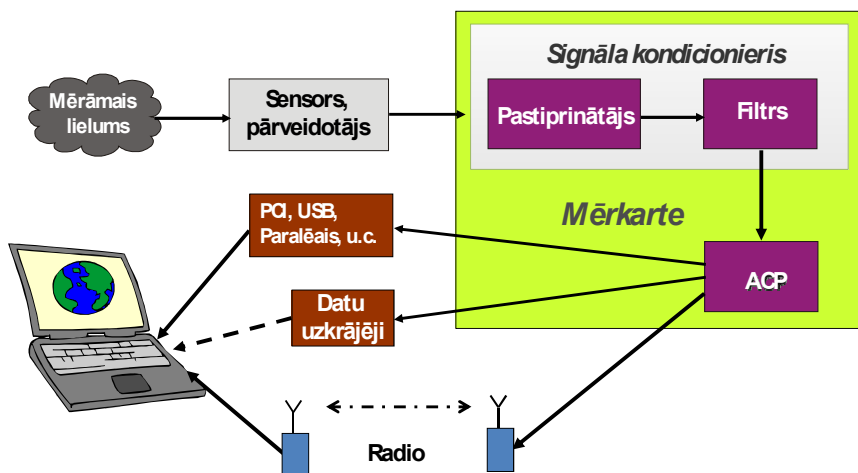


Aivars Kaķītis

Neelektrisku lielumu elektriskā mērīšana un sensori



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBA UNIVERSITĀTE

TEHNISKĀ FAKULTĀTE

Mehānikas institūts

Aivars Kaķītis

Neelektrisku lielumu elektriskā mērīšana un sensori

Mācību līdzeklis

Jelgava 2008



Mācību līdzeklis sagatavots un izdots ESF projekta „Inženierzinātņu studiju satura modernizācija Latvijas Lauksaimniecības universitātē” ietvaros, projektu līdzfinansē Eiropas Savienība.

Kaķītis A. Neelektrisku lielumu elektriskā mērišana un sensori: Mācību līdzeklis. Jelgava: LLU, 2008. – 67 lpp.

ISBN 978-9984-784-53-3

© Aivars Kaķītis
© LLU Tehniskā fakultāte

SATURS

1. Fizikālie lielumi un to mērīšanas metodes.....	4
2. Svarīgākie termini.....	7
3. Sensoru darbības fizikālie principi.....	9
3.1. Aktīvie mērpārveidotāji	9
3.2. Pasīvie mērpārveidotāji.....	10
4. Spiediena mērīšana	23
5. Plūsmas mērīšana.....	29
6. Spēka mērīšana	34
7. Temperatūras mērīšana	36
8. Traucējumu novēršana mērsistēmās	47
9. <i>Picotechnology</i> datu apstrādes programmas	53
10. Izmantotā literatūra	67

1. FIZIKĀLIE LIELUMI UN TO MĒRĪŠANAS METODES

Apkārtējā vidē notiek ļoti daudzi mehāniski, ķīmiski, termodinamiski, bioloģiski, elektriski u.c procesi, kuri norises gaita ir jākontrolē un jāvada, lai nodrošinātu modernās industrijas un arī cilvēku sadzīves tehnisko ierīču un tehnoloģiju pareizu darbību. Lai varētu veikt procesu automātisko regulēšanu, svarīgs nosacījums ir nepieciešamo fizikālo lielumu mērīšana.

Visus fizikālos lielumus varam iedalīt pēc fizikālās izcelsmes un pēc parametra izmaiņas ātruma laikā.

No mērīšanas sistēmu viedokļa pēc fizikālās izcelsmes visus lielumus iedalām elektriskos lielumos un neelektriskos lielumos.

Pie elektriskajiem lielumiem pieder tie fizikālie lielumi, kas ir tieši saistīti ar elektriskām un magnētiskām parādībām dabā vai tehnikā. Piemēram: elektriskais spriegums, strāva, kapacitāte, magnētiskā plūsma u. t.t.

Pie neelektriskajiem lielumiem pieskaitām tos fizikālos lielumus, kuru izcelsme nav tiešā veidā saistīta ar elektriskām parādībām. Piemēram: ķermeņu kustības ātrums, pārvietojums, spiediens, temperatūra u.c.

Pēc parametra izmaiņas ātruma laikā fizikālos lielumus iedala statiskos (lēni mainīgos) un dinamiskos lielumos.

Lēni mainīgo lielumu noteikšanas sensori un mērsistēmas ir vienkāršākas, jo nav nepieciešams saskaņot mērsistēmas dinamiskos parametrus ar mērāmā lieluma izmaiņas ātrumu.

Izvēloties mērsistēmas dinamisku lielumu mērīšanai sevišķa uzmanība jāpievērš sensoru un mērsistēmu ātrdarbībai, jo izmantojot neatbilstošus sensorus ievērojami pieaugs mērījumu dinamiskā kļūda.

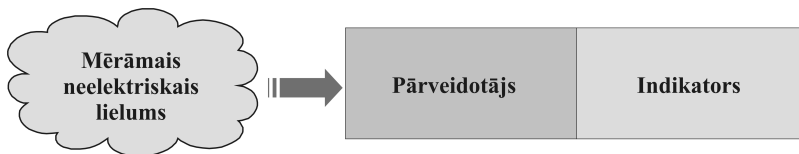
Procesa dinamiskumu var vērtēt no diviem aspektiem:

- ✓ fizikālā procesa dabas. Spiediena izmaiņas ātrums hidrauliskajā sistēmā var tuvuoties lielumam, kas samērojams ar pašas sistēmas daļu brīvo svārstību periodu. Tādā gadījumā procesi, kas norisinās sistēmā būs dinamiski attiecībā uz pašu sistēmu;
- ✓ mērsistēmas ātrdarbības pakāpes. Temperatūras izmaiņas ātrums tehnoloģiskajā procesā neizsauc parādības, kas būtu klasificējamas kā dinamiskas. Veicot temperatūras izmaiņas mērījumus ar iekārtu, kuras laika konstante ir līdzīga temperatūras izmaiņas ātrumam procesā, iegūsim kļūdainus rezultātus.

Šajā gadījumā process ir dinamisks attiecībā pret mērsistēmu. Lai novērstu mērījuma kļūdas, jālieto mēriekārta ar augstāku brīvo svārstību frekvenci.

Vēsturiski izveidojās un līdz šim brīdim eksistē neelektrisku lielumu mērīšanas

iekārtas, kuras varam attēlot ar sekojošu blokshēmu (1. att.).



1. att. **Vienkārša mērinstrumenta blokshēma**

Pēc šādas shēmas darbojas, gan mehānisko lielumu mehāniskie mērītāji, gan elektrisko lielumu mērītāji (mērinstrumenti), gan mehānisko lielumu elektriskie mērītāji.

Šāda veida ierīcēs mērījumu rezultāts tiek tieši nolasīts no indikācijas ierīces (displeja, skalas u.c.) un tālāk reģistrēts (parasti rakstiski).

Priekšrocības:

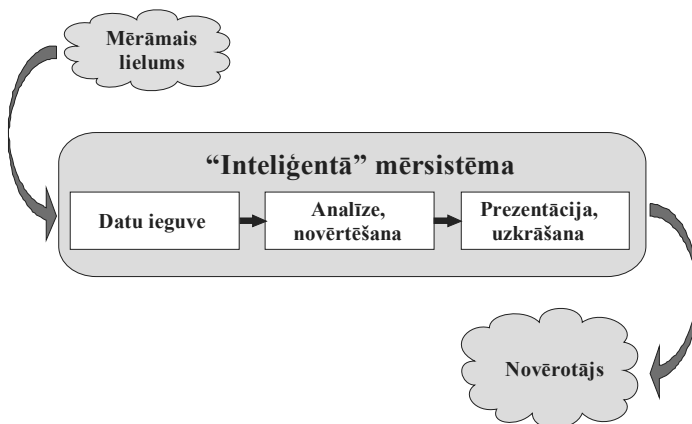
- ✓ vienkārši un relatīvi lēti instrumenti,
- ✓ pietiekoša precizitāte.

Trūkumi:

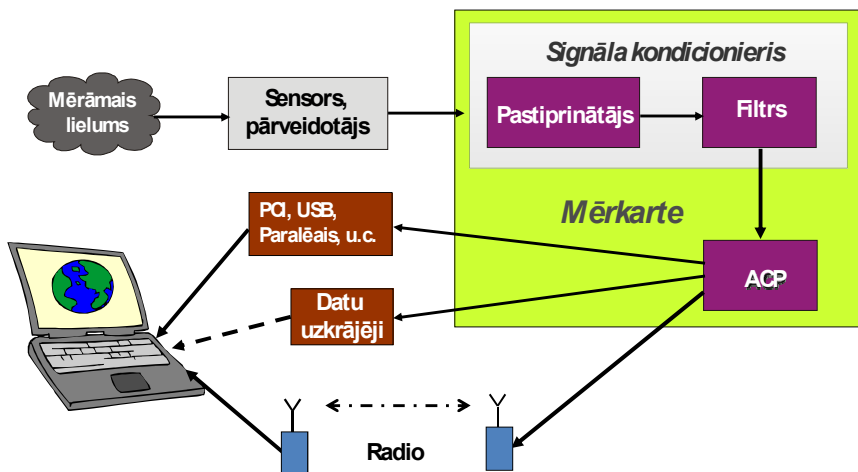
- ✓ sarežģīta iegūto datu reģistrācija un apstrāde,
- ✓ katra fizikālā parametra mērīšanai nepieciešams īpašs instruments.

