarda gysylma wagtynda bu oka perpendikulýar zatýad döreýär, onuň dykyzlygy $\delta_1 = d_{11}\delta_1$; gysylma wagtynda Y oky boýunça zarýad $\delta_1 = d_{12}\delta_2$; hemme taraplaýyn gysylma wagtynda

$$\delta_1 = d_{11}\delta_1 + d_{12}\delta_2 + d_{13}\delta_3,$$

$$\text{süýşme wagtynda } \delta_1 = d_{14}\delta_4$$

Uzaboýuna pýezoeffekt wagtynda zarýad pýezoelementiň ölçegine bagly däldir. Şeýlelikde X oky boýunça gysylma wagtynda zarýad

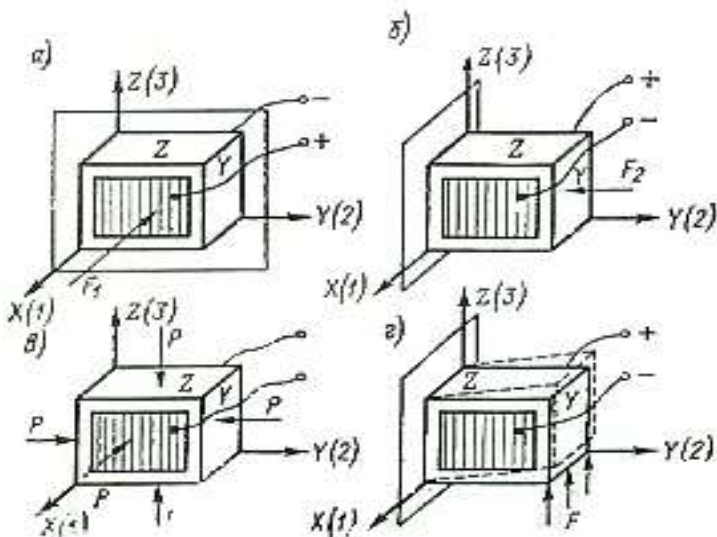
$$q_1 = \delta_1 S_1 = S_1 d_{11} F_1 / S_1 = d_{11} F_1$$

Keseligine pýezoeffekt wagtynda pýezoelementiň odnositel ölçeginiň saýlanylşyna laýyklykda zarýad ulalyp bilmegi mümkindir, ýagny X we Y gapyrgalaryň uzynlygy:

$$q_1 = \delta_1 S_1 = S_1 d_{12} F_2 / S_2 = d_{12} F_2 z y / (z x) = d_{12} F_2 Y / X .$$

umumy ýagdaýda zarýadyň dykyzlygy aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\delta_i = d_{ij} \delta_j (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6).$$



surat 6.2

Pýezomodulyň dij indeksi j okuň uzaboýuna güýjenme täsir edende i gyraňlardaky zarýady aňladýar.

Boý we kese pýezoeffektlerde kristallaryň gyraňlarda ýüze çykýan zarýadlaryň mukdary birmeňzeş däl. Ol zarýadlaryň ýüze çykýan kristalyň üstüniň meýdanyna we güýç täsir edýän meýdana baglydyr.

Pýezoelektriki özgerdijileri ýasamak üçin material saýlamak diňe bir pýezoelektriki koeffisiýentiň ähmiýetine bagly bolman, özgerdijiler üçin talap edilýän mehaniki berkligine, onuň işlemeli ýerindäki gyzgynlyk derejesine-de baglydyr.

Pýzeoelementleriň adatça çykyş güýjenmesi az bolýar, şonuň üçin dürli güýçlendirijileri ulanmaly bolýar. Bu pýzeoelementleriň ulanylşyna çäklendirýär.

Pýzeoelektriki özgerdijileriň ulanylýan ýerleri örän giňdir:

- göni pýzeoeffekt ulanylýan özgerdijiler güýji, basyşy, tizlenmäni ölçeyän ölçeg abzallarynda ulanylýar;
- ters pýzeoeffekt ulanylýar özgerdijilerde, ýagny ultrases yrgyldylaryny ýaýradyjylarda, güýjenmäniň deformasiýa özgerdijilerinde ulanylýar;
- Şol bir wagtyň özünde göni we ters pýzeoeffekt ulanylýan özgerdijilere pýzeorezonatorlar diýilýär.

2. Pýzeorezonatorlar güýçlendirijiniň ters baglansykly (položitel) zynjrlaryna birikdirilende awtoyrgyldy düzgüninde işleýärler we generatorlarda ulanylýar. Kristalyň kysymyna we oýandyryjy yrgyldynyň görnüşine baglylykda pýzeorezonatorlar ýokarydurnukly, daşky täsirleriň hususy ýygylýgyna bagly bolmadyk we özüniň hususy ýygylýgy dolandyrylýan edip ýasaýarlar. Dolandyrylýan rezonatorlar ýygylýk-san ölçeg abzallarynda dürli ululyklary, esasan elektrik däl ululyklary (temperatura, basyş, tizlenme wen ş.m.) ýygylýga özgerdijiler hökmünde ulanylýar.

Pýzeoelektriki özgerdijilerde kwars we dürli kysymly pýzezokeramika ulanylýar. Pýzezokeramikalaryň kwarsa seredeniňde ähmiýeti ýokarydyr, emma maýyşgaklyk häsiýeti boýunça kwarsdan yza galýar. Pýzezokeramiki materiallaryň maýyşgaklyk moduly

$$E = (0,65 \div 1,3) 10^{-11} P_a .$$

Köp pýzezokeramiki materiallaryň tangens burç ýitgisi

$$\tan \delta = 0,02 \div 0,05.$$

Ähli materiallaryň kesgitli temperatura diapazonynda pýzeoelektriki häsiýetleri bolýar, olaryň çägi Kýuri nokady bilen kesgitlenilýär. Kwars üçin Kýuri nokadyndaky temperatura $\bar{O}_k=530^0C$, pýzezokeramikler üçin bu temperatura has pesdir.

Güýjiň, basyşyň we tizlenmäniň pýezoelektriki özgerdijileri gurluşy we ölçeg zynjyrlary.

Pýezoelektriki özgerdijiniň gurluşy aşakdaky a) çyzgyda berlendir.

Özgerdijiniň düýbünü emele getirýän 1 membrana ölçenilýän P basyş täsir edýär. Kwars plastinalarynyň daşky goýulma ýere birikdirilýär, ortaky goýulma kwarsyň korpussy bilen izolirlenýär, bu korpussy örän uly udel garşylygy bardyr. Kwarsyň 2 plastinalary parallel birikdirilen. Kwars plastinalaryndan signal 5 ekranlanan kabel arkaly alynýar. Birikdirmek üçin amatly bolar ýaly kabeliň içinden özgerdijiniň korpusyna deşik göz önünde tutulan, ol 4 gapak bilen ýapylýar.

Pýezoelektriki özgerdijileriň çykyş kuwwaty örän kiçi, şonuň üçin özgerdijiniň çykyşyna, mümkin boldugyça uly giriş garşylykly güýçlendirijileri birikmelidir.

Ölçeg zynjyry kabel birikdirilen özgerdijiniň ekwiwalent çyzgysy b) suratda görkezilendir. Bu ýerde C_0 – pýezoelektrigiň gyraňlarynyň arasyndaky sygym (özgerdijiniň sygymy); C_k – ekran bilen kabeliň arasyndaky sygym,

C_{ger} – ölçeg zynjyrynyň giriş sygymy; R_{gir} – ölçeg zynjyrynyň giriş garşylygy.

Ç) çyzga laýyklykda ekwiwalent çyzgyny ýönekeýleşdirip bolar. Bu ýerde R garşylyk parallel birikdirilen R_0 , R_k we R_{gir} garşylyklara deňdir we sygym $C=C_0+C_k+C_{gir}$.

Sinusoidal güýçde f - $F_m \sin \omega t$, pursat togy

$$i = dq / dt = d(d_{11} F_m \sin \omega t) / (dt).$$

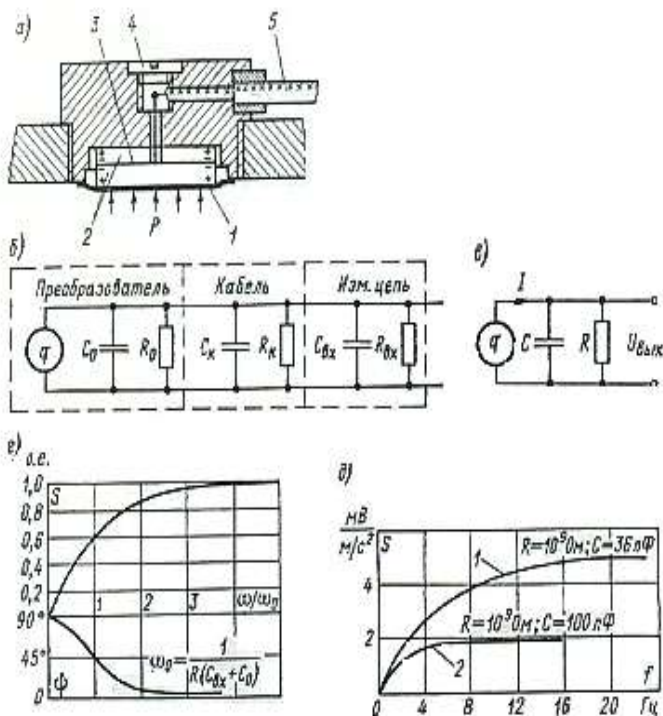
Ölçeg zynjyryna birikdirilen özgerdijiniň çykyş güýjenmesi

$$U_{çyk} = I \left[\frac{R / (j\omega C)}{R + 1 / (j\omega C)} \right]$$

$$\text{bu ýerde } I = j\omega d_{11} F; U_{çyk} = d_{11} F [j\omega R / (1 + j\omega RC)]$$

Soňky aňlatmadan görnüşi ýaly güýjenmäniň amplitudasy, güýjenmäniň arasyndaky faza süýşmesi we ölçenilýän güýç ýygylýga baglydyr.

$$U_{m.cyk} = \frac{d_1 F_m}{C} \frac{wRC}{\sqrt{1 + w^2 R^2 C^2}}; \varphi = \Pi / 2 + \arctg wfC.$$



Surat 6.5

Ölçeg zynjyryna birikdirilen özgerdijiniň amplituda-ýygylık we faza-ýygylık häsiýetnamalary d) çyzgyda görkezilendir.

Ölçeg özgerdijileriniň esasy artykmaçlyklary şu aşakdakylardan durýar: göwrümi kiçi, gurluşy ýönekeý, işde ygtybarly, çalt üýtgeýän ululyklary ölçemek mümkinçiligi, mehaniki naprýaženiýäni elektrik zarýadyna özgertmekde örän ýokary takyklygy we ş.m.

Elektrostatik özgerdijileriň iş düzgüni, esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri.

1. Ýönekeý elektrostatik özgerdiji dielektrik syzdyryjyly ϵ gurşawda özarasynda δ parallel ýerleşen S meýdanly iki elektroddan durýar.

Elektrik tarapdan özgerdiji plastinalaryň arasyndaky \cup naprýaženiýe, zarýad $q = C \cup$ bilen häsiýetlendirilýär, bu ýerde $C = \epsilon S / \delta$ tekiz parallel ýerleşen plastinalaryň deňlik sygymy, şeýle-de $i = dq / dt$, elektrik meýdanynyň energiýasy $W_e = q \cup / 2 = C \cup^2 / 2$ bilen häsiýetlendirilýär. Eger plastinalaryň biriniň süýşme mümkinçiligi bolsa (ýa-da olaryň arasyndaky dielektrik), onda mehaniki tarapdan özgerdiji hereketlenýän plastinanyň berk asgyjyny ω , onuň x süýşmesiniň, süýşme tizligi $v = dx / dt$ we elektrostatiki çekiş güýji $f_{es} dW_e / dx$ bilen häsiýetlendirilýär.

Özgerdijiniň mehaniki we elektriki taraplarynyň özara baglanşygy aşakdaky deňlemeler bilen kesgitlenilýär:

$$dF = \alpha x + E_0 C_0 u; \quad dq = E_0 C_0 x + C_0 u.$$

Getirilen deňlemeden görnüşi ýaly mehaniki tarapdan edilen islendik täsir özgerdijileriň elektrik ýagdaýyny üýtgedýär we tersine elektrik meýdanynyň üýtgemegi bilen mehaniki häsiýetnamanyň üýtgemegine getirýär. Elektromehanik baglanşygyň koeffisiýenti

$$K_{e.m.} = E_0 C_0.$$

Bu arabaglanşyk islendik elektrostatik özgerdijiler ulanylanda hasaba alynmalydyr.

Elektrostatik özgerdijileriň çykyş ululyklary şu aşakdakylar bolup biler:

a) sygym C üýtgemegi ; b) güýç $f_{e.s.}$; c) elektrik meýdanlynda ýerleşýän elektrodlaryň özara süýşmesi netijesinde öndürilýän elektrik hereketlendiriji güýji.

Sygymy üýtgeýän elektrostatik özgerdijiler üçin giriş ululyklary mehaniki süýşme, üýtgeýän deşik ýa-da meýdan,

ýa-da dielektrik ε syzyjylygy, munuň täsiri astynda temperaturanyň ýa-da dielektrik düzüminiň üýtgemegi bolup biler.

Sygymy üýtgeýän elektrostatik özgerdijiler (bu ýagdaýda sygymly diýlip atlandyrylýar) göni özgerdiji dürli datçiklerde, şeýle-de deňagramsyz özgerdijiler hökmünde deňagramlaşdyrylan datçiklerde ulanylýar. Sygymly özgerdijileri ýygylýk geçiriji w üýtgeýän tokda işleýärler, bular ölçenilýän ululygyň täsir etmegi netijesinde sygymyň üýtgame ýygylýgyndan ep-esli ýokary bolmalydyr. Sygymly özgerdijiler hökmünde ýapyk p-n geçelgeler hem ulanylýar. Platinanyň edýän işini p we n geçelgeler ýerine ýetirýärler, onuň ini δ , p-n geçelgäniň sygymy goýulan güýjenmäniň täsiri astynda üýtgeýär. Bu ýarymgeçiriji elementler warikap diýlip atlandyrylýar.

Elektrostatik özgerdijiler üçin çykyş ululygyndan güýç görmüşinde giriş ululygy naprýaženiýe bolup durýar. Bu özgerdijiler elektrostatik woltmetrlerde, şeýle-de basyşyň ters özgerdijileri hökmünde deňagramlaşdyryş datçiklerinde ulanylýar.

2. Mälim bolan kanun boýunça mejbury üýtgeýän sygym wagtynda, meselem $C = C_0 + \Delta C \sin \Omega t$, elektrostatik özgerdijiler sygym modulýatorynda we üstki zarýadlary ölçeýjilerde (generator düzgüni) işleýär. Sygym modulýatorynyň elektrostatik özgerdijileri RC-zynjyrlaryň hemişelik wagtyna baglylykda $\Omega RC \gg 1$ wagtynda berlen zarýadyň düzgününde we $\Omega RC \ll 1$ wagtynda berlen güýjenme düzgününde işläp biler.

Birinji ýagdaýda

$$q = C \cup_C = \text{const};$$

$$\cup_C = \frac{q}{C} = \frac{C_0 \cup_x}{C_0 + \Delta C \sin \Omega t} = \cup_x \left(1 - \frac{\Delta C}{C} \sin \Omega t\right). \text{ ýagny}$$

$$\cup_C (\acute{y}a - da \cup_R)$$

naprýaženiýäniň üýtgeýän düzüminiň çykyş ululygy bolup durýar.

Ikinji ýagdaýda

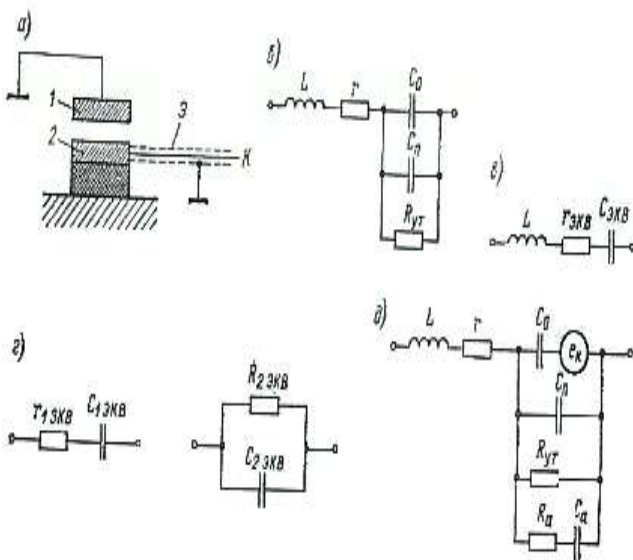
$$\cup_C = \cup_x = \text{const}; \quad q = (C_0 + \Delta C \sin \Omega t) \cup_x,$$

ýagny hemişelik naprýaženiýä proporsional \cup_x modulýatoryň çykyş ululygy tok bolup durýar

$$i = dq / dt = \cup_x \Omega \Delta C \cos \Omega t.$$

Şunuň ýaly generator düzgüninde kondensatorly mikrofonlar hem işleýär. Bular akustik yrgyldylaryň energiýasyny elektrik energiýasyny özgerdýärler. Bu ýagdaýda $\cup_x = \cup_0$ durnukly çeşmeden berilýär we naprýaženiýäniň üýtgeýän düzümi kondensatoryň plastinalarynyň süýşme düzgünine ýa-da onuň süýşme tizligine proporsionaldyr.

Elektrostatik özgerdijileriň ekwiwalent çyzgylary. Çyzgylaryň gurluşy aşadaky çyzgyda görkezilendir.



Surat 7.2.

Ekwiwalent çyzgyda 1 we 2 elektrodларыň arasyndaky C_0 sygym, elektrodларыň arasyndaky örtükleriň R_{syz} garşylygy, kabeliň K garşylygy τ we induktiwligi L şeýle-de elektrodлар bilen gurnalmanyň örtükleýän detallarynyň we kabel K bilen onuň ýere birikdirilen ekranynyň Θ arasyndaky gerekmejek (parazit) C_p sygymy hasaba alynmalydyr.

Aýratyn ýagdaýlara laýyklykda beýleki elementleriň täsiri hem hasaba alynýar. Şeýlelikde pes ýygylykda işlenen wagtynda kondensatoryň garşylygy ýokarydyr, induktiwligiň we garşylygyň girişi ýüze çykmaýar. Ýokary ýygylykda işlenende kondensatoryň garşylygy pese düşýär we giriş induktiwligi we garşylygy uly rol oýnaýar, şol bir wagtda şuntlanan garşylygynyň syzyjylyk täsiri ýüze çykmaýar. Bu ýagdaýda özgerdijiniň yzygiderli ekwiwalent çyzgysy amatlydyr (ç çyzga seret), bu ýerde

$$\tau_{ekw} = \tau \quad \text{we} \quad C_{ekw} = C_0 + C_p$$

Syzyjylyk garşylygynyň täsiri garşylyga goşmaça laýyklykda hasaba alyp bolar

$$\tau_{ekw} = r + 1/(\omega^2 C_{ekw}^2 R_{syz}).$$

Tok berijileriň induktiwlik täsiri adatça 10 MGS ýygylykdan ýokarda ýüze çykyp başlaýar.

Dielektrikli elektrostatik özgerdijileriň ekwiwalent çyzgysynyň ýitgisi hasaba alynmalydyr. Elektrostatik özgerdijilerde tok bilen naprýaženiýäniň arasyndaky baza süýşmesi ýitgi sebäpli burç ýitgisinde $\delta \Pi/2$ az bolmagy mümkindir. Dielektriklerdäki ýitgileri hasaba alýan yzygiderli we parallel çyzgylar d) çyzgyda görkezilendir. Bu çyzgylar üçin ekwiwalent garşylygy ýygy-ýygydan tangens burç ýitgisiniň üsti bilen aňladýarlar.

$$\tau_{1ekw} = tg \delta / (\omega C_{1ekw}) \quad \text{ýa-da} \quad R_{2ekw} = 1/(\omega_{2ekw} tg \delta).$$

C_{1ekw} we C_{2ekw} sygymлар özarasynda $C_{2ekw} = C_{1ekw} / (1 + tg \delta)$ bilen baglansyklydyr, sebäbi adatça $tg \delta \ll 1$ olary akmynan $C_{1ekw} \approx C_{2ekw} \approx C_{ekw}$ deň hasaplaýarlar.