20. g.s. 90-to gadu beigās notika strauja personālo datoru attīstība. Tas deva iespēju radikāli pārveidot mērīšanas sistēmas, ieviešot procesa analīzi un novērtēšanu jau pašā mērīšanas procesā. Tas ļāva izveidot t.s. „inteliģentās” mērsistēmas, kuras blokshēma redzama 2. attēlā.

„Inteliģentās” mērsistēmas galvenās sastāvdaļas ir sensors jeb pārveidotājs un mērkarte, kā arī dators ar nepieciešamajiem interfeisiem (3. att.). Mērāmais neelektriskais lielums tiek pārveidots elektriskā signālā. To izdara ar īpaši veidotiem sensoriem-pārveidotājiem. Analogais signāls no sensora izejas tiek padots uz signāla kondicionieri un tālāk uz analoģu-ciparu pārveidotāju, kur signāls tiek diskretizēts un pārveidots datoram saprotamā kodā. Ciparu signāls datorā nonāk caur kādu no interfeisiem, piemēram, PCI slotu, paralēlo, USB vai virknes saskarnēm. Signāls var tikt ierakstīts atmiņās kartē un nepieciešamības gadījumā ievadīts datorā. Signālu var pārraidīt uz datoru izmantojot radiosaiti vai interneta pieslēgumu. Rezultātā mērīšanas sistēma kļūst elastīga un labi piemērojama dotajiem apstākļiem.



2. att. Datorizētās mērsistēmas blokhēma



3. att. Datorizētās mērsistēmas galvenie bloki

2. SVARĪGĀKIE TERMINI

Sensors – ierīce, kura reaģē uz fizikāla parametra (temperatūras, spiediena) izmaiņām ar viegli izmēramu īpašību (izmēri, pārvietojums) maiņu. Piemēri: dzīvsudrabs, bimetāls.

Mērpārveidotājs (devējs) – ierīce, kura reaģē uz neelektriska fizikāla parametra (temperatūras, spiediena) izmaiņām izmainot savus elektriskos parametrus (pretestību, magnētiskās īpašības).

Aktīvais mērpārveidotājs – ģenerē elektrisko spriegumu vai strāvu (pjezoelektriķi);

Pasīvais mērpārveidotājs – izmaina jutīgā elementa elektriskos parametrus (pretestību, kapacitāti) u.c.

Transmitters – instruments ar strāvas izeju (*strāvas cilpa*), kurš apvieno mērpārveidotāju un strāvas pastiprinātāju. Šāds apvienojums ļauj pārvadīt signālu lielos attālumos ar augstu precizitāti un bez traucējumiem.

Strāvas cilpas tiek lietotas tālvadības sistēmās, kur signāls tiek pārvadīts lielos attālumos un nepieciešama augsta trokšņu noturība. Signāls tiek pārveidots 4 – 20 mA stiprā strāvā un var tikt pārvadīts līdz 300 m attālumam bez kropļojumiem. *Strāvas cilpas* tiek lietotas tiešai pieslēgšanai datorizētām sistēmām, datu uzkrājējiem un rūpniecisko procesu kontrolleriem.

Mērinstrumenta precizitāte (*accuracy*) – precizitāte ar kādu mērinstrumenta rādījums atbilst īstajai parametra vērtībai. *Mērinstrumenta precizitāte* parāda nolasījuma novirzi no reālās vērtības. To parasti izsaka procentos no pilnas skalas vērtības. Piemēram: 100-kPa manometrs ar precizitāti 1% nodrošinās nolasījumu ar novirzi visā skalas diapazonā ne lielāku kā ± 1 kPa.

Pamatnoteikums izvēloties mērpārveidotājus vadības sistēmām – to precizitātei (ieskaitot histerēzi, linearitāti un atkārtojamību) jābūt ne zemākai par 0.25% visā diapazonā.

Dažkārt instrumenta precizitāti norāda kā absolūto novirzi katram mēr diapazonam.

Mērījuma precizitāte (*precision*) – mazākā mērāmā lieluma izmaiņa, kura rada ticamu mērinstrumenta rādījumu. Instrumenta *mērījuma precizitāte* parāda tā spēju nodrošināt nolasījuma atkārtojamību ar uzdoto precizitāti. Atšķirību starp mērinstrumenta precizitāti un mērījuma precizitāti izskaidrosim piemērā, kurā pieņemsim, ka ar augstu precizitāti ir noskaidrots sprieguma lielums 100V. Izdarot piecus mērījumus ar vienu mērinstrumentu ieguvām sekojošus rezultātus: 104, 103, 103, 105 un 105V. No šiem lielumiem varam konstatēt, ka mērinstrumenta precizitāte nepārsniedz 5% (5V), mērījuma precizitāte ir apmēram $\pm 1\%$, jo maksimālā novirze no vidējās vērtības (104V) ir tikai 1V. Var atzīmēt, ka mērinstrumentu kalibrējot, tā

precizitāte varētu sasniegt ± 1 V. Šis piemērs parāda, ka mērinstrumenta precizitāti var palielināt to kalibrējot, bet mērījuma precizitāti ar kalibrēšanu palielināt nevar.

Kalibrēšana – process, kurā salīdzina mērinstrumenta rādījumu ar mērāmā lieluma etalona vērtību. Kalibrēšanas procesā salīdzina dotā mērinstrumenta rādījumus ar: 1.- primāro etalonu, 2.- darba etalonu, kura precizitāte ir augstāka par dotā mērinstrumenta precizitāti, vai 3.- zināmu ieejas signālu

Histerēze – nolasījumu starpība, kura parādās atkarībā no kuras puses (augšas vai apakšas) tuvojas mērāmajam lielumam. Histerēzi izsauc mehāniskā berze, magnētiskie efekti, elastīgās deformācijas vai termiskās parādības.

3. SENSORI UN TO DARBĪBAS PRINCIPI

Ir zināmas ļoti daudzas ierīces, kuras pārveido neelektriskus fizikālus parametrus elektriskos lielumos. Šādas ierīces sauc par *mērpārveidotājiem*. Visus mērpārveidotājus iedala divās lielās grupās – *aktīvie* un *pasīvie* mērpārveidotāji.

Aktīvie mērpārveidotāji spēka vai enerģijas ietekmē ģenerē elektrisko spriegumu vai strāvu. Piemēram, termopāris siltuma iedarbībā ģenerē elektrisko signālu, kurš ir proporcionāls temperatūru starpībai starp termopāra galiem.

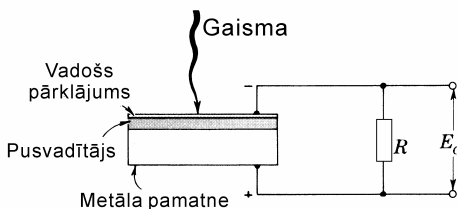
Pasīvie mērpārveidotāji izmaina savas elektriskās īpašības ārējas enerģijas ietekmē. Piemēram, fotorezistors izmaina savu pretestību saņemot gaismas starojumu. Rezultātā strāva caur fotorezistoru izmainās. Šajā gadījumā varam teikt, ka elektriskais izejas signāls ir atkarīgs no gaismas enerģijas daudzuma ar kuru fotorezistors tika apstarots.

3.1. Aktīvie mērpārveidotāji

Aktīvie mērpārveidotāji tiek klasificēti kā elementi, kuri ģenerē elektrisku spriegumu spēka vai enerģijas iedarbībā. Mērpārveidotājos signāla ģenerēšanai izmanto četras metodes – elektromehānisko, fotoelektrisko, pjezoelektrisko un termoelektrisko.

Elektromehānisko pārveidotāju darbības princips balstās uz Faradeja indukcijas likumu, kurš nosaka, ka vadītājam pārvietojoties magnētiskajā laukā uz tā galiem inducējas EDS. Minētais princips parasti tiek izmantots elektriskajos ģeneratoros. Nelielas jaudas līdzstrāvas ģeneratorus sauc par tahogeneratoriem un izmanto leņķiskā ātruma mērīšanai.

Fotoelementa darbības princips ir parādīts 4. attēlā. Tā slāņveida konstrukcija sastāv no metāla pamatnes, gaismjutīga pusvadītāja materiāla un strāvu vadoša caurspīdīga pārklājuma. Tas var būt speciālas strāvu vadošas lakas slānis. Gaismai krītot uz pusvadītāja materiālu tiek ģenerēts spriegums.