Nusgalyk howa kondensatorlarynda $tg\delta = 5 \cdot 10^{-15}$ ýokary geçmeýär, sebäbi diňe elektrodlaryň materiallar bilen elektrodlaryň örtükleriniň arasyndaky ýitgi bilen kesgitlenilýär. Dielektrikli kondensatorlarda burç ýitgisi ep-esli köpdür, mundan başga-da kondensatordaky naprýaženiýä, ýygylgy, temperatura we çygylgy bagly bolup biler.

Hemişelik tokda işleýän elektrostatik özgerdijilerde ekwiwalent çyzgyda sygym bilen yzygiderli birikdirilen elektrodlaryň arasyndaky potensiallaryň kontakt tapawudyny hasaba alynmalydyr. Potensiallaryň kontakt tapwudy materiallaryň tebigatyna, häsiýetine we örtükleriň arassalygyna baglydyr, bu şol bir materialdan ýasalan elektrodlaryň arasynda hem ýüze çykýar. Ýörite çäreleriň ulanylmagy bilen potensiallaryň kontakt tapawudy pese düşürilýär.

3. Woltmetrlerdäki we deňagramlaşan datçiklerdäki elektrostatik özgerdijiler

Elektrostatiki özgerdijilerde döredilýän güýç adatdan daşary az, elektromagnit özgerdijilerde alynýan güýçden birnäçe esse kiçidir. Şeýle-de bolsa elektrostatik özgerdijileriň gymmatly artykmaçlyklary-da bardyr. Ol artykmaçlyklary woltmetrlerde ulanýarlar.

Birinjiden, elektrostatik özgerdijileriň aýlaw momentiniň formulasyndan görnüşi ýaly $5 \cdot 10^{-15}$ aýlaw momenti hemişelik tokda-da, üýtgeýän tokda-da naprýaženiýäniň inedördüline proporsionaldyr. Özgerdijiniň plasinasyndaky naprýaženiýäni azaltmak bilen üýtgeýän toguň ýygylgynda ýygylgy ýalňyşlygy ýüze çykyp başlaýar. Bu ýerde giriş garşylygyndaky naprýaženiýe göze-görnüp duran pese düşýär

$$Z = \sqrt{\tau^2 + \omega^2 L^2} .$$

Garşylyk ujypsyz, şonuň üçin ony adatça hasaba almaýarlar.

Şonuň üçin ýygylyk ýalňyşlygy aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär

$$\gamma_f = \frac{\omega L}{1/(\omega C)} = \omega^2 LC.$$

Ýalňyşlyk üçin aňlatmany $1/\sqrt{LC} = \omega_0$ belgiläp aşakdaky ýaly görnüşe getirýäris.

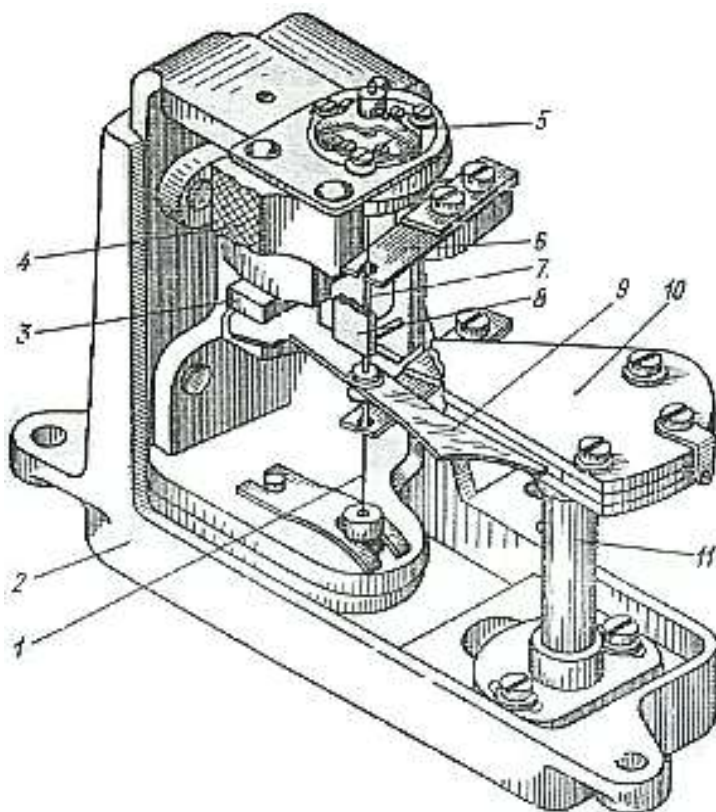
$$\gamma_f = (\omega / \omega_0)^2 = (f / f_0)^2.$$

Ýygylyk f_0 adatça 30-100 MGs aralykdadyr. Şuňa laýyklykda $\gamma_f = 1\%$ bolanda elektrostatiği özgerdijileriň ýygylyk diapazonynyň ýokary çägi 3-1 MGs bolýar we bu özgerdijiler giň ýygylyk diapazonly woltmetrlerde ulanylýar.

Ikinjiden, elektrostatiği özgerdijiler ýokary giriş garşylykly bolup, örän az kuwwaty sarp edýärler. Hemişelik tokda onuň giriş garşylygy $R_{gir} = 10^9 \div 10^{11}$ Om, üýtgeýän tokda bolsa $Z_{gir} = 1/(j\omega C)$. Eger özgerdijiniň giriş sygymynyň 10-100 pF ýokary geçmeýänligini hasaba alsak, onda ýygylygy $f = 1MGs$ bolan ýagdaýynda-da, onuň garşylygy 10-1 kOm-da az bolmaýar.

Iň soňunda-da özgerdijiniň naprýaženiýesiniň güýjüne ýa-da aýlaw momentiniň deňlemesine diňe durnukly ululyklar-howanyň dielektrik syzyjylygy E_0 , geometrik ölçegleri girýär, şonuň üçin elektrostatiği özgerdijiler ýokary takyklyga eýedirler. Aýlaw momentiniň döredilşiniň kiçiligine garamazdan, ýokarda görkezilen artykmaçlyklary elektrostatiği özgerdijileri ölçeg çägi 10w-100kw çenli bolan elektrostatiği woltmetrleri giňden ulanmaga mümkinçilik berýär.

Elektrostatiği woltmetriň mehanizminiň gurluşy aşakdaky çyzgyda getirilendir.



Surat 7-4.

Direge 2 izolýasion kolonkadaky 11 hereketlenmeyän elektrod 10 berkidilen. Ol iki sany parallel plastinaly kameradan durýar. Bu plastinalaryň arasynda hereketlenýän elektrod 9 ýerleşýär. Hereketlenýän elektrod oka 7 berkidilýär, şu okada aýna 8 berkidilýär. Hereketlenýän bölek iki sany asma 1 berkidilýär. Asmalar bolsa amortizasiýaly ýaýjyga 5 berkidilýär. Direge korrektör (düzediji) 4, hereketlenýän bölegiň süýşmesini çäklendiriji 6 we magnit köşeşdirijisi 3 berkidilendir. Aýlaw momenti

$$M_{a\gamma l} = \frac{1}{2} \cup^2 \frac{E_0}{d} \frac{ds}{d\alpha}.$$

Garşylykda täsir ediş momenti

$$M_{gar} = W\alpha$$

bu ýerde W-asmalaryň udel garşylykly täsir ediş momenti şeýlelik bilen hereketlenýän bölegiň aýlaw burçy

$$\alpha = \frac{\cup^2}{2W} \frac{E_0}{d} \frac{ds}{d\alpha}.$$

Elektrostatik ölçeg abzallaryň şkalasy çyzyksyzdy, onuň çyzyklylygyny ýörite elektrodalaryň görnüşini saýlamak arkaly amala aşyýarlar.

Sygym özgerdijileri we olaryň zynjyrlary

1. Dereje ölçemek üçin sygym özgerdijileriň gurluşy aşakdaky suratda görkezilendir.

Özgerdiji iki sany parallel birikdirilen kondensatorlardan durýar: Kondensator C_1 elektrodalaryň böleginden we derejesi ölçenilýän suwuklyk-dielektrikden emele gelýär, kondensator C_0 elektrodalaryň galan böleginden we dielektrik-howadan emele gelýär.

Özgerdijiniň sygymy

$$C = C_1 + C_0 = [l_E + (l_0 - l)E_0] \frac{2\Pi}{\partial_m(R_1 / R_2)}$$

bu ýerde l_0 – silindriň doly uzynlygy;

l – suwuklyk bilen doldurylan silindriň uzynlygy;

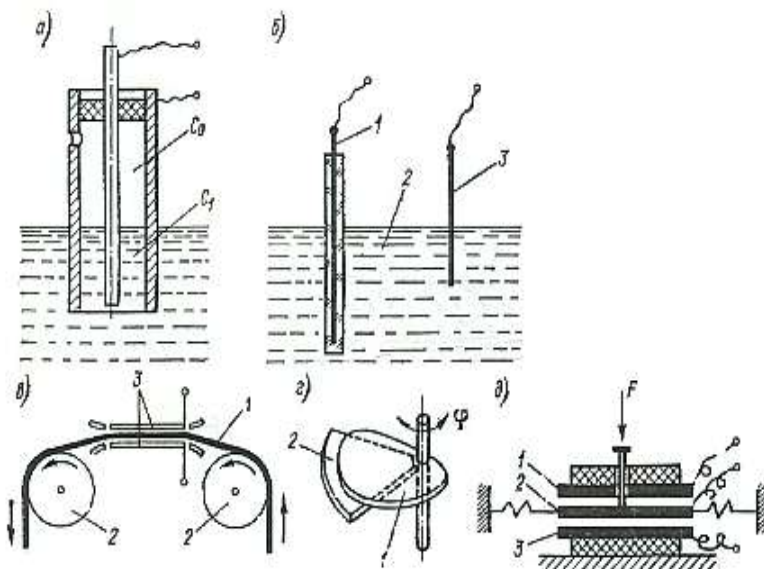
E – suwuklygyň dielektriki syzyjylygy;

R_1 – silindriň daşky radiusy;

R_2 – silindriň içki radiusy;

b) suratda suwuklyk geçiriji çäginä ölçemek üçin sygym turbajygy (zond) görkezilendir. Sygym turbajygy tokunyň beýikligini ölçemek üçin niýetlenen we aýnalanan elektroddan 1 durýar. Elektrod 2 bolup geçiriji suwuklyk hyzmat edýär. Ol 3 elektrodyň kömegi bilen ölçeg zynjyryna birikdirilýär.

$$\text{Sygym: } C = l \frac{2\pi\varepsilon}{l_n(R_1 / R_2)} ;$$



Surat 7.9.

Bu ýerde l -çümyň çunlугy:

ε – aýnanyň dielektrik syzyjylygy;

R_1 we R_2 aýna örtüginäň daşky we içki radiuslary.

Ýörite elektrodyň ýerine, daşy suwuklyk bilen öllenmedik, izolasiýa bilen örtülen sim bölegi ulanylyp bilner.

ç) suratda dielektrikden bolan lentanyň galyňlygyny ölçemek üçin sygym özgerdijisiniň gurluşy we işleýiş düzgüni görkezilen. Synagdan geçirilýän 1 lenta roligiň 2 kömegi bilen kondensatoryň 3 obkladkalarynyň arasyna çekilýär. Eger

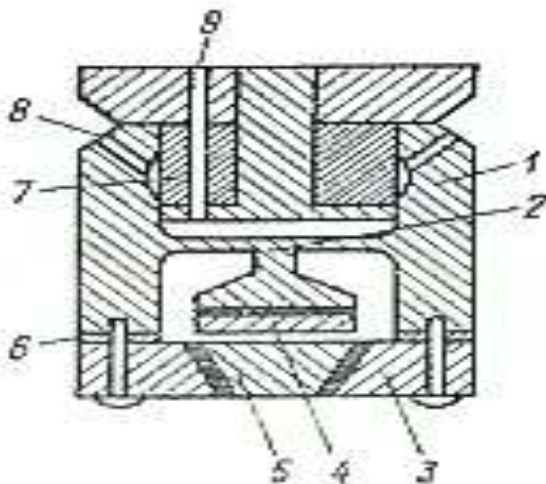
kondensatoryň obkladkalaryň arasyndaky zazoryň uzynlygyny δ , obkladkalaryň meýdanyny s , lentanyň galyňlygyny δ_e we onuň dielektrik syzyjylygyny ε_e belgilesek, onda sygymy C aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär.

$$C = \frac{S}{(\delta - \delta_e)(\varepsilon_o + \delta_l / \varepsilon_l)}$$

d) Suratda okuň aýlaw burçuny ölçemek üçin ulanylýan meýdany üýtgeýän plastinaly sygym özgerdijileriniň gurluşy we işleýiş düzgüni görkezilen. Plastina 1 ok bilen berk berkidilen, plastina 2 otnositel süýşýär. Bularyň arasyndaky zazoryň uzynlygy üýtgewsiz galýar. Meýdany üýtgeýän plastinaly sygym özgerdijileriniň artykmaçlygy şu aşakdakylardan durýar: çzykly süýşmesi ýa-da giriş burç süýşmesi bilen sygymy ölçemekligiň arasyndaky, hereketlenýän 1 we hereketlenmeýän 2 plastinalaryň laýyk görnüşini saýlamakda berlen funksional baglylygy almak mümkinçiligidir. Meýdany üýtgeýän özgerdijiler ululygy 1 mm köp bolan süýşmeleri ölçemek üçin ulanylýar.

Kiçi süýşmeleri ($10^{-6} - 10^{-3}$) ölçemek üçin üýtgeýän zazorly özgerdijiler ulanýarlar. Şeýle differensial özgerdijiniň gurluş düzgüni e) çyzgyda görkezilen. Obkladka 2 ýaýjykda berkidilen we F ölçeg güýjiniň täsiri astynda öňe tarap süýşýär. 1 we 3 obkladkalar hereketsiz. 2 we 3 obkladkalaryň arasyndaky sygym köpeliýär, emma 1 we 2 obkladkalaryň arasyndaky sygym pese düşýär. Aşakdaky suratda basyşyň ýokary duýgurlykly sygym datçiginiň gurluşy görkezilendir, bu pes temperaturaly ýerlerde ulanmak üçin niýetlenendir. Datçigiň esasy detallarynyň biri 1 korpusdyr, ol 2 membrana bilen bile ýerine ýetirilen. 7 gapak, bu 8 kanalyň üsti bilen korpusa kebşirlenen flanes 3. Korpus we flanes бүрүнч бериллиýден ýasalýar, gapak bolsa gyzyly miçden ýasalýar.

Ölçenilýän basyş 9 turbajygyň üsti bilen gapakda membrananyň üstündäki kamera berilýär.



Surat 7.11.

Membrananyň çykyp duran ýerine örtüklenen plýonkanyň üsti bilen özgerdijisiniň hereketlenýän 4 plastinasy berkidilen. Hereket etmeýän 5 plastina, daşy örtükli plastina bilen saralan konus propka görnüşli flanesiň içine salynýar.

Şeýlelik bilen plastina korpusa görä örtüklenen bolup çykýar. korpusa we flansa galtaşýan tekizlik, elektrodlar membranada we flanesde berkidilenden soňra sygym özgerdijileriniň elektrodлары bilen bilelikde täzeden işlenilýär. Şeýle täzeden işlemek netijesinde elektrodларыň arasyndaky zazor prokladka 6 bilen üpjün edilýär, onuň galyňlygy 15-20 mkm. Elektrodларыň diametri 10mm-e ýakyn. Nominal basyş mahalynda zazoryň üýtgemegi $\Delta\delta = 8\text{ mkm}$. Özgerdijiniň sygymy $C_0 = 30\text{ pF}$.

Getirilen mysallardan görnüşi ýaly sygym özgerdijileriniň ulanylýan örän köp dürlidir. Şeýle-de bolsa olar kiçi süýşmeleri ölçemek üçin has giňden ulanylýar. Basyş ýaly süýşme ýeňil özgerdilýän ululyklary ölçemek üçin hem giňden ulanylýar.

2. Sygym özgerdijeleriniň ölçeg zynjyrlary.

Köp özgerdijileriň sygym 10-100 kF bolup durýar we şonuň üçin güýjenme çeşmesiniň otnositel ýokary ýygylgynda hem (10^5 - 10^7 Gs) olaryň çykyş garşylygy ýokary we $X_c=1/(wc)=10^3 \div 10^7$ Om. Sygym özgerdijileriniň çykyş kuwwaty kiçidir, şonuň üçin ölçeg zynjyrlarynda güýçlendirijileri ulanmak zerurlygy ýüze çykýar. Sygym özgerdijileriniň ygtyýar berlen naprýaženiýe çeşmesi ýeterlik ýokarydyr we naprýaženiýe çeşmesi özgerdijileriň mümkinçiligi bilen çäklendirilmeyär, olar ölçeg zynjylaryny ulanmaklygyň şerti bilen çäklendirilýär.

Sygym özgerdijili ölçeg zynjyrlaryny gurnamaklygyň esasy kynçylygy olary daşky täsirlerden goramaklyk bolup durýar. Şeýle maksat üçin özgerdijileriň özlerini we birikdiriji simleri yhlas bilen ekranlaýarlar. Şeýle ýagdaýda simler bilen ekranýň arasynda ($C=50$ pF/m) sygym döremek mümkinçiligi bar. Bu ekran birikdirmeli nokat şowsuz saýlananda sygym özgerdijisi bilen parallel birikdirilen ýagdaýyna geler. Şeýle ýagdaýda özgerdijiniň duýgurlugy pese düşýär, sebäbi sygymyň otnositel üýtgemegi aşakdaky ululyga azalýar

$$n = \Delta C_0 / C_0 - \Delta C_0 / (C_0 + C_{s,3})$$

we sygymyň $C_{s,3}$ durnuksyzlygyny ýüze çykarýan düýpli ýalňyşlyk bolup geçýär. Sebäbi bu sygymyň islendik üýtgemegi iş sygymynyň ΔC_0 üýtgemegi ýaly kabul edilýär. Şonuň üçin sygym özgerdijiler ölçeg zynjyrlary gurnalanda ilki bilen parazit sygym diýlip atlandyrylýanyň birikdirilşine üns berýärler.

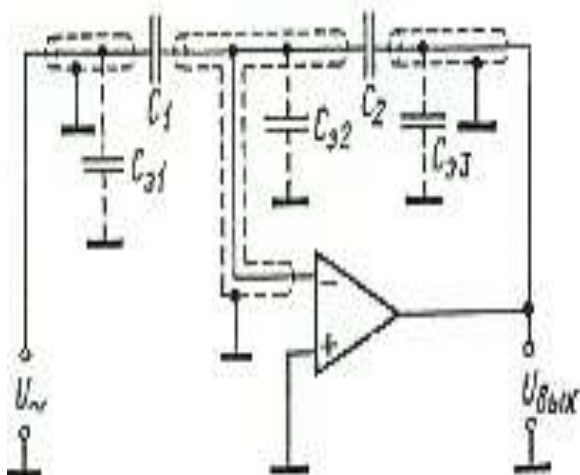
Bulardan başga-da ölçeg ululygyndan ölçeg zynjyrlarynyň çykyş parametrleriniň çyzykly baglylygyna üns bermelidir. Sebäbi sygym özgerdijileri ýokary Om-ly özgerdijiler hasaplanylýar, ölçeg ululyklary bolsa özgerdijiniň garşylygy bilen (zazoryň δ üýtgeýän wagtynda), şeýle-de onuň geçirijiligi bilen (meýdanyň S üýtgän wagtynda ýa-da dielektriki syzyjylykda ε) çyzykly baglansykly bolup biler.

Sygym özgerdijileri bilen işlemek üçin, esasyny aşakdaky gurluşlary düzýän ölçeg zynjyrlary ulanylýar: naprýaženiýe bölüjileri, ölçeg köprüleri, sygym – diod zynjyrlary, rezonans konturlary.

Häzirki zaman ölçeg zynjyrlarynyň düzümine ýygy-ýygydan operasion güýçlendirijiler hem birikdirilýär.

Aşakdaky suratda naprýaženiýe bölüjiler düzgüni boýunça gurnalanan operasion güýçlendirijili ölçeg zynjyrynyň çyzgysy berlen.

Bu ýagdaýda $U_{\text{çyk}} = U \sim C_1 / C_2$



Surat 7-12.

Görşüňiz ýaly şeýle zynjyryň kömegi bilen kondensatoryň obkladkalaryň arasyndaky zazoryň üýtgemegini naprýaženiýä özgertermek amatlydyr.

$$C_2 / U_{\text{çyk}} = U \sim \frac{C_1 \delta_2}{\varepsilon_0 S_2}$$

ýa-da kondensatoryň meýdanynyň üýtgemegi

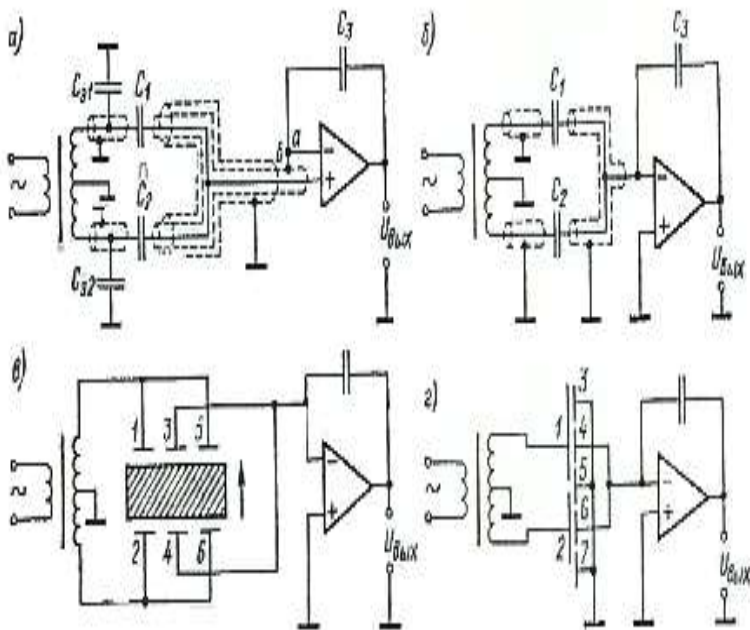
$$C_1 / U_{\text{çyk}} = U \sim \frac{\varepsilon_0 S_1}{\delta_1 C_2}.$$

Iki ýagdaýda-da ölçeg ululygynda çykyş naprýaženiýesiniň baglylygy çyzykly bolar.

Ýokardaky çyzgyda ekranlanan simleriň sygymy C_{e1}, C_{e2}, C_{e3} , ölçeg gurnamalarynyň işine hiç hili täsir etmeýär. Bu aşakdakylar bilen düşündirilýär. Sygymlar C_{e1} we C_{e3} signalyň çëshmesine we pes çykyş garşylykly operasion güýçlendirijilerine parallel birikdirilendir. Sygym C_{e2} bolsa operasion güýçlendirijileriniň çykyşyna parallel birikdirilen we naprýaženiýe onda nula ýakındyr.

Differensial sygym özgerdijilerini ölçeg köprüleriniň zynjyryna birikdirmek amatlydyr. Aşaky suratda induktiw-baglanşykly eginli ölçeg köprüsinden durýan mysaly zynjyr görkezilen.

Eger naprýaženiýe transformatoryň ikinji sarymynyň her ýarymynda $\cup \sim$ deň hasaplasak, onda çykyş naprýaženiýesi



Surat 7-13.

$$\cup_{\zeta yk} = \cup_{\sim} (c_1 - C_2) / (C_1 + C_2) \text{ deňdir.}$$

Transformator bilen datçigi birikdiriji ekranlanan simleriň C_{e1} we C_{e2} sygymlary transformatoryň ýarymsarymyna parallel birikdirilen we hiç bir işi ýerine ýetirmeyärler. Datçik bilen güýçlendirijini birikdiriji ekranlanan simleriň täsirini azltmak üçin ekwipotensial gorag çyzgysy ulanylýar. Bu ýagdaý üçin goşa ekranlanan simleri ulanylýarlar.

Ölçeg köprüsiniň operasion güýçlendirijiniň inwentirleýji girişine birikdirilen mahalynda goşa ekranlamak zerurlygy aradan aýrylýar. (b çyzga seret). Sebäbi güýçlendirijiniň bu girişindäki potensial nula has ýakyn. Onda bu girişe birikdirilen simler bilen ony gurşaýan ekranyň arasyndaky tok hem nula deňdir.

Zynjyr üçin (b çyzgy) $\cup_{\zeta yk} = \cup_{\sim} (C - C_2) / C_3$.

ç)çyzgyda ölçeg köprüsiniň zynjyrlarynda hereketlenýän plastinada sygymly tok alynýan wagtyndaky görkezilen.

Hereketlenmeýän we hereketlenýän plastinalaryň arasyndaky sygymlarynyň indeksini hereketlenmeýän plastinanyň sanyna laýyk edip belgileýäris.

Ölçeg köprüsiniň egnine $C_1 + C_5$ we $C_2 + C_6$ sygymlar girýärler. $C_3 + C_4$ sygymlaryň üstünden köprüniň ölçeg diagonalynyň depesi operasion güýçlendirijiniň çykyşyna birikdirilen. Netijede çykyş naprýaženiýesi $\cup_{\zeta yk}$ aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär

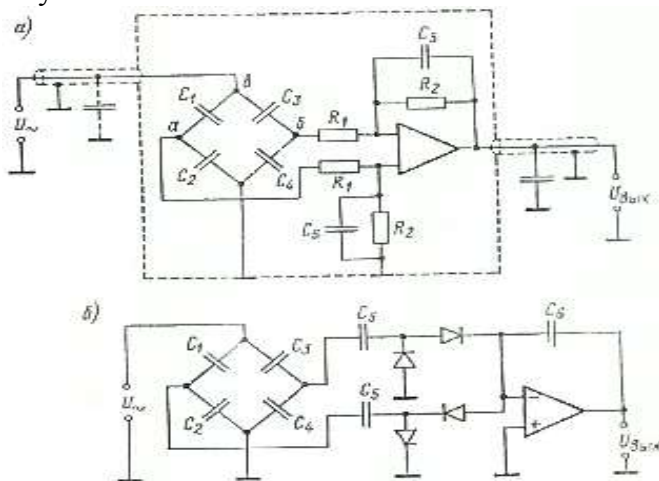
$$\cup_{\zeta yk} = \cup_{\sim} \frac{(C_1 - C_5) - (C_2 + C_6)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6} \cdot \frac{C_3 + C_4}{C_{t.b.}}$$

Peýkamyň görkezýän ugruna plastinany süýşüren wagtymyzda $C_1 + C_5$ sygymlar köpeliýärler, $C_2 + C_6$ sygymlar azalýarlar, tok alma sygymlar $C_3 + C_4$ üýtgeşsiz galýarlar, sebäbi C_3 sygym köpeliýär, C_4 sygym bolsa azalýar.

d) çyzgyda goraýjy elektrodalaryň kömegi bilen sygym özgerdijileriň häsiýetnamalaryny gowulandyrmak görkezilendir. Bu ýerde sygym özgerdijileri 1,4 we 2,6 plastinalardan emele gelen. 3,5,7 plastinalar bolsa goraýjy elektrodlar bolup hyzmat edýär. Sebäbi 4 we 6 plastinalar operasion güýçlendirijiniň inwentirleýji girişine birikdirilen, onda naprýaženiýe olarda nula has ýakyn. Şonuň üçin 1 we 3,4,5 plastinalaryň, şeýle-de 2 we 5, 6,7 plastinalaryň arasyndaky meýdan birmeňzeşdir.

Görkezilen çyzgylaryň umumy kemçilikleri, olar diňe datçikler üçin hödürlenip bilinjegidir. Bularda hemme plastinalary korpusdan izolirlenen bolmagydyr, bu bolsa käwagtlar gurluşynda, ulanmakda kynçylyk döredýär. Plastinalaryň biriniň ýere birikdirilen ýagdaýynda (adatyça umumy hereketlenýän plastina) mümkin boldugyça ölçeg zynjyrynyň elementlerini datçik bilen bir korpusda ýerleşdirmekdir, meselem bu aşakdaky a)çyzgyda görkezilendir.

Onda a we b depä barýan simler ekransyz bolup bilerler, sygym $C_{s.e.}$ simler ç depä barýan tok çeşmesine parallel birikdirilýär.



Surat 7.14.

Elektromagnit özgerdijileriniň iş düzgüni, esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri

1. Elekrtomagnit özgerdijileri magnit meýdanynda ýerleşýän bir ýa-da birnäçe konturdan durýar. Magnit meýdany kontur boýunça akyp geçýän tokdan hem, daşky çeşmeden hem döräp biler.

Birkonturly elektromagnit özgerdijisi konturdan geçýän tok i , akymtirkeşdiriji $\psi = Li$, garşy-elektrik hereketlendiriji güýji $e = -d\psi/dt$, elektromagnit meýdanynyň energiýasy $W_m = \psi i/2 = Li^2/2$, induktiwlik L bilen häsiýetlendirilýär. Birkonturly elektromagnit özgerdijisiniň çykyş ululygy: induktiwlik L , elektromagnit güýji F_{em} we konturda induktilenen elektrik hereketlendiriji güýji I_{ind} .

Induktiwlik.

$$L = \omega^2 (\operatorname{Re} Z_m / z_m^2)$$

bu ýerde ω konturyň sarym sany;

$\operatorname{Re} Z_m$ we z_m -doly magnit garşylygynyň hakyky bölegi we moduly;

$$Z_m = \oint d\mathbf{l}_m / (\mu S_m) l_m \text{ ýol boýunça akymyň gysga}$$

utgaşmagy, S_m – akymyň kese kesigi

μ – akymyň gysga utgaşýan gurşawundaky magnit syzyjylyk.

Konturyň magnit meýdanyna ferromagnit girizilse özgerdijiniň induktiwligi ýokarlanýar.

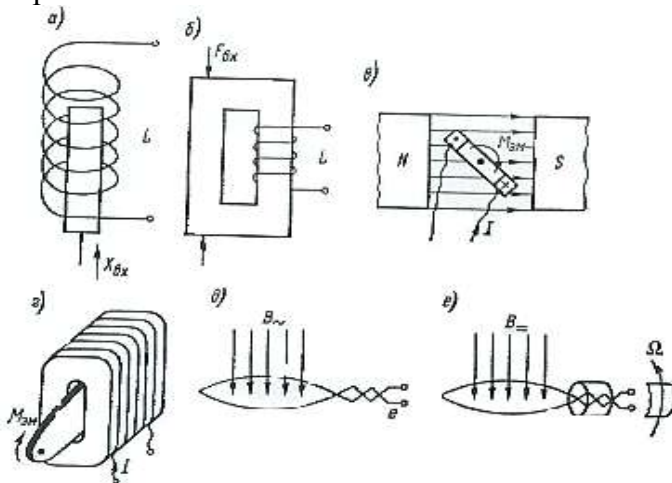
Ferromagnit özenli elektromagnit özgerdijisi aşakdaky suratda görkezilen.

a) Surada elektromagnit özgerdijisiniň özeniniň ýagdaýynyň üýtgemegi bilen onuň induktiwligi hem üýtgeýär. Şeýlelik bilen özgerdijiniň giriş ululygy süýşme bolup durýar. Şeýle özgerdijilere induktiw özgerdijiler diýilýär. Induktiwlighiň üýtgemegi şeýle-de özeniniň magnit syzyjylygynyň üýtgemegi bilen hem bolup geçýär. Ferromagnit materiallaryň magnit syzyjylygy materialyň magnit medanynyň naprýaženiýesiniň ululygyna baglydyr. Şuňa laýyklykda induktiwlik özgerdijiniň

üstünden akyp geçýän toga, hususy magnit meýdanyny dörediji toga we daşky magnit meýdanynyň parametrlerine baglydyr. Iş düzgüni $L = f(B)$ baglanşygy ulanmaklyga esaslanan özgerdijilere magnitomodulyasion özgerdijiler diýilýär. Ferromagnetikleriň görnüşini üýtgetmegi (deformirlenmegi) bilen olaryň magnit syzyjylygy hem üýtgeýär. Bu ýagdaý magnitomaýyşgak diýlip atlandyrylyp, güýji we basyşy ölçemek üçin özgerdijilerde ulanylýar.

2. Magnitomaýyşgak özgerdijiniň iş düzgüni b) suratda görkezilendir.

Daşky magnit meýdanynda ýerleşýän tokly kontura elektromagnit güýji täsir edip, magnit meýdanynyň induksiýasy maksimal bolar ýaly ony ýerinden süýşürmäge ýa-da towlamaga ymtylýar. Bu güýç i toga we B induksiýa proporsionaldyr. Eger konturyň üstünden geçýän togy hemişelik $i = \text{const}$ saklasak, onda elektromagnit güýjüniň ululygy boýunça magnit meýdanynyň B induksiýasyny kesgitlep bolar.



Surat.8.1.

Şeýle özgerdijiler käwagt magnit induksiýasyny ölçemek üçin hem ulanylýar. Eger, hemişelik magnit ulanyp, hemişelik $B = \text{const}$ induksiýaly magnit meýdanyny döretsek, onda

özgerdijini togy güýje we togy ölçemäge özgertmek üçin peýdalanyp bolar. Şeýle özgerdijilere magnitoelektriki özgerdijiler diýilýär we elektromehaniki ölçeg abzallarynyň ölçeg mehanizmlerinde giňden ulanylýar.

Ferromagnit özen, konturyň induktiwligi maksimal bolar ýaly tokly konturyň içine çekilýär (ç surata seret). Bu ýagdaýda elektromagnit güýji iogun inedördüline proporsionaldyr. Bu özgerdijileri elektromehaniki ölçeg abzallarynyň elektromagnit ölçeg mehanizmlerinde ulanýarlar.

Akymtirkeýjiniň üýtgemegi bilen daşky magnit meýdanynda ýerleşýän konturda induktirlenen elektrik hereketlendiriji güýji I_{ind} ýüze çykyar. Daşky magnit meýdany bilen arabaglanşygy bolan özgerdijiler üçin käbir birleşdirilen parametrler K birmenşeş daşky magnit meýdanynyň B induksiýa bilen, akymtirkeýji $\Psi = KB$ we konturdaky induktirlenen elektrik hereketlendiriji güýji

$$I_{ind} = -d\Psi / dt = -(KdB / dt + BdK / dt) \text{ bilen häsiýetlendirilýär.}$$

Hereket etmeýän konturda ($dK/dt=0$) elektrik hereketlendiriji güýji diňe üýtgeýän magnit meýdanynda induktirlenýär.

Özensiz konturda

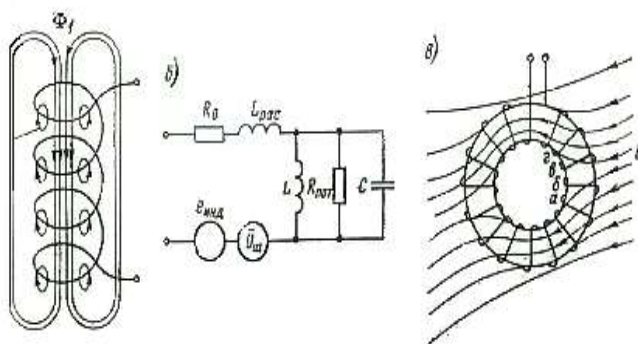
$$B = B_m \sin \omega t \text{ EHG}e = \omega S \omega B_m \cos \omega t \text{ bu ýerde } \omega \text{ -sarym sany;}$$

S-konturyň meýdany.

Hereketsiz tegekden durýan özgerdiji (d surata seret) üýtgeýän magnit induksiýasyny ölçemek üçin ulanyp bilner. Hemişelik magnit meýdanynda elektrik hereketlendiriji güýji diňe hereket edýän konturda induktirlenýär we B induksiýany ölçemek üçin kontura mejbury hereket etdirýärler, meselem hemişelik tizlik bilen towlanma (l suratda görkezilşi ýaly). Şeýle özgerdijileri tersine goýulan meseleleri çözmek üçin hem ulanýarlar-konturyň bize mälum bolan induksiýaly B_N meýdanda hereket edýän mahalynda elektrik hereketlendiriji güýjüniň çykyş tizliginiň bahasy boýunça kesgitleýärler. Çykyş ululyga $EHGI_{ind}$ bolan özgerdijilere induksion özgerdijiler diýilýär.

3. Birkonturly elektromagnit özgerdijisiniň ekwiwalent çyzgysy ω sarymdan durýan tegek görnüşindäki konturly özgerdiji aşakdaky suratda görkrzilen.

Esasy akym Φ_1 tegegiň içine girip onuň sarymlarynyň üstünden geçýär, şeýle-de bolsa akymyň Φ_2 käbir bölegi sarymlaryň üstünden geçmän özaralarynda utgaşýarlar, olara ýaýraýjy akym diýýärler. Şuňa laýyklykda konturyň doly induktiwligi iki düzüjilerden durýar: esasy induktiwlik we $L = \omega^2 / Z_m$ ýaýraýjy induktiwlik $L_{\text{ýaý}} = \omega / Z_m$.



Surat 8.2.

bu ýerde Z_m we Z_m – esasy akymyň we ýaýraýjy akymyň magnit garşylyklary.

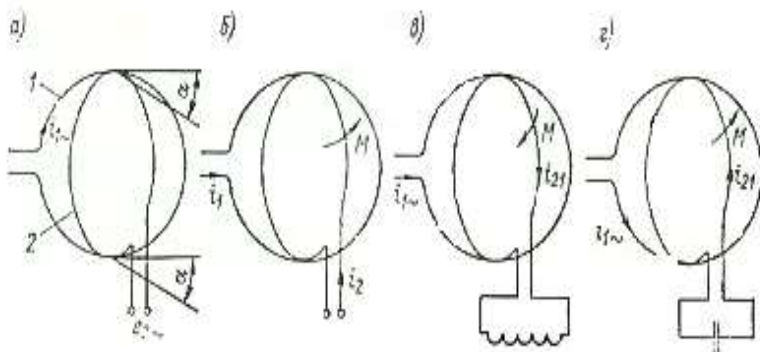
Eger özgerdijiniň magnit akymlyry jemlenýän tegegine ferromagnit özen girizsek, onda umumy akymda ýaýraýjy akym azalýar we gatnaşyk $L/L_{\text{ýaý}}$ köpeliýär.

Emma ferromagnetigiň girizilmegi bilen magnitgeçirijiniň aňa magnitlenmeginde ýygylýa bagly kuwwat ýitgisi ýüze çykýar. Bu ýitgiler L induktiwlik bilen parallel birikdirilen $R_{\text{ýt}}$ hasaba alynýar. Bulardan başga-da ekwiwalent çyzgyda sarymlaryň arasyndaky sygymlyr hasaba alynmalydyr.

10^3 Gs-de 10^4 Gs-e çenli aralykda bir ýere jemlenen sygymlyr görnüşinde hasaba alynýar.

Hemişelik toguň tegeginiň R_0 garşylygyny, esasy induktiwligi L , ýaýraýjy induktiwligi $L_{\text{ýaý}}$, sygymy C we ýitgi garşylygyny

R_{yit} hasaba alýan özgerdijiniň ekwiwalent çyzgysy b çyzgyda görkezilendir. Şeýle-de munda elektromagnit özgerdijiler üçin häsiýetli EHG l_{ind} we $U_{\text{ş}}$ hasaba alnandyr. Daşky magnit meýdanynda ýerleşýän konturda elektrik hereketlendiriji güýji induktirlenýär l_{ind} . Bu EHG-i induksion özgerdijilerde maglumat beriji hem, päsgel beriji hem bolup biler. Päsgel beriji EHG-ni azaltmak üçin özgerdijileri daşky magnit meýdanyndan ekranlaýarlar. Birikdiriji simler goşmaça kontur emele getirmez ýaly edip birikdirýärler. Magnit meýdanlarynda ýerleşýän özgerdijileri mehanik päsgelçiliklerden (sandrama, akustiki täsir ediş) goraýarlar. Bular özgerdijileriň yrgyldyly böleklerini ýüze çykarýarlar we EHG-niň üstünden eltýärler. Päsgelçilikli düzüjileri l_{ind} özgerdijilerde simmetrik tegekleri ulanmak bilen azldyp bolar. Mysal hökmünde ç çyzgyda toroidal özen görnüşli magnit zynjyry görkezilendir. Iki konturly elektromagnit özgerdijileri aşakdaky suratda görkezilendir.



Surat 8.4.

Iki ýa-da birnäçe konturdan durýan özgerdijilere transformatorly ýa-da özara induktiwli atlandyrylýar. Eger 1 konturyň üstünden üýtgeýän tok göýbersek, onda 2 konturda elektrik hereketlendiriji güýji induktirlener. Bu konturlary tekizlikleriniň arasyndaky α burça we bu tekizlikleriň maksimal gabat gelşine baglydyr, (a surata seret). 2 kontur

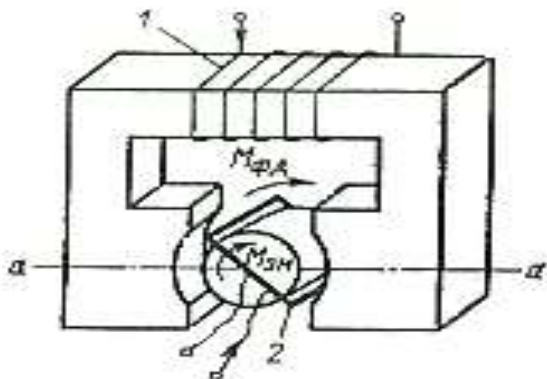
bilen tirkeşýän akym, 1 konturyň üstünden tok geçende aşakdaka deňdir:

$\Psi_2 = M_{12}i_1$; bu ýerde $M_{12} = \omega_1 \omega_2 \operatorname{Re} Z_m / z_m^2$ - konturlary
özara induktiwligi ω_1 we ω_2 - konturlaryň sarym sany

Z_m - konturlaryň arasyndaky utgaşýan akymalaryň ýolundaky
magnit garşylygy.