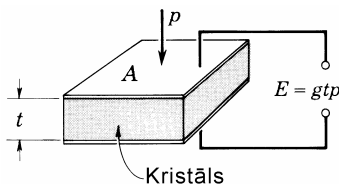


4. att. Fotoelementa uzbūves shēma

Fotoelementa izejas spriegums ļoti lielā mērā ir atkarīgs no slodzes pretestības R . Ja slodzes pretestība ir bezgalīgi liela izejas spriegumu aproksimē logaritmiska funkcija. Samazinot slodzes pretestību izejas sprieguma sakarība kļūst lineārāka. Fotoelementi parasti tiek izmantoti dažādos

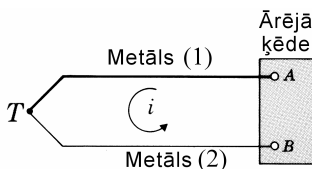
fotodetektoros.

Sintētiskā vai dabīgā kvarca kristāliem piemīt specifiska īpašība – **pjezoelektriskais efekts**. Pjezoelektriskais kristāls tiek novietots starp diviem elektrodien (5. att.). Pieliekot elektrodien spēku P , kristālā rodas mehāniskie spriegumi un notiek tā deformācija. Noteiktos kristālos deformācijas rezultātā uz to virsmas rodas potenciālu starpība.



5. att. **Pjezoelektriskais efekts**

kvarca plāksne. Pjezoelektriskie kristāli var tikt lietoti ne tikai spiedes spriegumu (5. att.), bet arī tangenciālo bīdes spriegumu mērīšanai. Šajā gadījumā izejas spriegums būs sarežģīta funkcija atkarībā no kristālu orientācijas.



6. att. **Divu metālu savienojums termoelektriskā efektā demonstrācijai**

temperatūras starpībai starp savienojumu T un punktiem A, B . Šāda veida mērpārveidotāja konstrukciju sauc par termopāri.

Pjezoelektriskie kristāli plaši tiek izmantoti, kā lēti dinamiski mainīga spiediena un vibrāciju mērpārveidotāji.

Ir zināmi trīs **termoelektriskā efekta** veidi, kas tiek izmantoti termo-EDS ģenerēšanai – Sībeka efekts, Peltjē efekts un Tomsona efekts. Temperatūras mērīšanai visplašāk tiek izmantots Sībeka efekts.

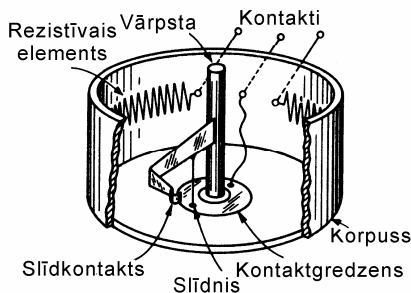
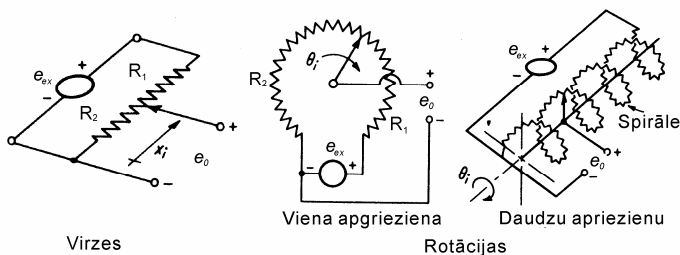
Ja kopā savieno divus dažāda metāla vadītājus (6. att.), starp punktiem A un B rodas EDS, kurš ir proporcionāls

3.2. Pasīvie mērpārveidotāji

Par pasīvo mērpārveidotāju sauc ierīci, kura spēka iedarbībā reaģē ar mehānisku kustību kas izsauc elektrisko parametru izmaiņu. Pie pasīvajiem mērpārveidotājiem pieder arī ierīces, kuras enerģijas (gaisma, siltums) ietekmē izmaina savas elektriskās īpašības (kapacitāti, pretestību). Pasīvos mērpārveidotājus plaši izmanto dažādu fizikālu lielumu (spēka, spiediena, temperatūras u. c.) elektriskai mērīšanai.

Potenciometriskais mērpārveidotājs ir ierīce, kurā slīdkontakts pārvietojas pa taisnas vai liektas forma augstas pretestības vadītāju. Rezistīvā daļa var būt gatavota no metāla vai speciāla sastāva pārklājuma (7. att.). Šādas ierīces sauc par

potenciometriem vai reostatiem. Rūpnieciski tiek ražoti dažāda konstruktīvā izpildījuma, izmēra, pretestības un precizitātes potenciometri.



7. att. Potenciometriskais mērpārveidotājs

Potenciometriskais mērpārveidotājs galvenokārt paredzēts virzes vai rotācijas (leņķiskā) pārvietojuma pārvietošanai elektriskā signālā. Daudzos gadījumos ar mehāniskām metodēm spēku un spiedienu iespējams pārvēidot pārvietojumā un tad ar potenciometru iespējams mērīt arī šos lielumus. Sakarība starp pārvietojumu un pretestības izmaiņu, atkarībā no potenciometra konstrukcijas, var būt lineāra, logaritmiska vai eksponenciāla.

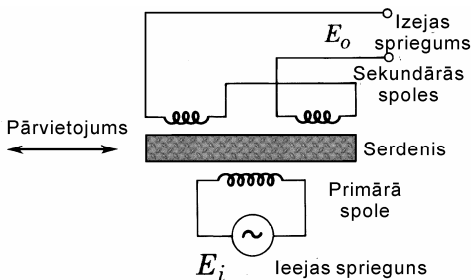
Jāatzīmē, ka potenciometriem ir samērā liela berze un tie ir ļoti jutīgi pret vibrācijām. Tā rezultātā izejas signāls ir ar augstu trokšņu līmeni un ierīces nav piemērotas dinamiskiem mērījumiem. Salīdzinājumā ar citiem mērpārveidotājiem potenciometri ir ļoti lēti un tiek plaši izmantoti. Potenciometri ir vienkārši instalējami un to barošanai var izmantot gan līdzstrāvu, gan maiņstrāvu. Visbeidzot, potenciometriskie mērpārveidotāji nodrošina lielu izejas signālu un tiem nav nepieciešami pastiprinātāji, tie viegli salāgojami ar nākošajām pakāpēm.

Pamatformula, pēc kuras aprēķina potenciometra izejas spriegumu e_0 ir sekojoša:

$$e_o = e_{ex} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

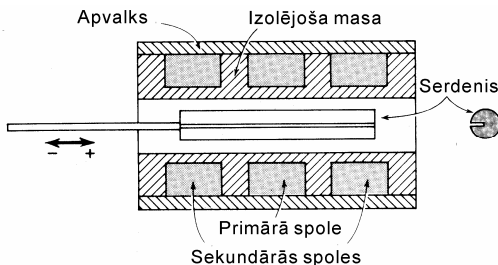
Tā ir sprieguma dalītāja formula, pieņemot, ka izejas signāls tiek noņemts no R_2 (3.5 att.). Formulu 1. var izmantot mērķēdes aprēķiniem, ja ir spēkā sakarība $R_1 + R_2 \ll R_m$, kur R_m mērinstrumenta ieejas pretestība.

Lineārais diferenciālais transformators



8. att. Lineārā diferenciālā transformatora shēma

spriegumu starpību sekundārajās spolēs. inducētā sprieguma vērtība katrā sekundārajā tinumā ir atkarīga no serdeņa stāvokļa attiecībā pret spolēm. Ja serdeņa novirzes no centrālā stāvokļa ir nelielas, tad ierīces izejas signāls ir lineāri mainīgs atkarībā no serdes pārvietojuma (10. att.).



9. att. Rūpnieciski ražota lineārā diferenciālā transformatora konstrukcija

Diferenciālā transformatora shēma parādīta 8. attēlā. Trīs spoles ir novietotas rindā tā, ka to iekšpusē brīvi var pārvietoties serdenis. Sekundāro spoļu vijumi ir saslēgti pretfāzē. Ierīces konstruktīvā uzbūve parādīta 9. attēlā.

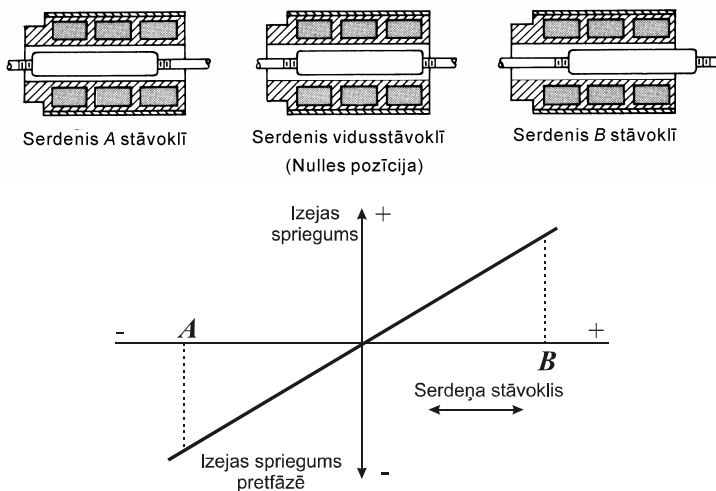
Maiņstrāvas barošanas spriegums tiek pievadīts centrā esošajam primārajam tinumam. Izejas spriegums ir vienāds ar

Lineārā posma garums rūpnieciski ražotajiem diferenciālajiem transformatoriem ir norādīts to pasē un tie reti kad tiek ekspluatēti ārpus šīs zonas. Šādas ierīces sauc par **lineārajiem diferenciālajiem transformatoriem** (LDT) (angļu valodā lieto saīsinājumu LVDT).