Konturlaryň üstünden i_1 we i_2 toklary goýberen wagtymyzda olaryň arasynda mehaniki elektromagnit momenti ýüze çykýar. Ol magnit meýdany maksimal bolar ýaly ýagny, konturlaryň tekizlikleri gabat geler ýaly towlamaga ymtylýarlar. Bu ýagdaýda eger toklar i_1 we i_2 üýtgeýän toklar bolsa, onda moment emele getirilende diňe daşky çişmeleri emele getirýän toklar gatnaşman, goňşy konturyň akymyndan her bir konturda emele gelýän i_{12} we i_{21} toklar hem gatnaşýar. Konturda diňe aktiw garşylyk bolanda moment nula deňdir, sebäbi akymdan emele gelen we tokdan emele gelen faza süýşmesiniň arasy 90° deňdir. Eger kontury induktiw ýa-da sygym garşylygy bilen utgaşdyrsak, onda ýüze çykýan moment maksimal bolar we kontur ç) we d) çyzgydaky ýaly öwrülmäge ymtylýar.

Elektromagnit meýdanyny güýçlendirmek we ony belli bir ýere jemlemek, ýagny gönükdirmek üçin ferromagnit magnitgeçirijilerini ulanýarlar. Ferromagnit özenli iki konturly özgerdiji aşakdaky suratda görkezilendir.



Surat 8.5.

Eger 1 tegekden üýtgeýän tok geçse, onda 2 ramkada, onuň aýlaw burçuna bagly elektrik hereketlendiriji güýç emele gelýär we ol ramkanyň tekizligi a-a çyzyklara perpendikulýar bolanda maksimaldyr. Eger 2 ramkanyň hem üstünden tok göýbersek, onda ramka m moment täsir eder we tegegiň magnit meýdany bilen ramkanyň magnit meýdany gabat geler ýaly towlamaga ymtylýar. Gysga utgaşdyrylan ramka hem ramkadan bilen induktirlenmekden ýüze çykan M_{ind} moment täsir eder. Bulardan başga-da tegek bilen ferromagnit magnitgeçirijiniň arasynda elektromagnit güýji ýa-da moment täsir edýär. Bular sarymlardan döredilýän magnit akymlyry maksimal bolar ýaly goýmaga ymtylýarlar.

Elektromagnit meýdanynyň energiýasyny aşakdaky formula boýunça kesgitleýäris

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n i_k \Psi_k .$$

Elektromagnit özgerdijileriniň ulanylýan ýerleri

Iş düzgüni we başlanyş deňlemere laýyklykda elktromagnit özgerdijileri aşakdaky ýaly uly toparlara bölünýärler:

1. Toguň we naprýaženiýäniň masştabyny özgerdijiler (toguň we naprýaženiýäniň ölçeg transformatorlary, naprýaženiýäniň induktiw bölüjileri).
2. Elektrik toguny elektromagnit güýjüne elektromehaniki özgerdijiler. Bu özgerdijiler elektromehaniki ölçeg abzallarynda, ampermetrlerde, woltmetrlerde, wattmetrlerde, ýygylgy ölçejilerde, fazometrlerde ulanylýar.
3. Elektromagnit induksiýasynyň $e = -d\Psi/dt$ kanunyna esaslanan induksion özgerdijiler. Bular hemişelik we magnit meýdanynyň induksiýasyny, şeýle-de tizligi ölçemek üçin ulanylýar.

4. özgerdijileriň aýratyn bölekleriniň ýagdaýynyň üýtgemegine täsir edýän elektriki däl ululyklary ölçemek üçin induktiw we özara induktiw özgerdijiler.
5. Magnitomaýyşgak özgerdijiler, bularda materiýallar mehaniki napryaženiýe sebäpli ferromagnit materiýallaryň magnit syzyjylyga baglylygy ulanylýar. Magnitomaýyşgak özgerdijiler güýji we basyşy ölçemek üçin peýdalanylýar.
6. Magnit zynjyrlarynyň çyzyksyz häsiýetleri ulanylýan magnitomedulýasion özgerdijiler we ş.m.

Induktiv özgerdijileriniň iş düzgüni esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri

Induktiv özgerdijileriň kysymlyry. Aşakdaky a) suratda P ölçeg täsiriniň täsiri astynda üýtgeýän kiçi howa boşlukly $e = -d\P/dt$ has giňden ýaýran özgerdiji görkezilendir. Üýtgeýän ara boşlukly özgerdijiniň iş ýerinden süýşmesi 0.01-10mm-den durýar.

Bu özgerdijilerde senagatda çykarylýan aşkdaky ferrit elemntleri (b çyzgy) peýdalanylýar. Hereketlenýän özeni ýasamak 1 üçin şu elementi 2 esasy ulanýarlar we onuň diwarlary ýylmanlyýar. ç) çyzgyda magnit zynjyry aýrylan özgerdiji görkezilendir. Ol 1 tegekden durýan, onuň içine polat 2 özen ýerleşdirilen. Özeniň ýerinden süýşmegi tegegiň induktiwliginiň üýtgemegine getirýär. Özgerdijileriň bu kysymy özeniň ep-esli ýerinden süýşmesini ölçemek üçin ulanylýar (10-100mm).

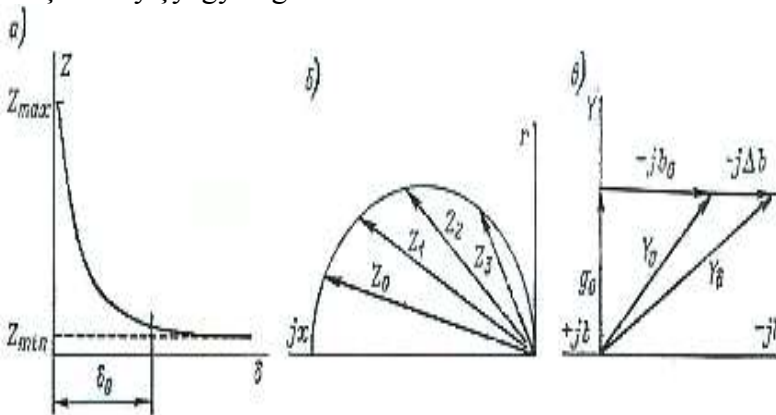
Induktiv özgerdijileriniň esasy artykmaçlyklarynyň biri-de özgerdijiniň uly kuwwat almak mümkinçiligidir (1-5 B.Ae çenli), bu ölçeg zynjyrlarynyň çykyşynda az duýgurlykly görkezijini ulanmaklygy we ölçenilýän üýtgeýän ululyklary öziýazýan bilen hasaba almaklygy ýa-da önünden güýçlendirmezden ossillografyň wibratoryny ulanmaga mümkinçilik berýär. Diňe kiçi göwrümlü özgerdijilerde güýçlendirijileri birikdirmek zerurlygy ýüze çykyar.

Eger hemme syzyjy R_{syz} garşylyklary zazora parallel birikdirilen hasap etsek, induktiiv özgerdijiniň elektrik garşylygy aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$Z = R_0 + j \frac{\omega \omega^2}{R_m + jX_m + R_\delta \parallel R_{syz}} = R_0 + j \frac{\omega \omega^2}{R_m + jX_m + \frac{\delta}{\mu_0 S} \parallel R_{syz}} =$$

$$= \left[R_0 + \frac{\omega \omega^2 X_m}{\sqrt{(R_m + R_\delta \parallel R_{syz})^2 + X_m^2}} \right] + j \frac{\omega \omega^2 \left(R_m + \frac{\delta}{\mu_0 S} \parallel R_{syz} \right)}{\sqrt{(R_m + R_\delta \parallel R_{syz})^2 + X_m^2}}$$

Şu formuladan görnüşi ýaly Z howa zazorynyň δ uzynlygy giperbola ýakyn arabaglanşyklydyr. Zazoryň ulalmagy bilen garşylyk R_0 doly elektrik garşylygy peselýär. Bu aşakdaky çyzgyda görkezilendir.



Surat 8.30.

Tükeniksiz kiçi zazordan $Z_{\max} = [R_0 + j\omega \omega^2 / (R_m + jX_m)]$
tükeniksiz uly zazora çenli $Z_{\min} = [R_0 + j\omega \omega^2 / (R_m + jX_m + R_{syz})]$.

δ Baglangyç zazor bilen özgerdijiniň häsiýetnamasynyň çyzykly bölegi $(0,1 \div 0,15)$ δ_0 deň bolan $\Delta \delta$ bilen çäklendirilen. Garşylygyň $\Delta Z / Z^2$ otnositel üýtgemegi tegegiň aktiw garşylygy, akymyň syzdyryjylygy we

magnitgeçirijiniñ magnit garşylygy $\varepsilon_0 = \Delta\delta / \delta$ zazoryň
 otnositel üýtgemeginden 2-5 esse azdyr. Mundan başga-da
 zazoryň R_δ garşylygynyň üýtgemegi bilen Z garşylygynyň diňe
 reaktiw $X = \omega\omega^2(R_m + R_\delta \| R_{syz}) / Z_m^2$ garşylygynyň üýtgemän,
 eýsem aktiw $R = R_0 + \omega\omega^2 X_m / Z_m^2$ garşylygynyň hem
 üýtgeýändigine üns bermelidiris we wektor garşylygy b)
 çyzgydaky ýaly üýtgeýär.

Çyzykly bölegiň häsiýetnamasyny giňeltmeklige
 aşakdaky ýaly ýetip bolar, ýagny, eger özgerdijiniň çykyş
 ululygy hökmünde Z gartşylygy däl-de, Y geçirijiligi saýlasak
 (eger R garşylygy hasaba almasak) bu zazoryň üýtgemegi bilen
 baglanşyklydyr, ýagny

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{Z_m}{j\omega\omega^2} = \frac{1}{j\omega\omega^2} \left(R_m + jX_m + \frac{\delta}{\mu_0 S} \| R_{syz} \right).$$

Zazoryň otnositel üýtgemegi bilen $\varepsilon_\delta = \Delta\delta / \delta_0$
 geçirijiligiň üýtgemegi

$$\Delta Y = \frac{R_{\delta 0} \varepsilon_\delta}{j\omega\omega^2} \left(\frac{1}{(1 + R_{\delta 0} \| R_{syz}) [1 + (1 + \varepsilon_\delta) (R_{\delta 0} \| R_{syz})]} \right)$$

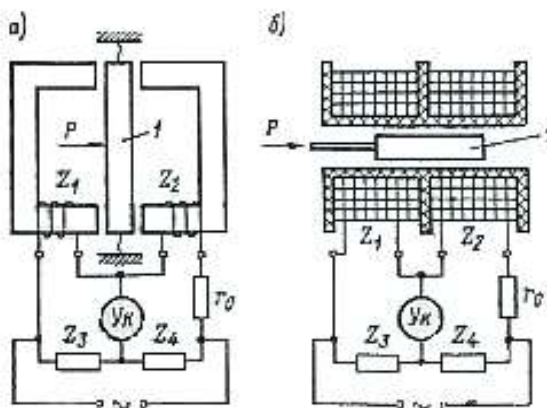
we zazoryň üýtgemegi bilen çyzykly baglanşykly ýaly bolar,
 aýratyn hem R_{syz} / R_δ . Deňlemäni aşakdaky ýaly göz önüne
 getirip bolar .

$$Y = \frac{X_m}{\omega\omega^2} - j \frac{R_m}{\omega\omega^2} - j \frac{R_\delta \| R_{syz}}{\omega\omega^2}.$$

ç) çyzgydaky görnüş durşy ýaly kompleks tekizlikde Δb
 geçirijiligiň artmagy, iýmitlendiriş güýjenmäniň ýygylgyndan
 hem, zazoryň iş ölçeginden hem garaşsyz öz ugruny saklaýan
 wkrora laýyk gelyär (ω üýtgemegi bilen geçirijiligiň iki
 düzüjileri hem birmeňzeş üýtgeýär).

Differensial özgerdijileri ulanmaklyk, häsiýetnamanyň
 çyzykly bölegini ulaltmaklyga we ýalňyşlygy ep-esli
 kiçeltmäge mümkinçilik berýär. Şonuň üçin durmuşda

induktiv özgerdijiler mydama differensial ýasalýarlar. Aşakdaky suratda a) kiçi süýşmeleri ölçmek üçin özgerdijileriň gurluş çyzygysy we b) uly süýşmeleri ölçmek üçin özgerdijileriň gurluş çyzygysy berlendir.



Surat 8.31.

Bu özgerdijileriň ikisinde-de özeniň 1 süýşmegi bilen, ýagny peýkamyň ugruna süýşmegi bilen Z_2 garşylygynyň köpelmegi we Z_1 garşylygynyň azalmagy bolup geçýär.

2. Induktiv özgerdijileriň ölçeg zynjyrlary

Has giňden ýaýran ölçeg zynjyrlary deňagrasyz ölçeg köprüleri bolup durýar, onuň iki egnine differensial özgerdijiniň iki ýarymy birikdirilen (ýokarky surata seret). Ýokarda görkezilşi ýaly ölçenilýän ululyk bilen özgerdijiniň geçirijiligi çyzykly baglanyşyklydyr. Şonuň üçin özgerdijileri tok çeşmesine parallel birikdirmek we ölçeg köprüsini güýjenme çeşmesinden iýmitlendirmek amatly hasaplanylýar. Ölçeg köprüsini deslapky ýagdaýynda deňagramlaşdyrmak, ýagny giriş ululyklary ýok wagtynda (özgerdijiniň iki ýarymynyň garşylyklarynyň takyk deňligini almak tehnologiýasından kyn) iki düzüjiler boýunça geçirilýär, bu Z_3 we Z_4 işsiz

eginleriň garşylyklarynyň üýtgemegi we aktiw garşylygy az bolan egne birikdirilen r_0 garşylygyň üýtgemegidir.

Eger $\Delta\delta=0$ bolanda zynjyr deňagramlaşan, onda $\Delta\delta\neq 0$ bolanda görkezijiniň üstünden $I_{g\ddot{or}}=U\Delta Y$ deň bolan tok akýar.

Bu ýerde ΔY -özgerdijiniň elektrik geçirijiliginiň artmagy.

Tok $I_{g\ddot{or}}$ faza boýunça iýmitleýji güýjenmä otnositel süýşürilen. Burç süýşmesi $\varphi=90^0$, eger $R_{g\ddot{or}}\rightarrow 0$ we $\varphi=0$ $R_{m\ddot{e}}\rightarrow\infty$ bolanda, görkezijiniň garşylygynyň ölçeg köprüsiniň çykyş garşylygy bilen ylalaşan ýagdaýynda, $\varphi=45^0$. Bu ýagdaý ölçeg zynjyrynda fazaduýgurly gurnamalar bar wagtynda hasaba almak zerurdyr.

3. Transformatorly (özarainduktiqli) özgerdijiler

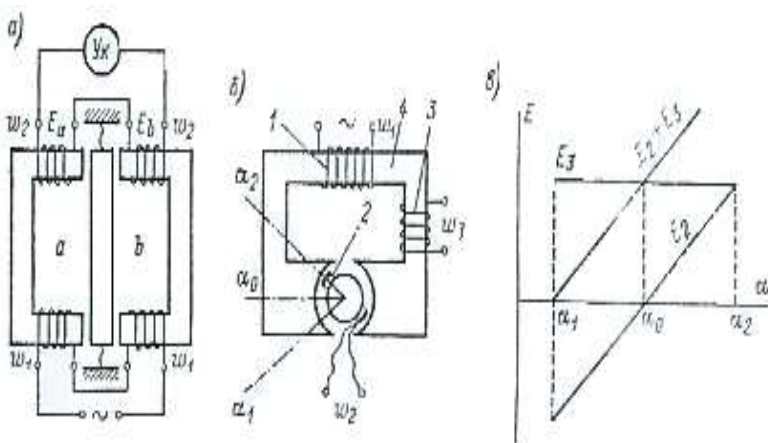
Aşakdaky suratda hereketlenýän özenli differensial transformatorly özgerdijiler görkezilendir.

8.31 a) we 8.32 a) suratlary deňleşdirip görenimizde induktiqli we özarainduktiqli özgerdijileriň magnit zynjyrlarynyň gurluşy birmeňzeş, olar diňe sarymlarynyň sany boýunça tapawutlanýarlar. Özenleri merkezde ýerleşdiren ýagdaýymyzda ikinji tegekleriň elektrik hereketlendiriji güýçleri özara deň we çykyş EHG-iň jemi E_2 nola deň, sebäbi tegekler garşylyklaýyn birikdirilen. Özen ýerinden süýşürilen ýagdaýynda EHG E_2 aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär.

$$E_2 = E_a - E_b = j\omega\omega^2\left(\frac{I_1\omega_1}{Z_{ma}} - \frac{I_1\omega_1}{Z_{mb}}\right) = \frac{j\omega\omega_2\omega_1 I_1}{Z_{ma}Z_{mb}}(Z_{mb} - Z_{ma})$$

$Z_{mb} = Z_m + \Delta Z_m$; $Z_{ma} = Z_m - \Delta Z_m$ hasaplap bu aňlatmany ýönekeýleşdirip bolar.

$$E_2 = 2j\omega\frac{\omega_2\omega_1}{Z_m}\frac{\Delta Z_m}{Z_m}$$



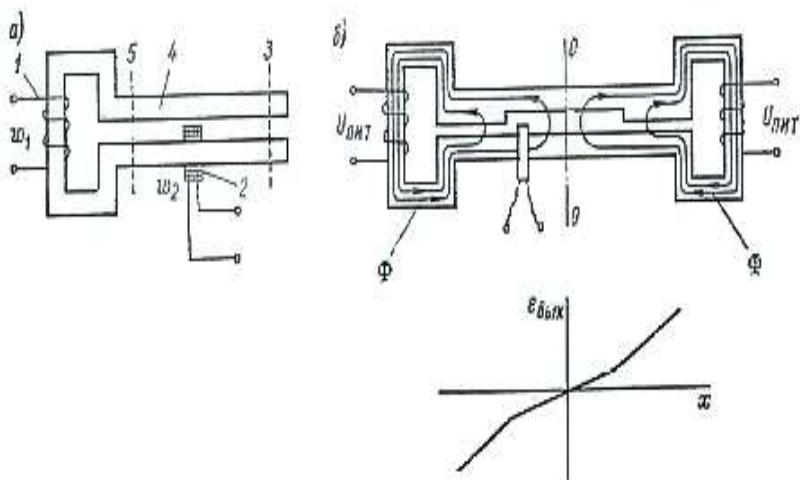
2

Surat 8.32.

b) çyzgyda özgerdijiniň öwrüm burçy görkezilendir. Naprýaženiýe 1 tegege berilýär. Bu ýerde özgerdijiniň 2 tegegi ramka görnüşinde ýerine ýetirilen, onuň magnit zynjyrynyň 4 halka zazorynda aýlanmak mümkinçiligi bar. Ramkanyň çetki ýagdaýynda (α_1 we α_2) ondaky induktirlenen elektrik hereketlendiriji güýji E_2 maksimal ähmiýete eýedir. Ramka aýlanyşyna görä gorizontaý ýagdaýa ýetende elektrik hereketlendiriji güýç E_2 çyzykly nola çenli peselýär. (ç çyzga seret). Ramka gorizontaý ýagdaýyň üstünden geçen ýagdaýynda fazanyň elektrik hereketlendiriji güýji E_2 180° üýtgeýär. Haçanda ramkanyň bir çetki α_1 ýagdaýdan beýleki bir çetki α_2 ýagdaýa aýlanmagy bilen özgerdijiniň EHG-niň üýtgemegini almak üçin ramka bilen yzygiderli goşmaça 3 tegek birikdirýärler. Şeýle kysymly özgerdijileri uly burç süýşmelerini ölçemek üçin ulanyp bolar we gurluşyna görä bu maksat üçin ferrodinamik abzallaryň ölçeg mehanizmlerini ulanyp bolar. Şonuň üçin bu özgerdijileriň özi käwagtlar ferrodinamik özgerdijiler diýlip atlandyrylýar.

Aşakdaky suratda uly çyzykly süýşmeleri ölçemek üçin niýetlenen bölüşdirilen magnit parametrli özgerdiji görkezilendir.

Ol özgerdiji iki parallel zolak görnüşli iş bölekleri 4 magnitgeçirijiden, 1 oýandyryş tegekden we hereketlenýän 2 tegekden durýar. Tegek 2 üçünji ýagdaýdan başynji ýagdaýa süýşürilende 2 tegekde induktirlenen elektrik hereketlendiriji güýji ýokarlanýar, özem 2 tegegiň süýşmegi bilen EHG-niň artmagy çyzykly bolar, eger 3-5 bölekde magnitgeçirijiniň magnit garşylygy zazoryň magnit garşylygy bilen deňeşdireniňde azdyr. Şeýle kysymly özgerdijileri ýasamak otnositel ýönekeý we gerek bolan funksional baglanşykly bolmagy üçin profilirlenen magnitgeçirijileri ulanmak ýeterlikdir. (b çyzga seret). Bu özgerdijileriň hereketlenmeýän tegekleri, olaryň magnitgeçirijidäki akymlyary bir-birine garşylyklaýyn ugrukdyrylar ýaly birikdirilendir. Onda o-o ýagdaýynda hereketlenýän tegekleriň elektrik hereketlendiriji güýji nola deň bolar. Tegekler saga ýa-da çepeden süýşürilende, olarda EHG-i ýüze çykýar. Olaryň fazasy 180° tapawutlanýar.



Surat 8.33.

Hereketlenýän tegekli transformatorly özgerdijilerde özeniň süýşmegi bilen ilkinji zynjyryň I_1 togy we birinji tegegiň magnit hereketlendiriji güýji üýtgeşsiz galar ýaly

düzgün bilen üpjün etmek zerurdyr. Munuň üçin ýekegat özgerdijileriň ilkinji zynjyryna ýokaryomly goşmaça rezistor birikdirmek, differensial özgerdijilerde bolsa garşylyklary ters belgi bilen üýtgeýän birinji tegekleri yzygiderli birikdirmek zerurdyr.

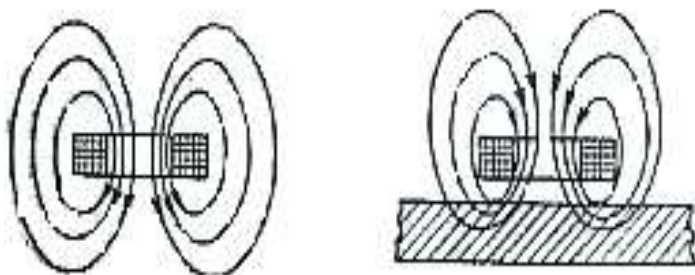
Köwlenme tokly induktiw özgerdijiler

Köwlenme tokly özgerdijileriň iş düzgüni, geçiriji jisim ýakynlaşan wagtynda tegekleriň induktiwliginiň we özara induktiwliginiň üýtgemegine esaslanandyr. Ýokarda aýdylyşy ýaly elektromagnit tolkunlarynyň materialyň içine çuň ornaşmagy aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär

$$Z_{0,05} = \sqrt{2/(\omega\mu\gamma)}.$$

Pes ýygylýkda (50Gs) mis we alýuminiý üçin $Z_{0,05}$ 10mm-e golaý bolýar, ýokary ýygylýkda bolsa (500 kGs) çuň ornaşmagy 0,1 mm-e çenli peselýär.

Aşakdaky suratda geçiriji plastinanyň golaýlamagy bien tegegiň magnit meýdanynyň nähili ýoýulýandygy görkezilýär.



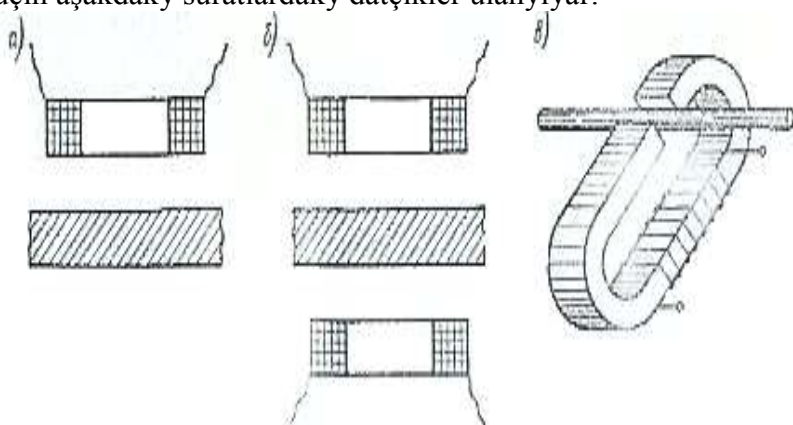
Surat 8.35.

Üýtgeýän tokly sarymyň golaýyna geçiriji jisimiň getirilmegi onuň başlangyç meýdanyny we sarymyň elektriki

parametrlerini üýtgedýär, ýagny onuň aktiw we reaktiw garşylyklary üýtgeýän geçiriji meýdanda ýitginiň köpelmegi zerarly sarymyň aktiw garşylygy köpeliýär, induktiw garşylygy bolsa azalýar.

$R_{iç}$ we $X_{iç}$ garşylyklaryň bahasy tok çeşmesiniň hemişelik ýygylýgyna we tegegiň geometriki ölçegine baglydyr, şeýle-de plastinalaryň galyňlygy $d=2Z_{0,05}$ -den uly bolmadyk ýagdaýynda plastinanyň galyňlygyna we tegekdən plastina çenli aralykdaky elektrik geçirijiligi baglydyr.

Köwlenme tokly özgerdijiler ýuka plastinalaryň çyzykly ölçeglerini kontaktsyz gözegçilikde saklamak üçin, örtükleriň galyňlygyny we üstleriň çyzygyny hem-de jaýrygyny ýüze çykarmak üçin peýdalanylýar. Şu maksatlar üçin aşakdaky suratlardaky datçikler ulanylýar:



Surat 8.37.

a)üst-üstüne goýulýan datçik; b)ekranyň datçigi; c)deşikli datçik.

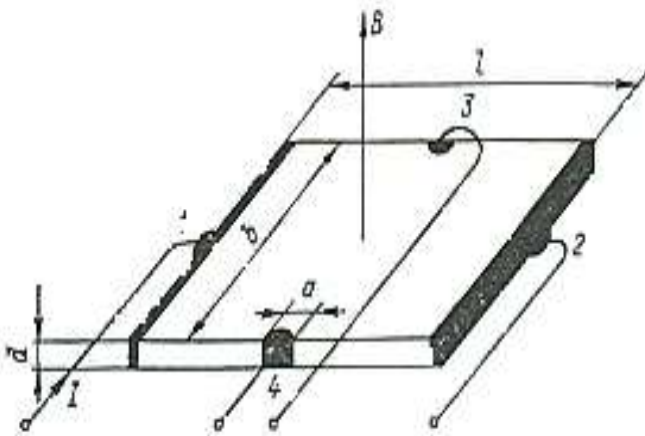
Galwanomagnit özgerdijiler. Hollyň özgerdijileri. Magnitorezistiw özgerdijiler

1. Galwanomagnit özgerdijileri, magnit meýdanynda ýerleşen gaty jisimlerde zarýadlanan bölejikleriň hereket etmegi netijesinde ýüze çykýan fiziki täsirlere esaslanandyr. Ölçeg özgerdijileri hökmünde Hollyň we Ganssyň effektlerini ulanmaklyga esaslanan ýarymgeçiriji galwanomagnit özgerdijileri durmuşda giňden ulanylýar. Hollyň effekti plastinanyň gapdal gyraňlarynda potenciallaryň (Hollyň EHG-i) kese tapawudynyň ýüze çykmagyna esaslanandyr. Gaussyň effekti bolsa ýa-da magnitorezistiwli effekt plastinanyň elektrik garşylygynyň üýtgemeginde ýüze çykýar. Bu effektleriň ikisi hem magnit meýdanynda zarýadlanan bölejikleriň hereketiniň traýektoríasynyň üýtgemegi bilen şertlenendir. Ikisi hem bir wagtda ýüze çykýar we olaryň her biri beýlekisiniň gowşamaga getirýänligi bilen baglanşyklydyr. Materialyň düzümini we amatly gurluşyny saýlap almak bilen bir effekti güýçlendirip, beýlekisini gowşadyp Hollyň özgerdijilerini ýa-da magnitorezistiw özgerdijileri döredýärler.

2. Hollyň özgerdijileri ýarymgeçiriji materialdan bolan ýuka plastinka ýa-da plýonka görnüşindäki dört polýusnikden ýerine ýetirilýär. 1 we 2 tok elektrodлары guranlaryň kese ininiň ähli ýeri boýunça ýerine ýetirilýär we bu özgerdijiniň kesigi boýunça giriş togunyň deň ýaýramagyny üpjün edýär.

Potensial 3 we 4 elektrodлар (Hollyň elektrodлары) gyranlaryň uzaboýuna merkezi böleginde ýerleşen.

Magnit meýdanynda zarýad äkidijiler Lorensiň güýjüniň $F = e \beta$ täsiri astynda özüniň traýektoríasyny üýtgedýärler, munuň netijesinde gapdal gyraňlaryň birinde bir belgili zarýadlaryň konsentrasiýasy köpeliýär, şol bir wagtda garşylykly gyraňlarda –azalýar. Bu ýagdaýda ýüze çykan potenciallaryň tapawudy (Hollyň EHG-i) aşakdaky deňleme boýunça aňladylýar.



Surat 9.1.

$$E_{HI} = R_{HI} \varphi (K_{geom} O) IB \cos \alpha / d \quad (1)$$

Bu ýerde R_{HI} – özgerdijiniň materialynyň häsiýetine bagly Hollyň hemişeligi;

$\varphi(K_{geom} O)$ – özgerdijiniň geometriýasyna bagly funksiýa we Hollyň burçy O atlandyrylýan toguň dykzlygynyň wektory bilen onuň elektrik meýdanyny ýüze çykarýan burçy.

Ol zarýad äkidijileriň hereketi we magnit induksiýasynyň ähmiýetidir.

$$l/b=2 \text{ we } d/l \leq 0.1 \text{ bolanda funksiýa } \varphi \approx 1$$

α – magnit induksiýasynyň wektory bilen özgerdijiniň magnit okunyň arasyndaky burç.

Aýratyn hem Hollyň effekti germaniýde (Ge) kremniýde (Si) we periodik sistemanyň III we V toparynyň elementlerinden durýan ýarymgeçirijilerde güýçli ýüze çykýar. Hollyň hemişeligi üçin ýarymgeçiriji materiallarda $10^{-2} - 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{A.s})$ şol bir wagtda arassa metallar üçin, meselem mis üçin $R_{HI} = 6 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{A.s})$.

Hollyň kristalliki özgerdijileri ýuka plastina ($d = 0,01 \div 0,2mm$) görnüşinde ýerine ýetirilýär, olar monokristallardan kesilip alynýar we gerek bolan ýagynlyga çenli ýylmanylyrlar. Çykyş uýy gapdal gyraňlara kebşirmek ýoly bilen berkidilýär. Plastinalar radiotekniki slyndadan, ultrafarfordan ýa-da sitaldan bolan düşek ýelmenilýär.

Aýna düşekde ýuka ýarymkristal plýonkadan In As we In Sb ýasalan we ýazymizolirleýji arsenid galliýniň düşeginde geteroepitaksial gurluş esasynda InSb we GaAs ýasalan Hollyň özgerdijileri özleriniň gowy metrologik häsiýetnamalary bilen tapawutlanýarlar. Özgerdijiniň duýgurlyk elementi fotolitografiýa usuly bilen ýuka plýonka (5-10 mkm) görnüşinde ýerine ýetirilýär. Şeýle özgerdijileri duýgurlyk zalogy ($0.2 \times 0.05mm$ we kiçi) kiçi meýdanly çylşyrymly görnüşde ýerine ýetirip bolar.

Hollyň özgerdijisiniň çykyş ululygy (1) aňlatmadan görnüşi ýaly iki giriş ululygynyň köpeldilmegine, ýagny maka we magnit induksiýasyna proporsionaldyr. Şeýlelik bilen Hollyň özgerdijisi köpeldiji özgerdiji bolup durýar. Wagt boýunça hemişelikde I we B Hollyň EHG-i hemişelik ululyk bolup durýar. Eger giriş ululyklarynyň biri (I ýa-da B) hemişelik, beýlekisi üýtgeýän bolsa, onda Hollyň EHG-i hem giriş ululygynyň ýygylgy ýaly ýygylgy bilen üýtgeýän bolar. Eger iki giriş ululygy hem şol bir ýygylgy eýe bolsalar we faza boýunça φ burçuna süýşürilen bolsa, Hollyň EHG-i iki, hemişelik we üýtgeýän ýygylyklardan durýar.

$$E_{HI} = \frac{R_{HI}}{d} BI \cos \varphi + \frac{R_{HI}}{d} BI \cos(2\omega t + \varphi)$$

Eger tok ω_1 ýygylgy bilen, magnit induksiýasy bolsa ω_2 ýygylgy bilen üýtgeýän bolsa, Hollyň EHG-i iki düzüjilerden durýar: olaryň biri $\omega_1 - \omega_2$ ýygylkly, beýlekisi bolsa $\omega_1 + \omega_2$ ýygylgy eýedir.

Hollyň özgerdijisiniň giriş R_{gir} garşylygy toguň elektrodларыnyň arasyndaky garşylyk ýaly kesgitlenilýär, çykyş garşylygy $R_{çyk}$ bolsa Hollyň elektrodларыnyň arasyndaky garşylygy deňdir.

Hollyň özgerdijisiniň galwanomagnit duýgurlygy $\alpha = 0$ bolanda aşakdaky aňlatma bilen kesgitlenilýär:

$S_{BI} = E_{HI} / (BI) = R_{HI} \varphi(K_{geom}, O) / d$ we dürli kysymly özgerdijiler üçin **0,3-10 W/(A·Tl)** durýar.

Magnit induksiýasyna duýgurlygy S_B giriş togunyň nominal bahasynda $I_{nom} = \text{const}$, $S_B = R_{HI} I_{nom} \varphi / d$ bilen kesgitlenilýär we yzygiderli çykarylýan özgerdijiler üçin 0,03-1 w/Tl.

Toga bolan duýgurlygy magnit induksiýasynyň hemişelik bahasy $\beta = \text{const}$, $S_I = R_{HI} \beta \varphi / d$. Induksiýa **B=1 Tl** bolanda toga bolan duýgurlygy dürli kysymly özgerdijiler üçin **0,3-50 w/A**.

Hollyň özgerdijisiniň galyndy naprýaženiýesi diýlip, magnit meýdany ýok wagtynda, özgerdijiniň üstünden tok geçen mahalynda Hollyň elektrodларыň arasynda ýüze çykýan naprýaženiýä aýdylýar. Galyndy naprýaženiýäniň ýüze çykmagyna ilkinji nobatda Hollyň elektrodларыnyň plastinanyň ekwipotensial nokadynda ýerleşmeýänligi sebäb bolýar.

Hollyň özgerdijileriniň dinamik häsiýetnamalary.

Hollyň elektrik hereketlendiriji güýjüniň wagtyny kesgitlemek relaksasiýa wagty $\tau = \varepsilon / \gamma$ bilen häsiýetlendirilýär. Bu ýerde ε -dielektriki syzyjylyk; γ -özgerdijiniň materialynyň udel geçirijiligi. Adatça ulanylýan materiallar üçin $\tau = 10^{-11} \div 10^{-13} s$, şonuň üçin Hollyň hemişeligi 10^{11} Gs ýygylga çenli ýygylk-garaşsyzdyr. Hollyň özgerdijileriniň elektrodларыnyň arasyndaky sygym birlik pikofaradlary düzýär, şonuň üçin olaryň täsiri on, ýüz megagerse çenli duýulmaýar.

Hollyň özgerdijileriniň dinamik häsiýetleri göniden-göni örän uly ýygylýkly üýtgeýän magnit meýdanynda induksiýany ölçemek üçin ulanmaga ýaramly ýaly görünýär, emma üýtgeýän magnit meýdanynda birnäçe çäklendirmeler ýüze çykýar. Üýtgeýän magnit meýdanynda özgerdijiniň çykyş zynjyrynda, üýtgeýän magnit meýdanynda induktirlenen goşmaça EHG-i ýüze çykýar. $l_{ind} = \omega \beta_{ms} \cos \omega t$;
 bu ýerde ω -ýygylýk; B_m - induksiýanyň amplitudasy ;
 s- üstünden magnit akymy geçýän konturyň meýdany.

Induktirlenen EHG-i Hollyň EHG-ine garanda 90° süýşürilen. Induktirlenen EHG-ini azaltmaklyk özgerdijiniň çykyşlaryny amatly ýerleşdirmek we goşmaça öwezini dolujy tegekleri birikdirmek arkaly ýerine ýetirilýär. Bulardan başga-da üýtgeýän magnit meýdanyndan ýygylýgy has uly bolan üýtgeýän tok çeşmesinden özgerdijileri iýmitlendirmek we çykyş naprýaženiýesini güýçlendirmek üçin inçe zolakly güýçlendirijileri ulanmak arkaly hem mümkindir. Hollyň özgerdijisini hemişelik tok çeşmesine birikdirmek we ony induksiýasy 0,5 Tl çenli 1,5 MGs ýygylýkly üýtgeýän magnit meýdanynda ýerleşdiren mahalymyzda Hollyň EHG-iniň ýygylýga bolan baglanyşygy aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolýar.

$$E_{HI} = R_{HI} B I \sqrt{1 + (\omega \mu \gamma b^2)^2 / 48} e^{j(\omega t + \varphi) / d}$$

bu ýerde γ -özgerdijiniň materialynyň elektriki geçirijiligi;
 μ -özgerdijiniň daşky gurşawynyň magnit
 syzdyryjylygy.

φ - $\arctg \omega \mu \gamma b^2 / 8$ -faza süýşmesi.

Görnüş i ýaly Hollyň **EHG**-iniň häsiýetnamasy **b** özgerdijiniň inine güýçli baglydyr.

Hollyň özgerdijileri hemişelik, üýtgeýän we impulsly magnit meýdanynyň parametrlerini ölçemek üçin we

ferromagnet materiallaryň häsiýetnamalary kesgitlemek üçin giňden ulanylýar.

3. Magnitorezistiw özgerdijiler.

Iki belgili zarýadlary geçiriji kanalyň garşylygy aşakdaky aňlatma boýunça kesgitlenilýär.

$$R = l / [Se(nU_n + pU_0)]$$

bu ýerde e-elektronlaryň zarýady;

n- elektronlaryň ortaça konsetrasiýasy;

U_n - elektronlaryň (anionlaryň) süýşýänligi;

l- kanalyň uzynlygy;

S- geçiriji kanalyň kesigi;

Kanala magnet meýdanynyň täsir etmegi netijesinde, ýagny zarýad geçirijileriniň süýşmesini üýtgemegi, olaryň ortaça konsetrasiýasynyň we geçiriji kanalyň ölçeg gatnaşyklarynyň üýtgemegi netijesinde onuň elektrik garşylygy üýtgeýär. Magnitorezistiw effekti arassa metallarda, ýarymgeçirijilerde we şeýle-de elektrolitlerde görüp bolar.

Magnorezistiw özgerdijilere magnitorezistorlar, magnitodiodlar, bipolar magnitorezistorlar, galwanomagniterekombinasion özgerdijiler we meýdan magnitotriodlar girýär.

Häzirki wagtda ölçeg serişdelerni döretmek üçin magnitorezistorlar we galwanomagniterekombinasion özgerdijiler giňden ulanylýar. Magnitodiodlar kontaktsyz üýtgeýän rezistorlar hökmünde ulanylýar. Magnorezistiw özgerdijileriniň beýleki kysymlary heniz ösüş ýolunda.

Magnitorezistorlar.