Nulles stāvokļa tuvumā ir iespējama neliela izejas signāla nonlinearitāte, jo pārejot nulles stāvoklim par 180°

mainās signāla fāze. Jāatzīmē, ka 10. attēlā parādītajā izejas sprieguma raksturlīknē ievērtēta šī fāzu nobīde (izejas signāls aiz fāzu detektora). Ierīces ātrdarbību limitē tās mehāniskā inerce un izvēlētajā barošanas sprieguma frekvence. Lai nodrošinātu vajadzīgo ātrdarbību barošanas sprieguma frekvencei jābūt vismaz 10 reizes augstākai par paredzamo darba frekvenci.

Daudzas kompānijas piedāvā plašu sortimentu dažāda izmēra un ātrdarbības rūpnieciski ražotus lineāros diferenciālos transformatorus. Tie var tikt izmantoti gan pārvietojuma mērīšanai, gan, pēc mehāniskās transformācijas arī spēka un spiediena mērīšanai. Ierīces parasti nodrošina augstu mērījumu precizitāti un traucējumu noturību, bet tās ir samērā dārgas.



10. att. **Diferenciālā transformatora raksturlīkne**

Kapacitāvais elements

Vienkāršākais kondensators sastāv no divām metāla plāksnēm starp kurām atrodas dielektrisks materiāls (11. att.).

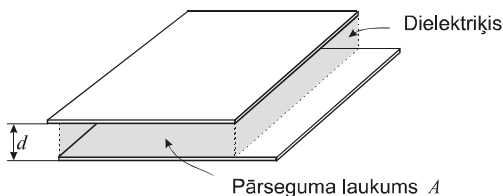
Šāda kondensatora kapacitāti (pikofarados) var aprēķināt pēc formulas:

$$C = 0.0885 \cdot \varepsilon \cdot \frac{A}{d}, \quad (2)$$

kur d – attālums starp plāksnēm, cm,

A – pārseguma laukums, cm^2 ,

ε - dielektriskā caurlaidība (gaisam $\varepsilon = 1$; plastikātiem $\varepsilon = 3$).



11. att. **Kapacitīvā mērpārveidotāja shēma**

Attēlā redzamais pārveidotājs izmantojams attāluma d mērīšanai, izmērot kapacitātes izmaiņu. Kapacitāte izmainās arī pārvietojot vienu plāksni attiecībā pret otru (laukuma A maiņa), kā arī iebīdīt citas dielektriskās caurlaidības dielektriķi starp

plāksnēm. Kapacitātes izmaiņu var izmērīt izmantojot tilta slēgumu.

Kondensatora izejas pretestība aprēķināma pēc formulas:

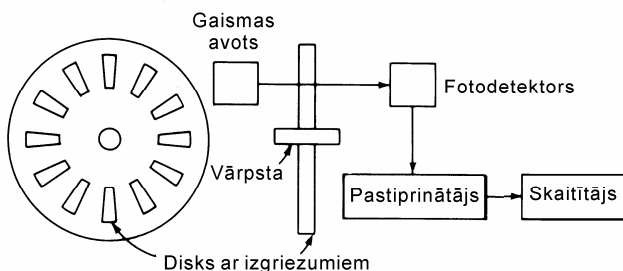
$$Z = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (3)$$

kur Z – kompleksā izejas pretestība, Ω , f - frekvence, Hz, C - kapacitāte, F.

Parasti izejas pretestība kapacitīvajiem mērpārveidotājiem ir augsta un tas jāņem vērā izvēloties signāla apstrādes nākošās pakāpes.

Impulsveida pārvietošanas mērpārveidotāji

Impulsveida pārveidotāji labi izmantojami gan pagriezienu leņķa, gan virzes

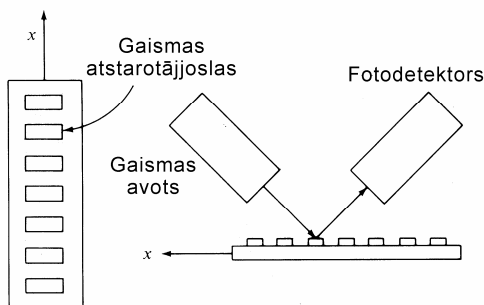


12. att. **Pagriezienu leņķa impulsveida mērpārveidotājs**

pārvietošanas noteikšanai. 12. attēlā parādīts pagriezienu leņķa pārveidotāja darbības princips. Diskam rotējot, caur atverēm no avota uz fotodetektora nokļūst impulsveida gaismas plūsma. Signāls tālāk tiek pastiprināts un novadīts uz impulsu skaitītāju.

Impulsu skaits ir proporcionāls pagriezienu leņķim. Signāla frekvence ir proporcionāla leņķiskajam ātrumam. Ierīces jutību nosaka un arī ierobežo atveru skaits diskā.

Impulsveida virzes pārvietouma mērītājā (13. att.) tiek izmantota atstarotā gaisma.



13. att. Lineārā pārvietouma impulsveida mērītājs

Ierīces kustīgajai daļai ir uznestas smalkas gaismu atstarojošas svītras. No avota virzītā gaisma impulsveidīgi tiek atstarota un absorbēta no kustīgā elementa virsmas. Gaismas impulsi nonāk fotodetektorā un tiek pārvēidoti elektriskās strāvas impulsos. Mērījuma rezultātu indikācija notiek tāpat kā leņķiskā pārvēidotāja gadījumā.

Rezistīvie tenzorezistori

Tenzorezistori ir visplašāk izplatītās ierīces deformācijas mērīšanai. To darbības princips balstās uz elektriska vadītāja pretestības atkarību no šķērssgriezuma laukuma izmaiņas mehāniskās deformācijas rezultātā. Parasti elektriskais vadītājs (metāla stieple) tiek pielīmēts ar izolējošu līmi pie deformējamā materiāla. Slogojot materiāls deformējas kopā ar līmes kārtiņu un elektrovadītāju. Deformācijas lielumu nosaka izmērot elektrovadītāja pretestības izmaiņu un veicot aprēķinus pēc tālāk apskatītās metodikas.

Elektrovadoša materiāla pretestību R aprēķina pēc formulas:

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad (4)$$

kur L – vadītāja garums, A – šķērssgriezuma laukums, ρ – materiāla īpatnējā pretestība.

Ja vadītājs tiek deformēts stiepjot vai spiežot, izmainās tā garums L un šķērssgriezuma laukums A . Pretestību ietekmē arī īpatnējās pretestības izmaiņa atkarībā no deformācijas pakāpes, šo materiāla īpašību sauc par *pjezorezistenci*.

Pretestības izmaiņu dR nosaka pēc formulas:

$$\frac{dR}{R} = \varepsilon_a (1 + 2\mu) + \frac{d\rho}{\rho}, \quad (5)$$

kur R – neslogota elementa pretestība, ε_a – elementa relatīvais pagarinājums, μ – Puasona koeficients, $d\rho$ - materiāla īpatnējās pretestības izmaiņa.

Tenzorezistora jutības koeficientu k definējam sekojoši:

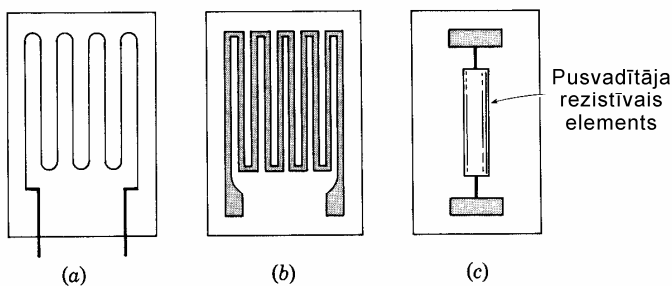
$$k = \frac{dR/R}{\varepsilon_a}. \quad (6)$$

Apvienojot ar formulu 5, iegūstam:

$$k = 1 + 2\mu + \frac{d\rho}{\varepsilon_a \rho}. \quad (7)$$

Ražotāji katra tenzorezistora pasē norāda jutības koeficienta vērtību un sākotnējo pretestību, tāpēc deformācijas noteikšanai nepieciešams izmērīt tikai pretestības izmaiņu ΔR . Lielākajai daļai tenzorezistoru jutības koeficients k ir nemainīgs plašā deformāciju diapazonā. Jutības koeficients k ir vienāds gan stiepes, gan spiedes deformācijām.

14. attēlā parādīti trīs biežāk lietoto tenzorezistoru veidi.



14. att. **Tenzorezistoru veidi.**

a – stieples, b – folijas, c – pusvadītāja.

Stieples tenzorezistorus izgatavo no tenzojutīga materiāla stieples ar diametru 0.01 līdz 0.025 mm, iestrādājot to polimēra pamatnē. Folijas tenzorezistorus parasti izgatavo vakuumā uzputinot vadošo slāni 0.02 mm biezumā uz polimēra pamatnes. Tas dod iespēju izgatavot optimālas konfigurācijas un formas tenzorezistorus dažādām vajadzībām. Pateicoties tehnoloģijas elastīgumam, tas ir visplašāk lietotais tenzorezistoru veids

Pusvadītāju tenzorezistorus izgatavo no aptuveni 0.25 mm biezas tenzojutīga silīcija plāksnītes. Tā priekšrocība ir ļoti augsts jutības koeficients ($k \approx 100$). Ierīces trūkumi ir materiāla trauslums un augsta pretestības atkarība no temperatūras.

Rūpnieciski ražotie metāla tenzorezistori galvenokārt tiek izgatavoti no konstantāna vai līdzīga sakausējuma stieples vai folijas.

Tenzorezistoru pretestība parasti ir 120, 350 vai 1000 Ω , pieļaujamā strāva no 5 līdz 40 mA; jutības koeficienti robežās no 2 līdz 4.

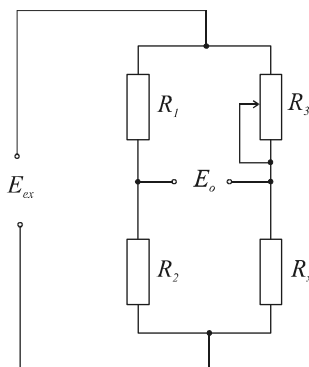
Līdzās vienkāršiem tenzorezistoriem plaši tiek izmantotas dažādu konfigurāciju tenzorezistoru rozetes, kuras sekmīgi izmantojamas sarežģītu spriegumu mērīšanai.

Mērpārveidotāju slēguma pamatshēmas

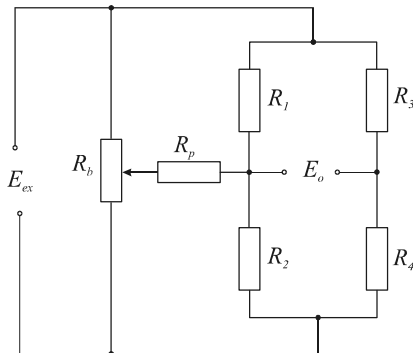
Mērpārveidotāja izejas signāls ir jāpieslēdz noteiktai elektriskajai ķēdei, kura nodrošina sekmīgu rezultātu ieguvu. Ilgstoši pētījumi parādīja, ka vislabākos rezultātus dod tilta slēgumu izmantošana. Ir izstrādāti daudzi tilta shēmu varianti, kas izmantojami visdažādāko mērpārveidotāju (rezistīvo, induktīvo u.c.) pieslēgšanai. Kaut arī kapacitatīvie un induktīvie tilti ieņem svarīgu vietu, visplašāk tiek lietots rezistīvais tilts. Pretestību salīdzināšanai un mērīšanai no 1 Ω līdz 1M Ω parasti tiek lietota visvienkāršākā tilta slēguma shēma - Vītstouna tilts (15. att.).

Rezistīvā tilta teorija balstās uz sprieguma dalītāja principiem.

Tilta slēguma pamatu veido četri rezistori R_1 , R_2 , R_3 un R_x . Rezistori R_1 un R_2 parasti ir augstas precizitātes ar zināmām vērtībām, R_3 ir ar maināmu pretestību, un R_x ir nezināmā pretestība, kura asociējas ar mērpārveidotāja izeju. Tilta barošanai tiek pieslēgts spriegums E_{ex} un ar rezistoru R_3 tilts tiek nolīdzsvarots.



15. att. Vītstouna tilta pamatshēma



16. att. Praktiski lietojama mērtilta līdzsvarošanas shēma

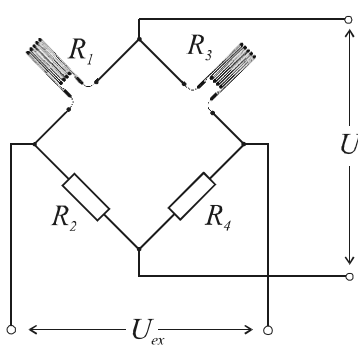
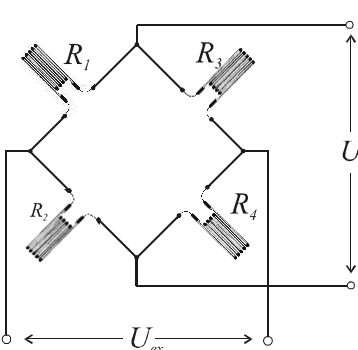
Praksē tiek lietotas daudzas tilta balansēšanas shēmas. Viena no praktiski lietojamām balansēšanas shēmām parādīta 16. attēlā.

Pieņemot, ka tilta pretestība R_0 , vienāda ar $R_0=R_1=R_2=R_3=R_4$, tad līdzsvarošanas potenciometra pretestība jāizvēlas $R_b \approx 10R_0$, un papildpretestība $R_p \approx 25R_0$.

Parasti tenzorezistora pretestības $R + \Delta R$ izmaiņa ir neliela un atbilst deformācijai. Tilta izejas spriegums arī ir neliels (3 – 20 mV) un ir atkarīgs no aktīvo rezistoru skaita tiltā (1. tabula).

1. tabula

Tilta slēguma shēma	Izejas sprieguma formula
Ceturdaļtilts	$U_o = \frac{\Delta R}{4R} \cdot U_{ex} = \frac{U_{ex}}{4} k \cdot \varepsilon$

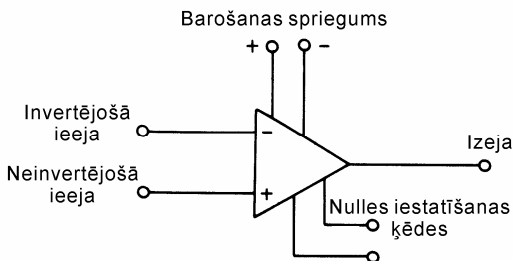
Pustilts 	$U_o = \frac{\Delta R}{2R} \cdot U_{ex} = \frac{U_{ex}}{2} k \cdot \varepsilon,$ ja $\Delta R_1 = -\Delta R_3$
Pilnais tilts 	$U_o = \frac{\Delta R}{R} \cdot U_{ex} = U_{ex} k \cdot \varepsilon,$ ja $\Delta R_1 = \Delta R_4 = -\Delta R_2 = -\Delta R_3$

Pastiprinātāji

Iepriekšējās nodaļās iepazīnāties ar dažādiem mērpārveidotājiem, kas dod iespēju pārveidot mehānisku lielumu proporcionālā elektriskā signālā. Iegūtais signāls parasti ir vājš (daži milivolti) un ar mazu jaudu. Lai šo signālu varētu pārvadīt lielākos attālos un izmantot procesus regulēšanai, to nepieciešams pastiprināt.

Instrumentālo pastiprinātāju, filtru, un daudzu citu analoģu un ciparu iekārtu pamatelements ir operacionālais pastiprinātāja (OP).

Operacionālos pastiprinātājus izgatavo mikroshēmu veidā. Tie satur daudzus tranzistorus un citus elementus un tiek baroti no līdzsprieguma avota. Funkcionāli OP ir diferenciālais pastiprinātājs ar vienpolāru izeju (17. att.). OP frekvenču josla parasti ir no līdzstrāvas līdz 1 MHz. Ar (+) apzīmēto ieeju sauc par *neinvertējošo ieeju*, jo izejas signāla fāze sakrīt ar ieejas signāla fāzi. Ja signālu pievada *invertējošajai ieejai* (-), izejas signāls maina fāzi uz pretējo, t.i. par 180° . Ja OP ir izveidoti uz bipolāro tranzistoru bāzes, to ieejas pretestība ir $1\text{ M}\Omega$ vai vairāk. Uz lauka tranzistoriem būvētiem OP ieejas pretestība ir ar kārtu $10^{12}\ \Omega$. Tik augstas ieejas pretestības vērtības nodrošina operacionālā pastiprinātāja ieejas strāvas lielumu mazāku par 1 pikoampēru.

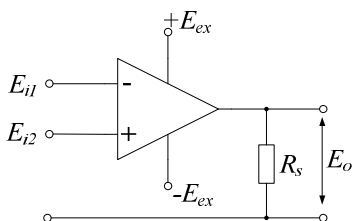


17. att. Operacionālā pastiprinātāja shēma

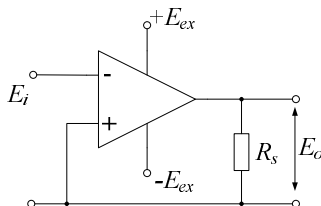
Izejas pretestības vērtība parasti ir mazāka par $1.0\ \text{k}\Omega$ un sprieguma pastiprinājuma koeficients bez atgriezeniskās saites ir ar kārtu 10^6 (120 dB).

Principiālajā shēmās parasti nenorāda operacionālā pastiprinātāja barošanas avota un "0" iestatīšanas ķēžu slēgumus, jo tie lielākai daļai OP ir standartizēti. Protams, jāatceras, ka šīm ķēdēm vienmēr jābūt pievienotām.

Turpmākajā izklāstā pievērsīsimies praktiski lietojamām operacionālo pastiprinātāju slēguma shēmām un to parametru izmaiņas iespējām izmantojot atgriezeniskās saites. Izklāstam izmantosim shēmas, kas parādītas attēlos 18 un 19.