Magnitorezistorlar galwanomagnet özgerdijiler bolup, olaryň garşylyklarynyň üýtgemegi süýşýän zarýad geçirijileriň üýtgemegine şertlenendir. Magnet meýdanynyň täsiri astynda

zarýad ýöredijileriň traýektoríýasy gyşarýar, munuň netijesinde olaryň elektrik meýdanyna tarap edýän hereket tizligi peselýär. Magnitorezistorlar özgerdijisiniň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýedir.

$$R_B = R_{B=0} [1 + A|uB/m|]$$

bu ýerde: **u** - zarýaf ýöredijileriniň süýşmesi;

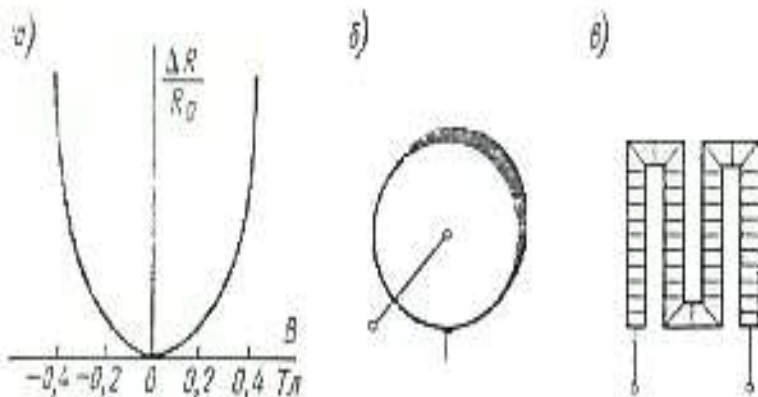
R_{B=0} – B=0 bolanda özgerdijiniň garşylygy;

A- özgerdijiniň görnüşü we materialynyň häsiýetine bagly magnitorezistiw koeffisiýent.

m- gowşak magnit meýdanynda **2** deň ($\beta \leq 0,2 \div 0,5 Tl$) dereje görkeziji.

Aşakdaky a) suratdan görnüşü ýaly magnitorezistor özgerdijileriniň funksiýasy sübüt bolýar. şonuň üçin islendik polýarly hemişelik magnit meýdanynda hem, üýtgeýän magnit meýdanynda hem olaryň garşylyklary köpelýär. Şu bahadaky magnit induksiýasynda garşylygy maksimum artmagy bilen magnit induksiýasynyň wektory bilen magnitorezistoryň ugrukdyrylan okunyň arasyndaky burç **0** ýa-da **180°** deňdir.

Ilkinji magnitorezistor wismutdan ýasalýar.



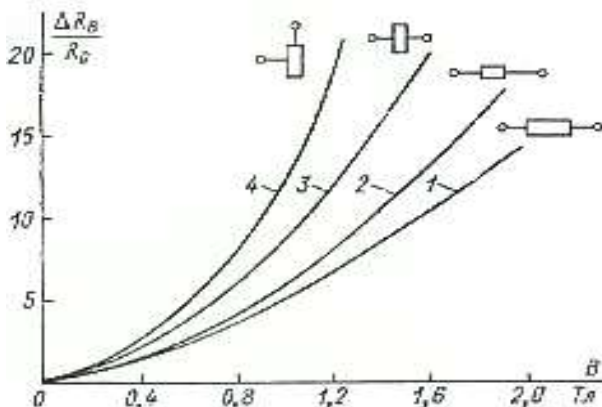
Surat 9.6.

Häzirki wagtda magnitorezistorlar ýarymgeçiriji materiallardan ýasalýar.

Magnitorezistorlaryň esasy metrologiki häsiýetnamasy ilkinji R_0 garşylyk bolup durýar. Magnitorezistiwi duýgurlyk $S_B = dR/dB$. Adatça magnitorezistiwi özgerdijileriň häsiýetnamalary üçin aşakdaky baglanşygy ulanýarlar.

$$\Delta R_B / R_0 = F(B) \quad \text{bu ýerde} \quad \Delta R_B = R_B - R_0$$

Aşakdaky suratda dört sany magnitorezistorlar üçin baglanşyklar maşgalasy görkezilendir.



Surat 9.7.

Bular rezistoryň uzynlygyň meýdanynyň kese kesigine bolan gatnaşygy bilen tapawutlanýarlar.

Elektrohimik özgerdijiler.

Elektrohimik özgerdijileriň umumy esaslary.

1. Umumy ýagdaýda elektrohimik özgerdiji, ölçeg zynjyryna birikdirilen, iki ýa-da birnäçe elektrodlardan bolan elektrodlar ulgamyndan we elektrolitden doldyrylan ýaçeýkadan durýar.

Elektrolitik ýaçeýka elektrik zynjyrynyň elementi hökmünde EHG-I, tok geçmeginde naprýaženiýäniň pese

düşmegi, elektrik zarýady, garşylygy, sygymy, induktiwligi bilen häsiýetlendirip bolar. Şu sanalan parametrleriň biri bilen ölçeg ululygynyň arasyndaky baglanşygy alyp we beýleki parametrleriň täsirlerini aradan aýryp, aşakdaky ululyklary, ýagny, maddalaryň konsentrasiýasynyň düzümini, elektrigiň mukdaryny, wagty, basyşy, süýşmäni, tizligi, tizlenmäni we beýleki fiziki ululyklary ölçemek üçin elektrohimiýa özgerdijileri döretmek mümkindir.

Ýaçaýkanyň elektrik parametrleri elektrolitiň düzümine we tebigatyna we elektrodarda, ýaçaýkadaky himik özgerişlere, temperatura, garyndynyň süýşme tizligine we beýleki ululyklara baglydyr. Bu ululyklar bilen elektrohimiýa özgerdijileriň elektrik parametrlerini arasyndaky baglanşyk elektrohimiýa kanunlary bilen kesgitlenilýär.

Duzlar, kislotalar we esaslar suwda eredilende we başga-da birnäçe eredijilerde (spirt, etilenglikol, dimetilformawid we ş.m.) dissosiasiýa, ýagny molekulalaryň položitel ionlara (kationlar) we otrisatel ionlara (anionlar) dargamagy bolup geçýär. Şeýle elektrik geçiriji erginler elektrolitler ýa-da ikinji derejeli geçirijiler diýip atlandyrylýar. Şeýle-de elektrolitlere köp gaty jisimler we eredilen duzlar girýär.

–55-den +75°C-a çenli temperaturada uly geçirijilige eýe bolýan gaty elektrolitler işlenip düzüldi.

2. Elektrolitleriň geçirijiliginiň temperatura baglylygy.

Ionlaryň süýşmesi erginiň temperaturasyna güýçli baglydyr we şonuň üçin temperaturanyň köpelmegi bilen geçirijilik ýokarlanýar. Suw garyndyly erginleriň uly bolmadyk konsentrasiýasynyň temperatura bagly geçirijiligini aşakdaky ýaly kesgitlep bolar.

$$\gamma_{\theta} = \gamma_{\theta} [1 + (\bar{O} - \bar{O}_0) \beta]$$

3. Ölçeg transformatorlary.

Ölçeg transformatorlary iki topara: toguň transformatorlaryna we naprýaženiýe transformatorlaryna bölünýärler. Olar uly üýtgeýän toklary we naprýaženiýeleri kiçi toklara we naprýaženiýeleri kiçi toklara we naprýaženiýelere özgerdijiler bolup hyzmat edýärler. Ölçeg transformatorlarynyň üsti bilen ölçeg abzallarynyň ölçeýiş çäklerini giňeldip bolýar. Ölçeg transformatorlary ýokary woltly zynjyrlarda ulanylýar. Ölçeg transformatorlaryny ulanmak bilen işleýän işgärlere howpsuz şertler döredilýär.

Ölçeg transformatorlary ferromagnit özende oturdylan iki sany sarymly tegekdən durýar. Tegekdäki sarymlar berlen toguň ululygyna baglydyr. Birinji tegegiň sarym sany w_1 , ikinji tegegiň sarym sany w_2 , belgilenýär. Transformator sim sargyly (kahalatlarda ondan hem köp) iki sany tegek geýdirilen ýapyk polat özenden ybaratdyr. Sargylaryň biri (birinji sargy diýilýäni) üýtgeýän naprýaženiýäniň çesmesine birikdirilýär “ýük”, ýagny elektrik energiýasyny ulanýan abzallaryň we gurluşlaryň birikdirilýän sargysyna ikinji sargy diýilýär.

Üýtgeýän togy özgertmeklik, ýagny kuwwatyny ýitgä sezewar etmän naprýaženiýesini bir näçe esse ulaltmak ýa-da kiçeltmek transformatorlaryň kömegi bilen amala aşyrylýar.

Transformatorlaryň işleýşi elektromagnit induksiýa hadysasyna esaslanandyr. Birinji sargydan üýtgeýän elektrik togy geçende, özende üýtgeýän magnit akymy döreýär, ol akym bolsa sargylaryň hersinde induksiýany elektrik hereketlendiriji güýjüni emele getirýär. Transformatoryň polatyndan bolan özeniň magnit meýdanyny özünde konsentrirleýändigigi üçin magnit akymy tejribe taýdan diňe özeniň içinde bolýar we onuň hemme kesiginde birmeňzeşdir.

Transformatoryň sargylarynyň aktiw garşylygy adaty kiçidir we onuň hemme kesiginde birmeňzeşdir.

Ölçeg transformatorlaryň ikinji sargysyna ölçeg abzallary birikdirilýär. Bu ölçeg abzallaryň hususy garşylyklary az bolmalydyr. Abzalyň doly garşylygy $Z = R + jX$ we birikdiriji simler toguň transformatorynyň doly ýüki bolup hyzmat edýär.

Toguň transformatorlarynda birinji sarga gelýän **I₁** tok ikinji sargydaky **I₂** tokdan örän köpdür, şonuň üçin olardaky sargylaryň sarym sany $\varpi_1 < \varpi_2$.

Toguň transformatorynyň birinji sargylarynyň simleri ýogyn simlerden ýasalýar. Olara göýberilýän tok **0,8-den 40 000 A**-e çenli bolanda, ikinji sargydan çykýan toklar **1; 2; 2,5; 5 A** bolup, bu sargydaky simler inçe bolýarlar.

Napryáženiýe transformatorlarynda birinji sargydaky napryáženiýäniň ähmiýeti **U₁** ikinji sarymdaky **U₂** napryáženiýeden örän ýokarydyr, şonuň üçin hem $\varpi_1 > \varpi_2$.

Napryáženiýe transformatorlarynyň sarymlary inçe simlerden ýasalyp, ikinji sargylaryň napryáženiýesi **100** we $100/\sqrt{3}$ woltdan düzýär.

Ölçeg zynjyrlaryna birikdiriş çyzygylary we ulanylýan şertlerine görä toguň transformatorlary we güýjenme transformatorlary özara tapawutlanýarlar.

Toguň transformatorlarynyň birinji sargysy ölçeg zynjyryna yzygiderli birikdirilýär, ikinji sargylarynyň uçlaryna bolsa yzygiderli ampermetri, wattmetrleriň yzygider sargylaryny, hasaplaýyş ölçeg abzallaryny we beýleki ölçeg abzallaryny birikdirýärler.

Ikinji tegege birikdirilen ölçeg abzalynyň görkezijileri boýunça ölçeg ululyklarynyň bahasyny kesgitleýäris. Ýöne munuň üçin ölçeg netijesini toguň transformatorynyň koeffisiýentine köpeltmek hökmandyr.

Toguň transformatorynyň koeffisiýenti

$$K_I = I_1 / I_2 ;$$

Napryáženiýe transformatorynyň koeffisiýenti

$$K_U = U_1 / U_2 ;$$

Transformatorlaryň transformasiýa koeffisiýentiniň takyk bahasy mälim däl, sebäbi olar toguň we napryáženiýäniň ululygyna, ikinji zynjyrdaky ýüküň garşylygyna, toguň ýygylýgyna baglydyr. Şonuň üçin toguň we napryáženiýäniň bahalary kesgitlenende ölçeg abzallarynyň görkezijilerini,

ölçeg transformatorlarynyň pasportynda görkezilen transformasiýa koeffisiýentine köpeldýär.

Ölçeg ululyklaryny transformasiýa koeffisiýentiniň nominal bahasyna köpeltmek arkaly kesgitlenende ýalňyşlyga ýol berilýär.

Ölçeg transformatorlarynyň hakyky we nominal transformasiýa koeffisiýentleriň deňsizligi sebäpli otnositel ýalňyşlyk aşakdaky deňleme arkaly kesgitlenilýär:

toguň transformatory üçin

$$\gamma_I = \frac{I'_1 - I_1}{I_1} \cdot 100 = \frac{K_{I \cdot nom} - K_I}{K_I} \cdot 100$$

Bu ýerde $I'_1 = K_{I \cdot nom} I_2$; $I_1 = K_I I_2$

Napryáženiýe transformatory üçin

$$\gamma_U = \frac{U'_1 - U_1}{U_1} \cdot 100 = \frac{K_{U \cdot nom} - K_U}{K_U} \cdot 100$$

Bu ýerde $U'_1 = K_{U \cdot nom} U_2$; $U_1 = K_U U_2$.

Ýalňyşlykda γ_I -tok ýalňyşlygy, γ_U -güýjenme ýalňyşlygy diýlip atlandyrylýar. Ölçeg transformatorlarynda ýene burç ýalňyşlygy diýilýän ýalňyşlyk hem bardyr. Burç ýalňyşlygy transformator sebäpli birinji we ikinji ululyklaryň arasyndaky faza süýşmesi sebäpli ýüze çykýar. Burç ýalňyşlygy wattmetrleriň, fazometrleriň, hasaplaýyş ölçeg abzallarynyň görkezijilerine täsir edýär.

Galwanik we kulonometrik özgerdijiler.

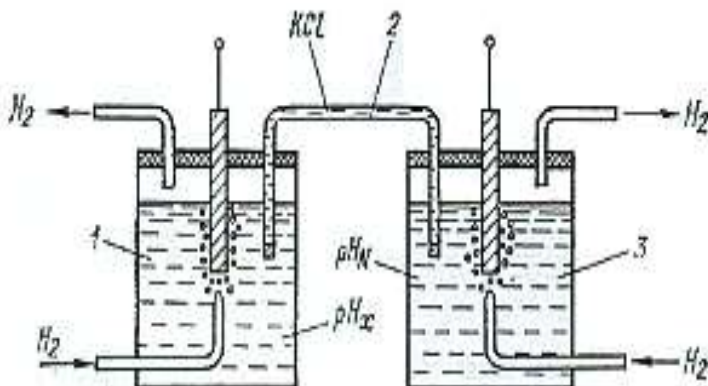
1. Galwanik özgerdijiler elektrolitlerdäki ionlaryň konsentrasiýasyndan we elektrodarda bolup geýýän oksidatlandyryş proseslerine galwaniki zynjyrlaryň EHG-ne baglylygyna esaslanandyr. Olar dürli erginlerdäki ionlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemek üçin, şeýle-de EHG-niň nusgalyk ölçegleri-normal elementler hökmünde ulanylýar.

Has giňden ulanylýan galwanik özgerdijiler hökmünde wodorodly ionlaryň aktiwligini (konsetrasiýasyny) ölçemek üçin abzallar **pH-metr** özgerdijiler peýdalanylýar.

pH has takyk we köptaraplaýyn usuly, gözegçilik edilýän ergine ýerleşdirilen elektrodalaryň elektrod potensiallarynyň kesgitlenmegine esaslanandyr. Diýmek **pH-metr** datçikleri bolýan galwanik özgerdijileriň hakyky giriş ululygy hökmünde wodorod ionlarynyň konsentrasiýasy, çykyş ululyklary hökmünde bolsa elektrod potensiallarynyň tapawudy bolup durýar.

Galwanik özgerdiji iki sany ýarym elementden durýar: barlanylýan ergine ýerleşdirilen ölçeg elektrodyndan we elektrod potensialy hemişelik bolmaly kömekçi ýarymelementden.

Aşaky suratda iki sany wodorod ýarymelementinden durýan galwanik özgerdiji görkezilendir.



Surat 10.9.

Wodorod (ölçeg elektrodalarynyň) biri barlag edilýär erginiň (1) içine ýerleşdirilýär, bu elektrolitik açaryň (2) kömegi bilen normal wodorod ýarymelementi (kömekçi) (3) bilen birikdirilýär. Normal wodorod ýarymelementi aktiw wodorod

ionly $a_{(Ht)_2} = 1$ elektrolitden durýar. Alynan konsetrasiýa zynjyrynyň elektrodларыnyň arasyndaky EHG-i

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{f_1 C_1}{f_2 C_2}$$

formula laýyklykda aşakdaka deňdir.

$$E_B = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{(ht)_1}}{a_{(ht)_2}}$$

bu ýerde $a_{(ht)_1}$ - barlag edilyän ergindäki wodorod ionларыnyň aktiwligi.

$a_{(ht)_2}$ - normal wodorod ýarymelementindäki wodorod ionларыnyň aktiwligi.

Onluk logarifme geçip we $\lg a_{(ht)_1} = -pH$ hasaba alyp aşakdaky ýaly alýarys

$$E_B = -\frac{2,303RT}{F} pH$$

18° C temperatura üçin

$$E_B = -0,058 pH$$

Iş (ölçeg) ýarymelementde wodorod elektrodyny ulanmak bilen ölçeginň ähli diapazonynda (0-dan 14-e çenli) pH ölçemek mümkin. Şeýle-de bolsa ulanmaga amatsyzdyr, sebäbi elektroda gaz şekilli wodorod üznüksiz bermek zerurlygy ýüze çykýar. Şonuň üçin wodorod elektrody nusgalyk elektrod hökmünde esasan tejribe barlaglary üçin ulanylýar.

2. Kömekçi ýarymelementler.

Galwanik özgerdijilerde kalomel, hlorkümüş, bromkümüş we beýleki kömekçi ýarymelementler ulanylýar.

Kalomel ýarymelement. Normal kalomel ýarymelementiň E_0 potensialy otnositel normal wodorod ýarymelementiň potensialyna **15,18,20,25** we 30°C temperaturalarda **0,2852, 0,2840, 0,2828** we **0,2816 W**-a laýyk gelýär.

Barlag edilýän erginiň içine ýerleşdirilen wodorod elektrodyndan we normal kalomel ýarymelementinden durýan galwaniki özgerdiji 18°C temperaturada EHГ-ni çykarýar.

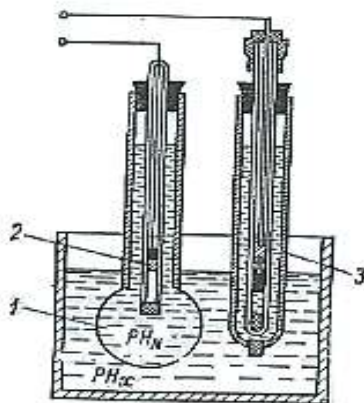
$$E_K = 0,2845 + 0,058 pH$$

Kalomel ýarymelementiniň kemçilikleri aşakdakylardan durýar: barlag edilýän ergine simap düşmek mümkinçiligi we $+70^\circ\text{C}$ çenli iş temperaturasyndan ýokary çäklendirme bolmagy.

Hlorkümüş ýarymelementi **HCl** erginine batyrylan we hlорly kümüş gatlagy bilen örtülen platina siminden durýar. Hlorkümüş ýarymelementiň kadaly potensialy 25°C temperaturada **0,222 W**-a deňdir. Şeýle ýarymelementiň artykmaçlygy aşakdakylardyr: gurluşynyň ýönekeýligi we ykjamlygy elektrodyň potensialyny döretmek ukubyny gowylygy, 150°C -dan - 250°C -a çenli temperaturada ulanmaga mümkinçiligi, silkelenmek we sandyramak şertinde ulanmaga mümkinçiligi we ş.m.

Galwaniki özgerdijileriň ölçeg elektrodlary. pH-metrlerde ölçeg elektrodlary hökmünde wodoroddan başga, has giňden ýaýran aýna elektrodlary ulanylýar.

Aşakdaky suratda aýna elektrodlaryň gurluşy görkezilendir.



Surat 10.10.

Aýna elektrod ýukadiwarly (**0,05-0,1 mm**) kolba (membranadan) durýar. Aýna kolbany ergine göýbereniňde aýna-ergin çäginde potensiallaryň tapawudy ýüze çykýar. Bu erginiň wodorod ionlarynyň aktiwligine baglydyr. Bu ion çalyşyk prosesi bilen düşündirilýär. Aýnanyň aşgar ionlary (*Na* ýa-da *Li*) ergine geçýär, olaryň ýerini bolsa erginiň wodorod ionlarynyň çalasyn hereketlenýänleri eýeleýärler. Munuň netijesinde aýnanyň üstki gatlagy wodorod ionlary bilen doýdurýlýar we aýna elektrod wodorod elektrodynyň häsiýetini alýar.

Bu kobanyň içki we daşky üstlerine degişli bolup, ony iki wodorod elektrody hökmünde seretmelidir, olaryň biri hemişelik potensially bolmalydyr. Iki üstiň arasyndaky aýna gatlagy iki elektrode birleşdirýän uly garşylykly geçiri bolup hyzmat edýär.