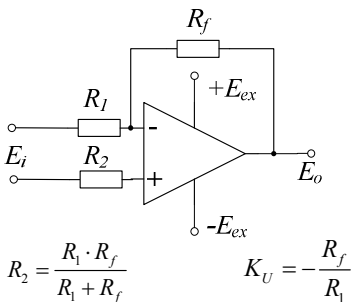
a) ar diferenciālu ieeju



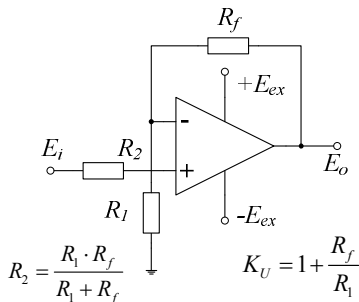
b) ar vienpolāru ieeju (invertējošs)

18. att. Operacionālā pastiprinātāja slēgums bez atgriezeniskās saites

Operacionālo pastiprinātāju slēgumu bez atgriezeniskās saites (17. att.) lieto ļoti reti, jo lielā pastiprinājuma dēļ jau nīcīgi ieejas signāli izsauc tā nestabilu darbību. Ņemot vērā to, ka pastiprinātāja ieejas pretestība ir ļoti liela, ieejas strāvas vērtība (shēmām 19. attēlā) ir tuva nullei.



a) invertējošs ar diferenciālu ieeju



b) neinvertējošs ar vienpolāru ieeju

19. att. Operacionālā pastiprinātāja slēgums ar atgriezenisko saiti

Apzīmējot spriegumu pastiprinātāja invertējošajā ieejā ar E_s , jābūt spēkā vienādībai:

$$\frac{E_i - E_s}{R_1} + \frac{E_0 - E_s}{R_f} = 0, \quad (8)$$

Ievietojot formulā 3.8 $E_0 = -K_U \cdot E_s$ vai $E_s = -E_0 / K_U$, iegūstam:

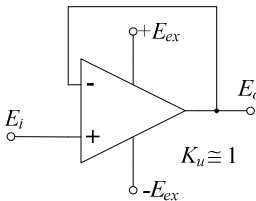
$$\frac{E_0}{R_f} = -\frac{E_i}{R_1} - \frac{E_0}{K_U} \left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_1} \right). \quad (9)$$

Ņemot vērā, ka pastiprinājuma koeficients K_u ir ļoti liels, pēdējo saskaitāmo varam atnest (tas tiecas uz 0) un iegūstam pastiprinājumu ievērtējot negatīvo atgriezenisko saiti:

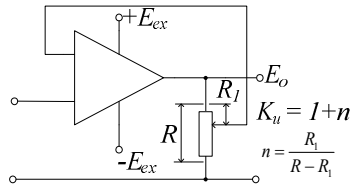
$$\frac{E_0}{E_i} = -\frac{R_f}{R_1}. \quad (10)$$

Ja pastiprinātājs ir ar ļoti augstu pastiprinājuma koeficientu, normālai darbībai nepieciešams ļoti mazs ieejas signāls E_i . Tas rada shēmas darbības nestabilitāti un lielu jutību pret traucējumiem.

Sprieguma atkārtotājs (20a. att.) ir ar pastiprinājuma koeficientu $K_u = 1$ un tas lieliski izmantojams augstas izejas pretestības signāla salāgošanai ar zemomīgu slodzi. Ar potenciometru samazinot atgriezeniskās saites stiprumu (20b. att.), var ieregulēt nepieciešamo pastiprinājumu lielāku par vienu.



a) neinvertējošs sprieguma atkārtotājs



b) atkārtotājs ar pastiprinājumu > 1

20. att. Sprieguma atkārtotāji

4. SPIEDIENA MĒRĪŠANA

Spiediena mērpārveidotājs ir ierīce, kura uztver un pārveido šķidruma vai gāzes spiedienu proporcionālā elektriskajā signālā.

Pie spiediena mērpārveidotājiem pieder arī ierīces, kuras spiediena spēku vispirms pārveido mehāniskā pārvietojumā, un tad, izmantojot pārvietojuma mēriekārtas, iegūst elektrisku izejas signālu. Pārvietojuma noteikšanai var izmantot dažādus fizikālus principus. Konkrēta principa izmantošanu nosaka iegūtā pārvietojuma lielums.

Lielākajā daļā spiediena mērpārveidotāju izmanto sekojošus principus:

1. Kapacitatīvo
2. Induktīvo
3. Pjezoelektrisko
4. Potenciometrisko
5. Tenzorezistīvo

Praksē visplašāk spiediena mērīšanai izmanto tenzorezistoru pārveidotājus.

21. attēlā parādītas ierīces, kuras pārveido spiediena spēku atbilstošā mehāniskā pārvietojumā. Vienkāršā membrāna spiediena ietekmē izliecas un tās vidusdaļa pārvietojas nelielā attālumā. Gofrētā membrāna, kapsula un silfons ir jūtīgāki pret spiediena iedarbi un pārvietojas lielākā attālumā salīdzinot ar vienkāršo membrānu.

Pārveidotāja reakciju uz spiediena izmaiņām nosaka kustīgā elementa masa, elastība un pašsvārstību frekvence. Spiediena pārveidotāja ātrdarbība ir ļoti svarīga dinamiski mainīgu spiedienu mērījumos. Vienas brīvības pakāpes mehānisku svārstību sistēmas pašfrekvence ir aprēķināma pēc formulas 3.11:

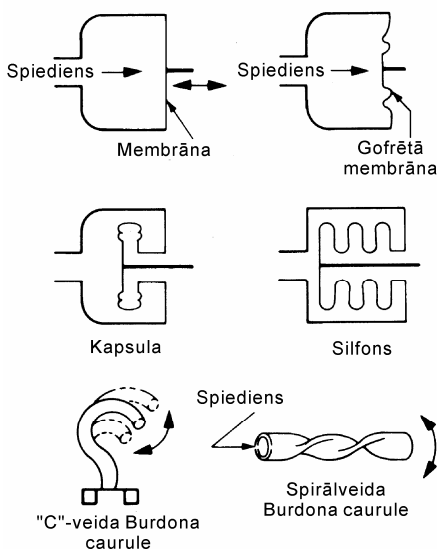
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (11)$$

kur f_n – pašsvārstību frekvence, k – elastības koeficients, m – masa.

Ir pierādīts, ka mērpārveidotāja paš-svārstību frekvencei jābūt par kārtu (10 reizes) lielākai par mērāmā spiediena izmaiņas frekvenci.

Jāņem vērā arī elektronisko komponentu reakcija (jutības izmaiņa un rezonanse) uz vibrācijām un paātrinājumu.

Silfoni (arī kapsulas) reaģē uz spiedienu saraužoties vai izplešoties. Ja svira vai bīdstienis ir savienots ar silfona brīvo galu, tā pārvietojums ir proporcionāls pieliktajam spiedienam.



21. att. Spiediena – pārvietojuma
pārveidotāji

Burdona caurules reaģē uz spiediena iedarbību izmainot liekuma rādiusu (“C” veida) vai savērpes leņķi (spirālveida).

Izvēloties spiediena mērpārveidotājus vienlīdz svarīga ir gan mehāniskā sistēmas daļa, gan arī pārvietojuma pārveidotājs elektriskā signālā.

Tikai atbilstoša abu daļu kombinācija nodrošinās augstu mērījuma precizitāti un iegūto datu atkārtojamību.

Mērāmo spiedienu veidi

Absolūtais spiediens Absolūtā spiediena pārveidotājos par atskaites spiedienu pieņem vakuumu. Pārveidotāja diafragmas viena puse ir pievienota telpai ar

absolūto vakuumu. Mērāmais spiediens tiek pievienots diafragmas otrai pusei. Absolūtais spiediens tiek mērīts paskālos (Pa) pēc absolūtās skalas.

Manometriskais spiediens Manometriskā spiediena pārveidotājos par atskaites spiedienu tiek pieņemts atmosfēras spiediens. Mērpārveidotāja membrānas viena puse ir savienota ar atmosfēru, bet mērāmais spiediens tiek pievadīts tās otrai pusei. Manometrisko spiedienu mēra paskālos (Pa) pēc manometriskās skalas.

Izolētais manometriskais spiediens Šī veida pārveidotājos references spiediens ir vienāds ar standarta atmosfēras spiediena vērtību. To nodrošina ar inertu gāzi (hēliju) pildīta izolēta kamera membrānas atskaites spiediena pusē. Mērāmais spiediens ir pielikts membrānas otrā pusē. Šī veida pārveidotājus lieto gadījumos, kad rādījumus nedrīkst ietekmēt atmosfēras spiediena svārstības vai apkārtējā vide nedrīkst saskarties ar mēriekārtu. Izolētais manometriskais spiediens tiek mērīts paskālos (Pa) attiecībā pret atmosfēras spiedienu jūras līmenī.

Diferenciālais spiediens Diferenciālā spiediena mērpārveidotājiem ir divas ieejas, kurām pievieno mērāmos spiedienus. Ierīces izmanto gadījumos, kad ar augstu precizitāti jānosaka mazas spiediena starpības līnijās ar augstu spiedienu. Ja izmanto

membrānas veida pārveidotājus, mērāmos spiedienus pievada katrā membrānas pusē. Diferenciālo spiedienu mēra paskālos (Pa).

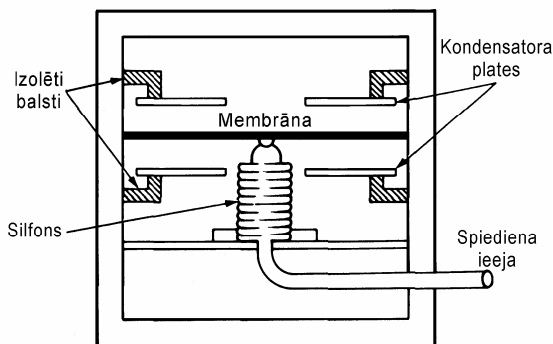
Statiskais virsspiediens raksturo pieļaujamo spiedienu, ko sensors var ilgstoši izturēt bez bojājumiem. To ierobežo sekojoši faktori:

- virsspiediens nedrīkst izjaukt pārveidotāja kalibrējumu,
- virsspiediens nedrīkst izsaukt pārveidotājā paliekošās deformācijas,
- virsspiediens nedrīkst sagraut pārveidotāja korpusu.

Dinamiskais virsspiediens ir īslaicīgi spiediena pieaugumi, kas var izsaukt iekārtas bojājumus. Pieļaujamā dinamiskā virsspiediena vērtības var atšķirties no pieļaujamā statiskā virsspiediena vērtības. Noteikta garuma un amplitūdas impulsveida spiediena pieaugumi var neietekmēt devēju, ja tā pašfrekvence ir zema.

Kapacitatīvie spiediena mērpārveidotāji

Kapacitatīvais spiediena mērpārveidotājs sastāv no divām metāla platēm, kuras ir nostiprinātas uz izolējoša materiāla balstiem (skat. 22. att.). Mērāmais spiediens tiek padots silfonā, kurš savienots ar membrānu. Tā izgatavota no strāvu vadoša materiāla



22. att. **Kapacitatīvais spiediena mērpārveidotājs**

un kalpo kā viena no kondensatora platēm. Rezultātā izveidojas divi kondensatori. Mainoties spiedienam silfons izplešas vai saraujas un pārvieto membrānu. Viena kondensatora kapacitāte palielinās, bet otra – samazinās. Dažās konstrukcijās ir izveidots tikai viens kondensators. Lai iegūtu

izejas signālu, mērpārveidotājs tiek ieslēgts maiņstrāvas tīklā ar fāzu detektoru izejā. Dažkārt kapacitātes izmaiņu izmanto ģenerators frekvences modulēšanai.

Tādā gadījumā ģenerators frekvences izmaiņa raksturo mērāmo spiedienu. Jāatzīmē, ka mērpārveidotāji ar diviem kondensatoriem, dod augstāku linearitāti.

Galvenā kapacitatīvo mērpārveidotāju priekšrocība ir nelielais membrānas pārvietojums, kas nodrošina lielu ātrdarbību. Tiem ir laba stabilitāte un izšķiršanas spēja, maza histerēze un augsta mērījumu atkārtojamība.

Trūkumi – augsta izejas pretestība, kas nepieļauj garus vadus pārveidotāja pieslēgšanai, sarežģītas elektroniskās shēmas. Kapacitatīvie elementi ir ļoti jutīgi pret temperatūras izmaiņām.

Kapacitatīvos mērpārveidotājus lieto spiedieniem no vakuuma līdz vairākiem megapaskāliem.

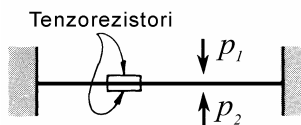
Spiediena mērpārveidotāji ar tenzorezistoriem

Tenzorezistorus uzlīmē membrānai kā tas parādīts 23. attēlā. Iegūtais izejas signāls ir membrānas vietējās deformācijas funkcija, kur ir atkarīga no spiedienu starpības membrānas abās pusēs. Praksē izmanto gan folijas, gan pusvadītāju tenzorezistorus. Praktiski iegūtā precizitāte ir $\pm 0.5\%$ no skalas pilnās vērtības. Membrānas izliekumu un spiediena starpību Δp saista lineāra sakarība, ja izliekums nepārsniedz vienu trešdaļu no membrānas biezuma.

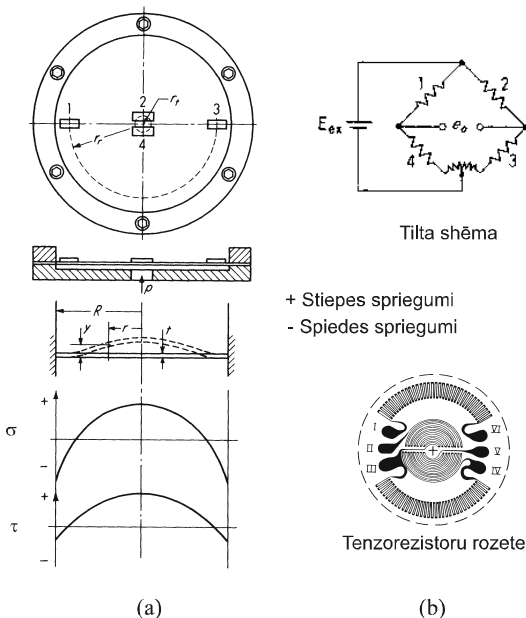
Ja pārveidotājos lieto folijas tenzorezistorus, tad tos uzlīmē tieši uz plakanās membrānas vai, lietojot gofrēto membrānu, uz atsevišķas tenzometriskās sviras, kura mehāniski saistīta ar membrānu. Plakanajām membrānām lielās deformācijās raksturīga nelinearitāte, ko izsauc malu iespilējums. Spriegumu aina membrānas šķēlumos ir pateicīga mērīšanai, jo vienlaicīgi uz membrānas virsmas eksistē gan stiepes, gan spiedes spriegumi. Tas nozīmē, ka uz membrānas var uzlīmēt pilnu aktīvo tenzorezistoru tiltu, iegūstot lielu izejas spriegumu un labu temperatūras kompensāciju. Tenzorezistori

2 un 4 (24a. att.) novietoti membrānas centrā un uztver stiepes spriegumus, bet 1 un 3 membrānas malā, kur darbojas spiedes spriegumi.

Lai vienkāršotu pārveidotāju iz-gatavošanu un pilnīgi izmantotu membrānas



23. att. Membrānas tipa pārveidotājs ar tenzorezistoriem



24. att. Membrānas veida pārveidotāja uzbūve

spriegumstāvokļa īpatnības, izmanto speciālas tenzorezistoru rozetes.

24b. attēlā redzamā tenzorezistoru rozete izveidota tā, lai tās aktīvie elementi pilnībā uztvertu gan stiepes, gan spiedes spriegumus.

Tenzorezistoru izvadi novietoti vismazāko spriegumu zonā, kas nodrošina kontaktu ilgizturību.

Izmantojot šāda veida tenzorezistoru rozetes, membrānas rādiusu R iespējams samazināt un to izveidot kopā ar pārveidotāja korpusu. Tas ļauj palielināt mērījumu precizitāti un samazināt histerēzi.

Ja mērpārveidotājs paredzēts dinamiski mainīgu spiedienu mērīšanai, svarīgi zināt tā brīvo jeb pašsvārstību frekvenci. Membrānām ir daudzas pašsvārstību frekvences, taču mūs interesē tikai zemākā no tām. Membrānām ar iespīlētām malām, kuras svārstās šķidrumā, zemākā pašsvārstību frekvence f (Hz) ir aprēķināma pēc formulas:

$$f = \frac{10.21}{a^2} \sqrt{\frac{E \cdot t^2}{12(1 - \mu^2)\rho}}, \quad (12)$$

kur ρ – membrānas materiāla blīvums, kg/m^3 ; t – diafragmas biezums, m; a – diafragmas rādiuss, m; E – elastības modulis, Pa; μ – Puasona koeficients.

Pjezorezistīvie jeb pusvadītāju spiediena pārveidotāji parasti sastāv no silīcija membrānas, kurā izveidots tenzorezistīvais tilts deformācijas noteikšanai.

Rūpnieciski ražo dažāda veida spiediena mērpārveidotājus plašam mērāmo spiedienu diapazonam. Daži no tiem ir parādīti 25. attēlā.



a



b



c

25. att. Rūpnieciski ražotie spiediena mērpārveidotāji

a, c – pārveidotāji ar nerūsējošā tērauda membrānu un tenzorezistoru
tiltu. b – pusvadītāiu spiediena mērpārveidotāis

Parasti rūpnieciski ražotajos pārveidotājos ir iemontēti pastiprinātāji, kuri pastiprina tilta izejas spriegumu līdz standarta līmenim 0 – 5V, vai 0 – 10V.