Aýna elektrodly galwaniki özgerdijiler adatça aýna elektrodan we iki sany kömekçi ýarymelementden bolup, bu aýna elektrodyň içki we daşky üstlerinden potensial almak üçin hyzmat edýär.

Aýna elektrod (1) we kalomel ýarymelement (3) barlag edilýän erginiň içine ýerleşdirilýär (ýokarky surata seret).

Aýna elektrodyň içi belli bolan pH_N -li nusgalyk ergin bilen doldurylan, kömekçi hlorkümiş elektrod (2) goýulan.

Özgerdijiniň çykyşyndaky EHG-i, hlorkümiş ýarymelementiň, aýna elektrodyň içki we daşky üstleriniň potensialynyň algebraik jemidir.

Aýna elektrod pH ölçemek üçin ulanmak bilen diňe bir suwda däl, eýsem suwsuz we garyşyk ýagdaýda ölçemek üçin hem ulanylýar. Emma her bir erediji üçin laýyk $E=f(pH)$ baglanyşyk bolmagy zerurdyr.

Aýna elektrodларыnyň galwanik özgerdijilerindäki aýratyn häsiýetleriniň biri-de onuň uly içki garşylygydyr, sebäbi oňa aýna membrananyň garşylygy hem girýär. Aýna elektrodyň galyňlygyna we himik düzümine baglylykda onuň garşylygy 0.5-1000 Mom-a çenli bolýar. Temperaturanyň peselmegi bilen aýna elektrodларыň garşylygy güýçli ýokary galýar, hem olary 0^0 -dan pes temperaturada ulanmaga päsgel berýär.

Aýna elektrodларыň gurluş örän köp dürlidir. Deriniň, kagyzyň pH ölçemek üçin ýaramaz membranaly aýna elektrodly, şepbeşik ýagdaýlarda we medisina maksatlary üçin naýza görnüşli we iňňe görnüşli elektrodлар ulanylýar.

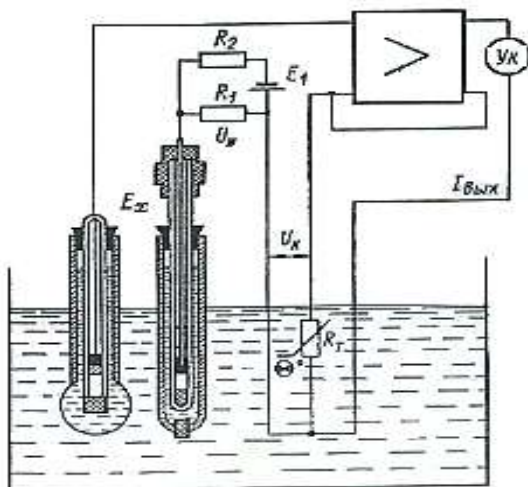
Galwanik özgerdijiler diňe bir ionларыnyň aktiwligini ölçemek bilen çäklenmän, beýleki elementleriň, ýagny kaliýniň, natriýniň, hloryň, misiň, sianidiň, kükürdiň we ş.m. elementleriň ionларыny ölçemek üçin peýdalanylýar.

3. Ölçeg zynjyrlaryna bolan talaplar we temperatura ýalňyşlygyny düzetmegiň usullary.

Galwanik özgerdijileriň EHG-i ölçenilende tok özgerdijiniň üstünden geçmeli däl. Sebäbi bu tok elektrodларыň polýarizasiýasyndan we özgerdijiniň içki garşylygyndan naprýaženiýäniň pese düşmegi sebäpli ýalňyşlygyň ýüze çykmagyna getirýär. Özgerdiji içki garşylygy aýna elektrodlarda $10^7 - 10^9$ Om çenli baryp ýetýär. Şonuň üçin ölçeg zynjyrlaryna esasy talap-bu örän uly giriş garşylygydyr. Muňa bolsa elektrometriki güýçlendirijileri

ulanmak arkaly ýetip bolar. Dinamiki kondensatorly güýçlendirijileri ulanmak arkaly ýetip bolar. Dinamiki kondensatorly güýçlendirijileri ulanmak arkaly $10^{15} - 10^{16}$ Om-a çenli giriş garşylygyny almak bolar. Galwanik özgerdijileriniň EHG-ini ölçemek üçin, özgerdijiniň temperatura ýalňyşlygyny awtomatiki kompensasion (öwezini dolujy) ölçeg zynjyrlary has giňden ulanylýar.

Aşakdaky suratda girişine çün otrisatel ters baglanşykly ýokary garşylykly güýçlendiriji birikdirilen, temperatura ýalňyşlygyny düzediji galwanik özgerdiji görkezilendir.



Surat 10.12.

Koordinatyň izopotensial nokadyna laýyk gelýän özgerdijiniň EHG-ini düzüjiniň hemişeligi, kömekçi tok çeşmesi E_1 tarapyndan R_1 rezistorda dörän tok sebäpli naprýaženiýäniň U_n pese düşmegi kompensirlenýär.

Ters baglanşyk elementi hökmünde barlag edilýän ergine ýerleşdirilen galwaniki özgerdiji bilen bilelikde R_T termorezistor ulanylýar. Galwaniki özgerdijiniň EHG-i

$(E_x - U_n)$ naprýaženiýäniň pese düşmegi $U_K = I_{cyk} R_T$ bilen doly deňagramlaşýar.

5. Kulonometrik özgerdijiler.

Kulonometrik özgerdijiler elektroliziň ýüze çykmagyna esaslanandyr. Madda bilen özgerdijiniň üstünden geçirilen elektrigiň mukdaryny aşakdaky deňleme boýunça kesgitleýäris.

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i dt = \frac{nF}{A} \int_{t_1}^{t_2} m dt = MnF / A$$

bu ýerde M – maddanyň agramy;

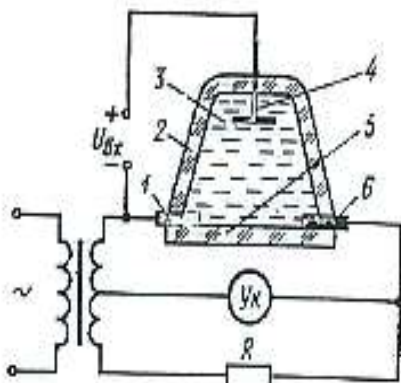
n – ionlaryň walentligi;

F – Faradeýiň hemişeligi;

A – maddanyň molekulýar agramy.

Kulonometrik özgerdijiler toklary we güýjenmeleri integrirlemek üçin giňden ulanylýar, şeýle-de maşyn wagtyny hasaplaýjylar hökmünde dürli elektrotehnik gurulmalarda iş wagtyny ölçemek üçin peýdalanylýar. Şunuň bilen birlikde kulonometrik özgerdijiler gazyň çyglylygyny, örtükleriň galyňlygyny, kontaktsyz dolandyrylýan rezistorlary we ş.m. ölçemek üçin ulanylýar.

Aşakda kulonometrik dolandyrylýan rezistoryň suraty görkezilendir.



Surat 10.15.

Kulonometrik dolandyrylýan rezistor (mimistor) metallaryň iony düzümlü (3) elektrolit doldurylan germetik (2) korpusdan durýar. Metallaryň iony düzümlü elektrolitden dolandyrylýan elektrod (4) anod ýasalýar. Katod bolup hyzmat edýän rezistiw element (5) inert metalyndan ýa-da kömürden bolan ýuka plýonka görnüşinde ýerine ýetirilýär. Onuň iki sany çykyşy (1) we (6) bolup, olaryň arasyndaky garşylyk üýtgeýän tokda ölçenilýär. Hemişelik toga birikdirilende anod bilen katodyň arasynda elektrolitde anodyň metaly ereýär we şeýle mukdarda metal katodyň üstüne çöküp (1) we (6) çykyşlaryň arasyndaky garşylygy peseldýär.

Ýokarky aňlatmadan özgerdijiniň dolandyrylýan rezistorynyň deňlemesini almak bolýar:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{A}{l^2 \rho \gamma F} \int_{t_1}^{t_2} i dt$$

bu ýerde R – rezistoryň garşylygy

R_0 we l – başlangyç garşylyk we rezistoryň uzynlygy

γ we ρ – çöken metalyň dykzlygy we udel garşylygy

Şeýle rezistorlaryň aşadaky ýaly häsiýetnamalary bardyr.

$R_0 = 2 \div 100 \text{ Om}$; $R_0 / R = 20 \div 100$; dolandyrylýan tok

$I = 0,05 \div 10 \text{ mA}$.

Ýylylyk özgerdijileri. Ýylylyk özgerdijileri hasaplamagyň esaslary

1. Ýylylyk özgerdijiniň esasy deňlemesi ýylylygy deňagrmlaşdyrmak deňlemesidir. Onuň fiziki manysy aşadakydan durýar: özgerdijä barýan ähli ýylylyk onuň ýylylyk saklaýjylygyny ýokarlandyrmaga gidýär. $Q_{y.s}$ we diýmek eger özgerdijiniň ýylylyk saklaýjylygy üýtgeşsiz galsa (temperatura we agregat ýagdaýy üýtgemeyär), onda wagt birliginde berilýän ýylylyk mukdary alynýan ýylylyk

mukdaryna deňdir. Özgerdijä barýan ýylylyk, ýylylyk mukdarynyň jemi bolup, daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşygy netijesinde özgerdijä barýan ýa-da ondan çykýan ýylylyk mukdarynyň $Q_{y.s}$ we ondan bölünip çykýan elektrik kuwwaty netijesinde döreýär.

Ýylylyk saklaýjylyk maddalaryň agregat ýagdaýynyň üýtgeşsiz wagtynda özgerdijiniň materialynyň udel ýylylyk sygymyna C we m agramyna, şeýle-de özgerdijiniň temperaturasy θ bilen baglanyşyklydyr. Ol aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$Q_{y.s} = m \cdot C \cdot \theta$$

Ýylylyk çalyşyk üç usul bilen ýerine ýetirilýär:

Ýylylyk geçirijileriň göniden-göni ýylylyk çalyşygynda ýylylyk energiýanyň geçmegi bölejikleriň özara täsir edişmegi netijesinde bolup geçýär. Bu bölejikler dürli temperaturaly bolmak bilen bir-birleri bilen göniden-göni galtaşýarlar. Ýylylyk çalyşygy ýylylyk geçirijileriň ýoly bilen diňe arassa görnüşde gaty jisimlerde bolup bilýär.

Ýylylyk çalyşygy konweksiýa gatnaşygynda material bölejikleriň yerinden süýşme ýoly arkaly amala aşyrylýar. Bu diňe gazlarda we suwuklyklarda bolup geçýär. Eger gazlaryň ýa-da suwuklyklaryň akymynyň hereketlenmeginiň sebäbi temperaturalaryň tapawudyndan ýüze çykýan, deň bolmadyk dykzlykda bolup geçýän bolsa, oňa tebigy konweksiýa diýilýär. Daşky sebäpleriň täsiri astynda akymalaryň herekete gelmegi konweksiýany ýüze çykarýar.

Ýylylyk çalyşygynyň üçünji usuly göniden-göni şöhlenmesi elektromagnit tolkunlarynyň akymydyr. Bu jisimiň ýylylyk energiýasynyň hasabyna şöhhlenmesidir.

Ýylylygyň ýylylyk geçirijilik ýoly bilen ýaýramagy.

Furýäniň kanuny boýunça kesgitlenilýär.

$$q = -\lambda \text{grad} \theta$$

bu ýerde q -ýylylyk mukdaryny ýüze çykarýan ýylylyk akymy;
 Wt/m^2 ; $grad\theta$ - temperaturanyň gradiýenti.

$$grad\theta = d\theta/dl;$$

λ -ýylylyk geçirijilik, $Wt/(m.K)$.

Ýylylyk geçirijilik maddalaryň fiziki ýagdaýyna we tebigatyna baglydyr. Anizotrop jisimlerde ýokarkylardan başga-da ýylygyň ýaýraýyş ugruna-da baglydyr. Ýylylygy gowy gowy geçirijiler metallar bolup durýar. Gazlar olardan az geçirijilige eýedirler. Ýylylyk geçirijilik gazlar üçin diňe bir gazyň düzümine bagly bolman, onuň temperaturasyna we basýşyna-da baglydyr.

Temperatura tapawudyndan ýüze çykýan doly ýylylyk akym aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$q_{y-a} = G_{\theta}\Delta\theta = \Delta\theta/R_{\theta}$$

bu ýerde G_{θ} - gurşawyň ýylylyk geçirijiligi;

R_{θ} - gurşawyň ýylylyk garşylygy.

2. Gurşawyň ýylylyk geçirijiligi onuň ýylylyk geçirijiligine bagly bolup, ony hasaplamak üçin elektrik geçirijiligiň meňzeş formulararynyň ýerine ýylylyk geçirijiligiň udel geçirijiligi bilen çalşyp ulanýarys.

Tekiz diwaryň ýylylyk geçirijiligi.

$$G_{\theta} = \lambda S / \delta$$

bu ýerde S -diwaryň meýdany:

δ -diwaryň galyňlygy.

Silindr görnüşli diwaryň ýylylyk geçirijiligi.

$$G_{\theta} = \lambda \frac{2\pi l}{l_1(d_1/d_2)}$$

bu ýerde l -silindriň uzynlygy;

d_1 we d_2 -silindriň daşky we içki diwarlarynyň diametrleri.

Ýylylyk berijilik netijesinde doly ýylylyk akym Nýutonyň formulasy boýunça kesgitlenilýär.

$$q_{y.b} = \xi s \Delta \theta ,$$

bu ýerde ξ - ýylylyk berijilik koeffisiýenti, $Wt/(m^2.k)$;
 s – jisimiň üsti;

$\Delta \theta$ - jisim bilen daşky gurşawyň temperatura tapawudy.

Silindriň kese kesiginde emeli konweksiýa wagtynda.
 gazlar üçin ýylylyk beriş koeffisiýenti aşakdaky formula
 boýunça aňladylýar:

$$\xi_{gaz} = \frac{C\lambda}{d} \left(\frac{g d}{\nu} \right)^n = \frac{C\lambda}{d} Re^n$$

bu ýerde d – silindriň diametri;

g - gazlaryň hereketleniş tizligi;

ν - absolyt şepbeşikligiň maddanyň dykzlygyna bolan
 gatnaşygyna deň bolan kinematiki şepbeşiklik.

λ - gazlaryň ýylylyk geçirijiligi;

C we n – gazlaryň tizlik funksiýasy we silindriň ölçegi.

Termorezistorlar, olary hasaplamagyň esaslary we ulanylýan materiallar

1. Temperaturany ölçemek üçin termorezistorlar ulanylýar. Olar ýokary durnukly garşylygyň temperatura koeffisiýenti, garşylygyň temperatura çyzykly baglylygy, daşky gurşawyň täsirlerine durnukly häsiýetlere eýedir. Şeýle materiallar ilkinji nobatda platina degişlidir. Özüniň arzanlygy bilen mis termorezistorlar giňden ýaýrandyr, şeýle-de wolfram we nikel termorezistorlar ulanylýar.

Platina termorezistorlarynyň garşylygy 0° -dan $+150^{\circ}C$ çenli diapazon temperaturada aşakdaky gatnaşyk bilen aňladylýar:

$$R_{\theta} = R_0(1 + A\theta + B\theta^2)$$

bu ýerde R_0 - $0^{\circ}C$ -daky garşylyk;

θ - temperatura, $0^{\circ}C$:

R_{100}/R_0 gatnaşykly platina sim üçin $R_{100}/R_0 = 1,385$ bolanda A we B bahasy:

$$A = 3,90784 \cdot 10^{-3} K^{-1};$$

$$B = 5,7841 \cdot 10^{-7} K^{-2}.$$

$0^{\circ}C$ -dan $-200^{\circ}C$ -çenli temperatura interwalynda platina garşylygynyň temperatura baglylygy aşakdaky görnüşe eýedir.

$$R_{\theta} = R_0 [1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3]$$

bu ýerde $C = -4,482 \cdot 10^{-12} K^{-4}$

Senagatynyň platina termometrleri $-260^{\circ}C$ -dan $+1100^{\circ}C$ temperatura diapazonynda ulanylýar. $-50^{\circ}C$ -dan $+180^{\circ}C$ -çenli diapazon temperaturada mis geçirijileriň garşylyklary hasaplananda aşakdaky formuladan peýdalanýarlar:

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha\theta)$$

bu ýerde $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} K^{-1}$.

$R_0 - 0^{\circ}C$ -daky garşylyk.

Eger mis termorezistorlar üçin R_{θ} -garşylygy (θ_2 temperaturada) hasaplamaly bolsa, öňden belli R_{θ} garşylyk boýunça (θ_1 temperaturada) aşakdaky formuladan peýdalanmalydyr:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1}(1 + \alpha\theta_2)/(1 + \alpha\theta_1)$$

Mis termorezistorlary 200° temperatura çenli çygsyz atmosferada ulanyp bolar. Mundan ýokary temperaturada misde okislenme bolup geçýär. Garşylygynyň mis termometrleri üçin temperaturanyň aşagy çägi $-200^{\circ}C$ -a deňdir.

Garşylyk termometrleri bilen temperatura ölçenilende ýüze çykýan ýalňyşlyklar şu aşakdakylar sebäpli bolýar:

- garşylyk termometriň başlangyç wagtdaky durnuksyzlygy; onuň garşylygynyň temperatura koeffisiýentiniň durnuksyzlygy;
- ölçeg abzaly bilen termometri birikdirýän liniýanyň garşylygynyň üýtgemegi;
- ölçeg togy bilen termometriň aşa gyzmagy.

Ýarymgeçiriji termorezistorlar metaldan ýasalardan özleriň kiçi göwrümi we uly garşylyk temperatura koeffisiýenti bilen tapawutlanýarlar.

2. Ýarymgeçiriji termorezistorlaryň garşylyk temperatura koeffisiýenti otrisatel we temperaturanyň koeffisiýenti otrisatel we temperaturanyň absolýut inedördüline ters proporsional peselýär.

$\alpha = B / \theta^2$ $20^\circ C$ -da garşylyk temperatura koeffisiýenti $0,02 - 0,08 K^{-1}$ deňdir.

Ýarymgeçiriji termorezistorlaryň garşylygynyň temperatura baglylygy (aşakdaky suratda (2) gyşarma) ýeterlik gowe $R_\theta = Ae^{B/T}$ formula boýunça ýazylýar. Bu ýerde

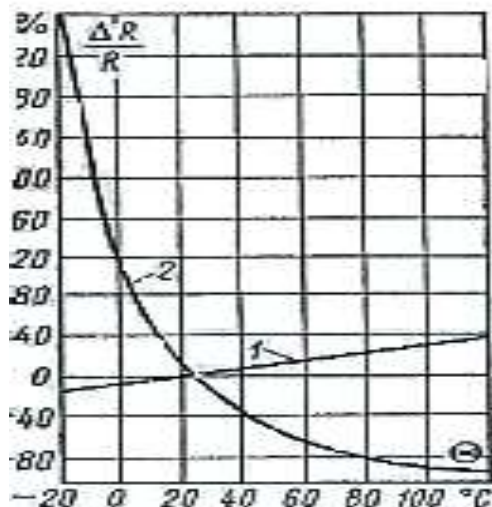
T -absolýut temperatura;

A -garşylygyň ölçegine degişli koeffisiýent;

B -temperaturanyň ölçegine degişli koeffisiýent.

(1)gyşarmada mis termorezistorlary üçin temperatura baglylygy deňeşdirmek üçin getirilen.

Eger ulanylýan ýarymgeçiriji termorezistorlar üçin A we B koeffisiýentler mälim bolman, T_1 we T_2 -de R_1 we R_2 garşylyklar mälim bolsa, onda garşylyk we B koeffisiýent üçin islendik başga temperatura üçin aşakdaky gatnaşykdan kesgitlep bolar.



Surat 11.12.

(1)gyşarmada mis termorezistorlary üçin temperatura baglylygy deňeşdirmek üçin getirilen.

Eger ulanylýan ýarymgeçiriji termorezistorlar üçin A we B koeffisiýentler mälüm bolman, T_1 we T_2 -de R_1 we R_2 garşylyklar mälüm bolsa, onda garşylyk we B koeffisiýent üçin islendik başga temperatura üçin aşakdaky gatnaşykdan kesgitlep bolar.

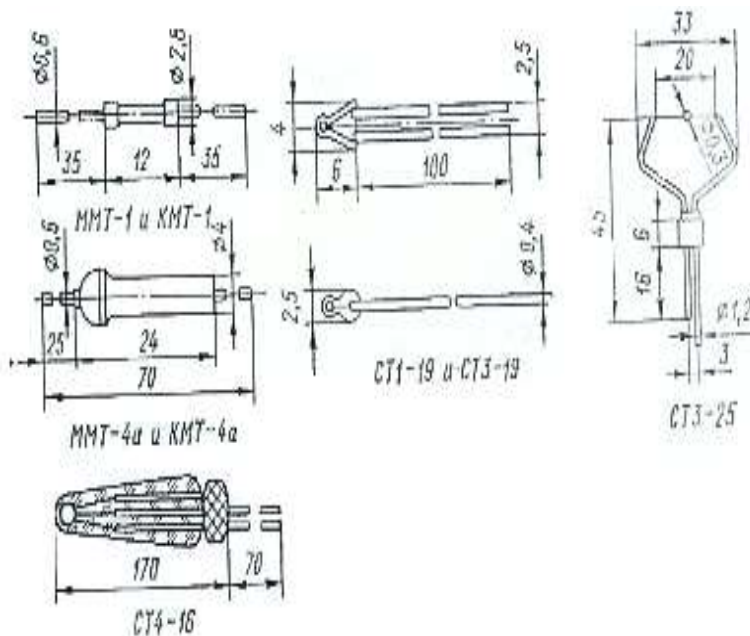
$$R_\theta = R_1 e^{B(1/T - 1/T_1)}; B = \frac{T_2 T_1}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}$$

3. Ýarymgeçiriji termorezistorlaryň kemçilikleri, olaryň ulanyş hilini pese düşürýän garşylygyň temperatura baglylykda çyzyksyzlygydyr.

Gurluşlary boýunça termorezistorlar dürli görnüşde ýasalýarlar. Olaryň görnüşleri aşakdaky suratda görkezilendir.

MMT-1 we KMT-1 kysymly termorezistorlar emal reňk bilen örtülen ýarymgeçiriji özen bilen, kontakt gapagy we çykyşlar bilen üpjün edilen. Termorezistorlaryň bu görnüşleri diňe guraksy jaýlarda ulanylyp bilner.

MMT-4a we KMT-4a kysymly termorezistorlar metal kopsulyň içine ýerleşdirilen we germetizirlenen, şonuň üçin bu termorezistorlar islendik çygly, hatda suwuklykda hem ulanylyp bilner.



Surat 11.13.

Optoelektrik özgerdijiler.

Olaryň esasy gurluşlary we ulanylýan ýerleri.

1. Optiki şöhlenme uzynlygy **0,001-1000 mkm** diapazondaky elektromagnit tolkunlaryndan durýar. Aşakdaky çyzyda optiki spektryň poddiapazonlara bölünişi görkezilendir.

bu ýerde λ -tolkunyň uzynlygy

ν -elektromagnit yzgyldylarynyň ýygylgy.

$$\nu = C / \lambda$$

($C = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ -wakumdaky ýagtylyk tizligi)

Energetik we fotometrik ululyklaryň ulgamlary.

Optiki ýüze çykmalary ýazmak üçin ululyklaryň üç ulgamlaryny peýdalanýarlar: energetik, ýagtylyk (fotometrik) we kwantly. Ýagtylyk ululygyny kwant ulgamynda bölejikleriň akymy-kwant hökmünde seredýärler, olaryň energiýasy $\varpi_k = h\nu$, bu ýerde $h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ - Plankyň hemişeligi. Görünýän ýagtylygyň kwanty 2-5 ew energiýa eýedir.

Energetik we fotometrik ulgamlaryň esasy ululyklary bolup durýan şöhlenme akymly energetiki ulgamda wattda, ýagtylyk (fotometriki) ulgamda lýumenululygynda kesgitlenilýär.

Eger tolkun uzynlygy boýunça P_λ (şöhlenmäniň spektral dykzlygy) şöhleleniş kuwwatynyň paýlanyş funksiýasy belli bolsa, onda görünýän ýagtylygyň lýmendäki akymy aşakdaka deňdir.

$$\phi = 683 \int_{0,4}^{0,8} K_\lambda P_\lambda d\lambda$$

Bu getirilen formuladan görnüşi ýaly 1 *lm* ýagtylyk akymyna, ýagtylygyň spektral düzümine baglylykda dürli kuwwat laýyk gelýär, maksimal duýgurlyk böleginde ekwiwalent energetiki akym 683 *lm/wt* deňdir.

2. Optik şöhlelenmäniň esasy häsiýetleri.

Optik diapazonyň elektromagnit tolkunlary, beýleki islendik elektromagnit tolkunlary ýaly elektrik we magnit meýdanlarynyň özara perpendikulýar wektorlary bilen häsiýetlendirilip, kese tolkunlara eýedirler. Wakumda

ýagtylygyň ýaýraýyş tizligi fundamental fiziki konstanta bolup durýar: $C = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

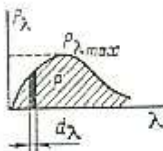

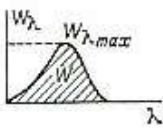


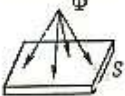
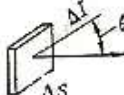
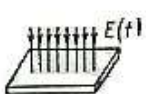
Köplenç ýagdaýlarda optiki şöhlenlenmäniň özara täsirinde gerekli işi elektriki wektor ýerine ýetirýär, şonuň üçin optiki tolkunynyň diapazony üçin diňe elektrik wektory seredip geçýäris. Ýagtylygyň intensiwligi şöhleleniş kuwwatyna proporsional bolup, $\nu = 1/T$ ýygylýkly şöhlenlenme üçin aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T \left[E_m \sin \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi \right) \right]^2 dt = \frac{E_m^2}{2}$$

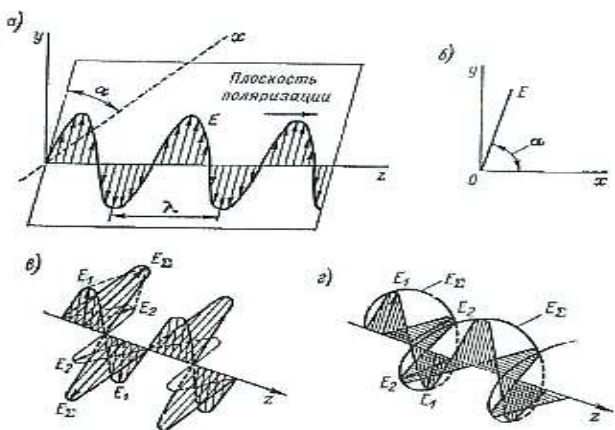
Eger (E) wektoryň yrgyldysy bir tekizlikde ýerleşen bolsa, onda ýagtylyk çyzykly polýarlanan diýlip atlandyrylýar. Bu aşakdaky suratda görkezilendir.

Faza boýunça gabat gelýän polýarlanan tolkunlary perpendikulýar goşmak netijesinde tolkunlaryň jemi çyzykly polýarlanan bolarlar (ç) çyzga seret). d) çyzgyda bolsa $\varphi = \pi/2$ we $E_1 = E_2$ bolan ýagdaýynda perpendikulýar polýarlanan tolkunlaryň goşulan netijesi görkezilendir.

Ýagtylyk çeşmesiniň köpüsi tebigy ýa-da bölekleyin polýarlanan bolýarlar. Goşmaça polýarlanmagy bolsa ýagtylyk açyk üstleriň şöhlelenmegi we ýagtylygyň döwürmegi bilen alýarlar. Bu aşakdaky suratyň mysalynda görünýär. Polýarlanmadyk şöhlelenme çeşmeden (UC) polýarizator atlandyrylýan (PI) optiki elementiň üstüne düşýär. Polýarizator ýagtylyk (E) wektoryň yrgyldylarynyň ugrunda diňe özüniň geçiriş ugry bilen gabat gelýän yrgyldylary saýlap alýar. Aşakdaky suratda bu ugur OY okunyň ugry bilen gabat gelýär. Polýarizatordan soň çyzykly polýarlanan yrgyldy $E_1 = E_m \sin 2\pi \nu t$ (O) obýekte düşýär, ol optiki anizotropiýa eýedir.

Energetik ululyklar			Grafiki interpretasiýa	Ýagtylyk ululyklar		
Ady	Belgilenişi we kesgitleyj deňlemeler	Ölçeg birligi		Ady	Belgilenişi we kesgitl. ululyklar	Ölçeg birligi
Şöhle akymy. Şöhle akymynyň spektral dykzylygy	P $P_\lambda = dP/d\lambda$	Вт Вт/м		Ýagtylyk akymy. Ýagtylyk akymynyň spektral dykzylygy	Φ $\Phi_\lambda = d\Phi/d\lambda$	лм
Şöhle energiýa.	$W = \int_0^t P dt$	Дж		Ýagtylyk energiýa	$Q = \int_0^t \Phi(t) dt$	$\text{лм} \cdot \text{с}$
Şöhle energiýa. spektral dykzylygy	$W_\lambda = dW/d\lambda$	Дж/м				
Ýagtylyg. spektral güýji	$I_\Omega = dP/d\Omega$	Вт/ср		Ýagtylyk güýji	$I = d\Phi/d\Omega$	кд
Energetik ýagtylanma	$R_p = dP/dS$	Вт/м^2		Ýagtylanma	$R = d\Phi/dS$	лм/м^2
Energetik ýagtylyk	$E_p = dP/dS$	л/м^2		Ýagtylandyrmak	$E = d\Phi/dS$	лк
Energetik ýiti ýagtylyk	$E_\theta = \frac{dI_p}{dS \cos \theta}$	$\text{Вт/(ср} \cdot \text{м}^2)$		Ýiti ýagtylyk	$L = \frac{dI}{dS \cos \theta}$	кд/м^2
Energetik ekspozisiýa	$H_p = \int_0^t E(t) dt$	Дж/м^2		Ekspozisiýa	$H = \int_0^t E(t) dt$	$\text{кк} \cdot \text{с}$

Surat 12.1

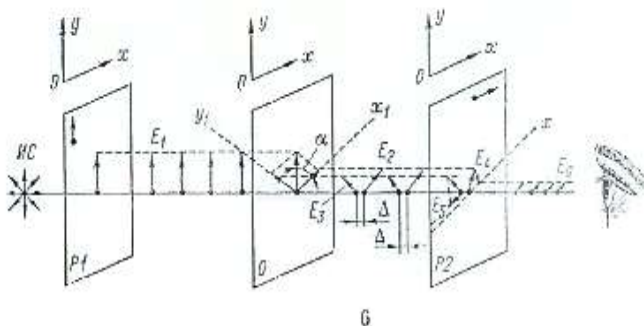


Surat 12.5

Ýagtylyk çeşmesiniň köpüsi tebigy ýa-da bölekleyin polýarlanan bolýarlar. Goşmaça polýarlanmagy bolsa ýagtylyk açyk üstleriň şöhlelenmegi we ýagtylygyň döwürlemegi bilen alýarlar. Bu aşakdaky suratyň mysalynda görüňär. Polýarlanmadyk şöhlelenme çeşmeden (UC) polýarizator atlandyrylýan (PI) optiki elementiň üstüne düşýär. Polýarizator ýagtylyk (E) wektoryň yrgyldylarynyň ugrunda diňe özüniň geçiriş ugry bilen gabat gelýän yrgyldylary saýlap alýar. Aşakdaky suratda bu ugur OY okunyň ugry bilen gabat gelýär. Polýarizatordan soň çyzykly polýarlanan yrgyldy $E_1 = E_m \sin 2\pi \nu t$ (O) obýekte düşýär, ol optiki anizotropiýa eýedir.

3. Şöhlelenme çeşmeleri.

Ölçeg özgerdijilerinde şöhlelenme çeşmeleri hökmünde nakal lampalary, gazorazrýadly lampalar, ýagtylyk diodlary we lazerler ulanylýar. Şöhlelenme çeşmeleriniň esasy häsiýetnamalary olaryň şöhlelenme häsiýeti (üzüksiz ýa-da impulsly), şöhlelenmäniň spektral düzümi, şöhlelenme kuwwaty (ýagtylyk akymy ýagtylyk güýji, ýiti ýagtylyk) sarp edilýän kuwwaty (naprýaženiýe we tok çeşmesi), ölçējileri.



Surat 12.6

Nakal lampalary görünýän ýagtylygy we infragyzyly ýerleri özüde jemleýän üznüksiz ýagtylanýan we impulsly lampalara bölünýärler. Gazorazrýadly lampalaryň esasy kemçilikleriniň biri hem olaryň görüminiň ululygy we birikdiriliş çyzgysynyň çylşyrymlylygydyr.

Lazer – iňlişçe Light Amplification bu Stimulated of Radiation diýlip aýdylýan sözleriň ilkinji harplarynyň goşulmagyndan emele gelendir (induksirlenen şöhlelenmäniň kömegi bilen ýagtylygy güýçlendirmegi aňladýar).

Ýagtylygyň lazer çeşmeleriniň ýagtylygyň beýleki çeşmelerinden birnäçe düýpli artykmaçlygy bardyr:

1. Lazerler aýrylyşma burçy 10^{-5} radius töweregi bolan ýagtylyk desselerini döretmäge ukyplydyrlar. Ýerden iberilen şeýle desse Aýda 3 km diametrli menek berýär.
2. Lazeriň ýagtylygy örän monohromatikdir. Atomlary bir-birine bagly bolmazdan ýagtylygy şöhlendirýän ýagtylygyň adaty çeşmelerinden tapawutlylykda, lazerlerde atomlar ýagtylygy ylalaşykly şöhlendirýärler. Şoňa görä tolkunynyň fazasy sazlaşyksyz üýtgemelere duçar bolmaýar.
3. Lazerler ýagtylygyň iň kuwwatly çeşmeleridir. Spektriň insizje interwalynda gysga wagtda (dowamlylygy 10^{11} sek. bolan wagt aralygynda) lazerleriň käbir kysymlarynda şöhlelenmäniň kuwwaty bolsa şol wagt diňe $7 \cdot 10^3 \text{ Wt/sm}^2$ deňdir (özem tutuş spektr boýunça jemlenip alnanda).

Lazeriň şöhlendirýän elektromagnit tolkundaky elektrik meýdanynyň naprýaženiýesi atomyň içindäki meýdanynyň naprýaženiýesinden artýar.

4. Lazerleriň işleýiş düzgüni.

Adaty şertlerde atomlaryň aglabasy pes energetik halda bolýar. Şoňa görä pes temperaturalarda maddalar ýagtylanmaýar.

Elektromagnit tolkun maddanyň içinden geçende onuň energiýasy siňýär. Tolkunyň siňen energiýasynyň hasabyna atomlaryň bir bölegi oýandyrylýar, ýagny ýokary energetik hala geçýär. Şonda ýagtylyk dessesinden 2 we 1 derejeleriň arasyndaky energiýalaryň tapawudyna deň bolan $h\nu = E_2 - E_1$ energiýa aýdylýar.

Rubin lazerler impuls düzgüninde işleýär. Üznüksiz işleýän lazerler hem bardyr. Üznüksiz işleýän ýarym geçirijili lazerler hem ulanylýar. Olar ilkinji gezek öňki sowet soýuzynda döredildi. Olaryň şöhlelenmek energiýasy elektrik togundan alynýar.

Ýüzlere kilowatda üznüksiz işleýän örän kuwwatly gazodinamik lazerlerler döredildi. Bu lazerlerde ýokarky diskret derejeleriň aşa köplügi birnäçe mün graduslara çenli gyzdrylan sesden ýokary, gaz akymlyry giňelende we adiabatik sowadylanda döredilýär.

5. Ýagtylyk diodlary.

Ýagtylyk diodlary şöhlelenýän **p-n** geçelgeden durýar. Häzirki wagtda ýarym şar görnüşli arsenid – galliý ýagtylyk diodlary has giňden ýaýrandyr, olaryň maksimum intensiw şöhlelenmesi **0,92-0,96 mkm** tolkun uzynlygyna laýyk gelýär.

Ýagtylyk diodlaryň häsiýetnamasy temperatura baglydyr, temperaturanyň ýokarlamagy bilen şöhleleniş kuwwaty peselýär.

Ýarymgeçirijili ýagtylyk diodlarynyň artykmaçlyklary: ýokary peýdaly täsir koeffisiýenti, kiçi göwrümi, ýokary ygtybarlygy we ş.m.

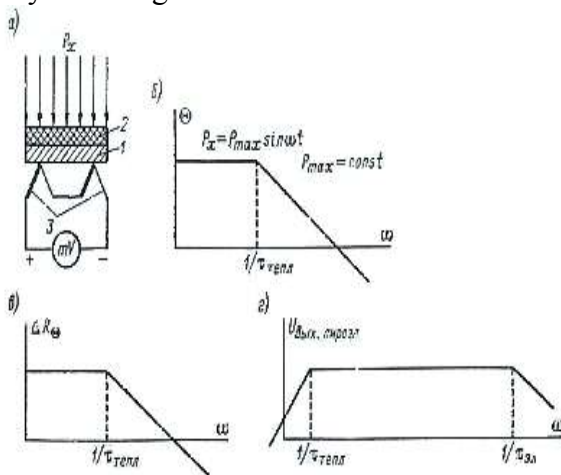
Şöhlelenmäni kabul edijiler.

Hemişelik duýgurlyga eýe bolan şöhlelenmäni kabul edijileriň tolkun uzynlygynyň diapazony olary iki topara bölmäge mümkinçilik berýär: integral we selektiw kabul edijiler.

Integral kabul edijilere ýylylyk özgerdijileri girýär. Bularyň iş düzgüni şöhlelenme energiýasyny temperatura özgertmeklige esaslanandyr. Ýylylyk kabul edijileri şöhlelenme tolkunynyň uzynlygyna garaşsyz, üstüne düşýän şöhlelenmäniň ähli kuwwatyny özüne siňdirýärler.

Selektiw kabul edijilere fotoelektrik kabul edijiler girýär. Bularda içki we daşky fotoeffektiň ýüze çykmany wakumly we gaz bilen doldurylan fotoelementler, fotoköpeldijiler, fotorezistorlar, fotodiodlar we ş.m. ulanylýar.

Ýylylyk kabul edijiler ýuka metal diskden (1) we diskiň temperaturasyny ölçeýji termoduýgurly elementden (3) durýar. Bu aşakdaky suratda görkezilendir.



Surat 12.9.

Edebiýat

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. А.М.Туричин, П.В. Новицкий, Я.С. Левшин и др. - “Электрические измерения неэлектрических величин” Л.Энергия. 1977
8. Я.С. Левшин, П.В. Новицкий “Электрические измерения физических величин”- Л. Энергоатомиздат, 1983 .
9. А.И. Марташин, Э.К. Шахов, В.Н. Шландин “Измерение и для исследование параметров измерительных преобразователей”- М. Энергия 1976.
10. А. Кобус, Я. Тущенский, “Датчики Холла и магниторезисторы” М. Энергия, 1971.

MAZMUNY

Giriş.....	7
Ölçeg özgerdijileriniň dinamiki häsiýetleri.....	13
Pnewmatiki we gidrawliki bölekleriň dinamiki häsiýetnamalary.....	19
Generatorly özgerdijileriň ölçeg zynjyrlary.....	25
Üýtgeýän toguň deňagramsyz köprüleriniň aýratynlyklary..	31
Ölçeg özgerdijileriniň maýyşgak elementleri.....	35
Maýyşgak elementleri ýasamak üçin ulanylýan materiallar..	44
Rezistiw özgerdijileriň iş düzgüni, esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri.....	51
Reostatly özgerdijiler we tenzorezistorlar.....	58
Pýzeoelektriki özgerdijileriň fiziki esaslary we ulanylýan ýerleri.....	66
Elektrostatiki özgerdijileriň iş düzgüni esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri.....	74
Sygym özgerdijileri we olaryň zynjyrlary.....	81
Elektromagnit özgerdijileriniň iş düzgüni, esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri.....	90
Induktiv özgerdijileriniň iş düzgüni esasy häsiýetleri we ulanylýan ýerleri.....	97
Galwanomagnet özgerdijiler. Hollyň özgerdijileri. Magnitorezistiw özgerdijiler.....	106
Elektrohimiki özgerdijiler. Elektrohimiki özgerdijileriň umumy esaslary.....	113
Galwaniki we kulonometriki özgerdijiler.....	117
Ýylylyk özgerdijileri. Ýylylyk özgerdijileri hasaplamagyň esaslary.....	125
Termorezistorlar, olary hasaplamagyň esaslary we ulanylýan materiallar.....	128
Optoelektrik özgerdijiler. Olaryň esasy gurluşlary we ulanylýan ýerleri.....	132
Edebiýatlar.....	140