5. PLŪSMAS MĒRĪŠANA

Proportcionālajās hidrauliskajās sistēmās bieži nepieciešams mērt plūsmas lielumu cauruļvados. Šim nolūkam ir izstrādātas ierīces, kuras sauc par caurplūdes mērītājiem. Lielai daļai caurplūdes mērītāju precīzu mērījumu iegūšanai nepieciešams nodrošināt precīzus spiediena un temperatūras mērījumus.

Plūsmas mērītāji ar vietējām pretestībām

Mīnētajai kategorijai atbilst vairāki plūsmas mērītāju veidi. Tie atšķiras ar vietējās pretestības konstruktīvo izveidojumu, bet visiem mērītājiem kopīga pazīme ir tā, ka plūsmas lieluma mērs ir spiediena kritums uz vietējās pretestības cauruļvadā.

Asu malu drosele (26. att.) ir visplašāk izmantotais plūsmas mērīšanas elements. To nosaka konstrukcijas vienkāršība, zemā cena un plašais pētījumu rezultātu klāsts, kas ļauj precīzi noteikt parametrus un prognozēt iekārtas darbību.

Mērītāja tilpumisko caurplūdi aprēķina pēc formulas:

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{2g}{\rho} (p_1 - p_2)}, \quad (13)$$

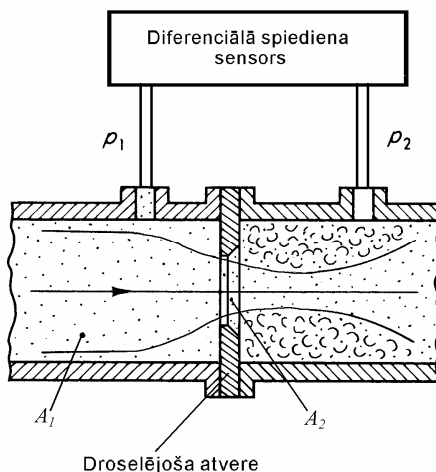
kur Q – tilpumiskā caurplūde, m^3/s ;

A_1 – vada šķēsgriezuma laukums, m^2 ;

A_2 – droseles atveres laukums, m^2 ;

ρ – šķidruma blīvums, kg/m^3 ;

$p_1 - p_2$ – spiediena kritums, Pa.



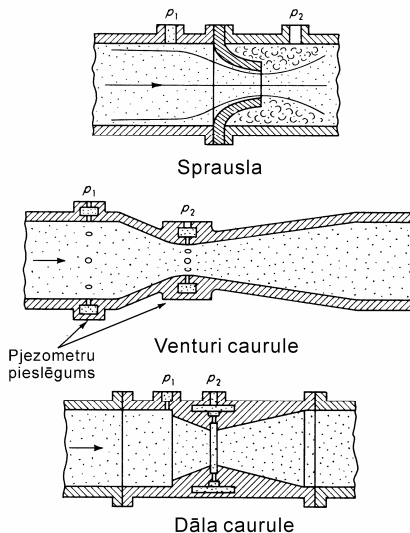
26. att. Droseles tipa plūsmas mērītājs

Sprauslas, Venturi caurule un Dāla caurule (27. att.) darbojas pēc tāda paša principa, kā drosele; nozīmīgi atšķiras tikai parametru skaitliskās vērtības. Venturi caurules priekšrocības ir augstā precizitāte un mazi plūsmas spiediena zudumi, bet tā ir dārgāka nekā drosele. Lielāki spiediena zudumi ir gan sprauslai, gan droselei. Venturi caurules sākotnējo cenu kompensē mazākas ekspluatācijas izmaksas.

Dāla plūsmas caurule raksturīga ar neparedzamu spiediena starpības Δp izmaiņu (tāpat kā droselei) un maziem spiediena zudumiem (līdzīgi vai pat mazāki kā Venturi caurulei).

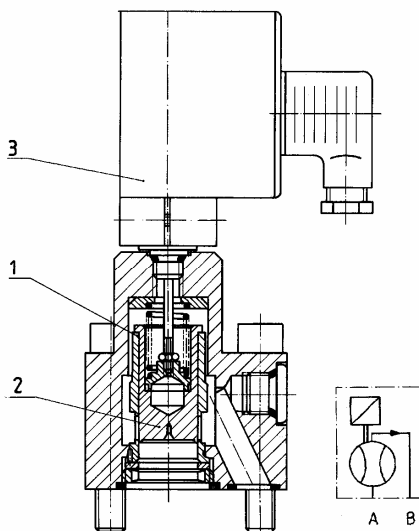
Mērītāja izvēli (starp droseli, Venturi cauruli, sprauslu un Dāla cauruli) nosaka arī vairāki citi parametri:

- precizitāte (kalibrēta Venturi caurule nodrošina visaugstāko precizitāti),
- aizsērēšanas intensitāte, darbā ar suspendētiem šķidrumus (Venturi ir vislabākā),
- precizitātes zudums izdīluma rezultātā (Venturi, sprauslas un Dāla caurule ir labākas par droseli),
- cena un mērītāja elementu nomaiņas iespējas un vienkāršība pārejot uz citu mērīšanas diapazonu.

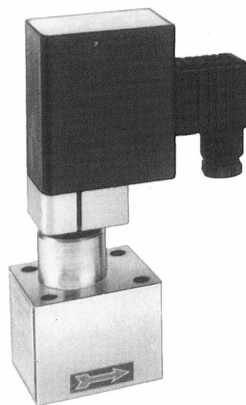


27. att. **Spiediena krituma tipa plūsmas mērītāji**

Adaptīvas drosesles plūsmas mērītāja darbības laikā drosesles šķērsgriezuma laukums mainās plūsmas dinamiskā spiediena iedarbības rezultātā (28. attēls).



28. att. Adaptīvās drosesles mērītāja uzbūve
A - ieeja, B – izeja



28a. att. Rūpnieciski ražots
adaptīvās drosesles plūsmas mērītājs

Ienākošā plūsma iedarbojas uz cilindriskā plūsmdaļa 2 gala virsmu un, saspiežot atsperi, pārvieto to uz augšu atverot ceļu plūsmai caur ieliktni 1.

Līdzsvara gadījumā, kad spiediena krituma radītais spēks uz droseli ir vienāds ar atsperes pretspēku, plūsmdaļa pārvietoējums ir tieši proporcionāls plūsmas tilpumiskajai vērtībai. Plūsmdalis ir savienots ar pārvietoējuma mērpārveidotāju un signāla kondicionēšanas shēmu (bloks 3). Iekārtas izejā tiek nodrošināts elektrisks signāls, kurš ir tieši proporcionāls plūsmas lielumam. Pretēja virziena plūsmas gadījumā ierīce darbojas kā pretvārsts un noslēdz plūsmas ceļu.

Adaptīvās drosesles plūsmas mērītājus iesaka lietot sekojošos gadījumos:

- spēka hidroliko sistēmu darbības kontrolei, apkopei un remontam,
- automātiskās regulēšanas sistēmās hidrolikās piedziņas režīmu nodrošināšanai, proporcionālas un servohidraulikas iekārtās,
- laboratorijas mēriekārtās zinātnisko pētījumu nolūkos.

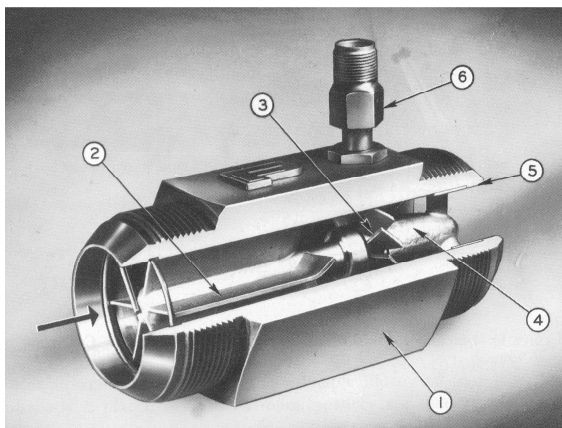
Turbīnas plūsmas mērītāji

Turbīna ir viena no populārākajām plūsmas mērīšanas ierīcēm (skat. 29. att.). Šķidruma plūsmai virzoties caur plūsmas mērītāju dinamiskā spēka ietekmē turbīnas rats sāk griezties. Kopā ar turbīnas ratu griežas arī tajā nostiprinātais pastāvīgais magnēts. Turbīnas augšdaļā ir nostiprināts magnētiskā lauka izmaiņas detektors, kas generē elektrisko impulsu uz katru turbīnas rata apgrieziena. Impulsu skaits noteiktā

laikā ir proporcionāls caurplūdušā šķidruma tilpumam. Rezultātu iegūst saskaitot impulsus ar elektronisku impulsu skaitītāju. Impulsu frekvence ir proporcionāla plūsmas tilpumiskajai vērtībai. Turbīnas mērpārveidotāji dod labu precizitāti mainīgu plūsmu gadījumos. Caurplūdi Q aprēķina pēc formulas:

$$Q = \frac{f}{K_t}, \quad (14)$$

kur f pulsāciju frekvence, K_t – turbīnas parametrs. Turbīnas parametrs ir atkarīgs no plūsmas lieluma un šķidruma kinemātiskās viskozitātes. Turbīnas mērpārveidotāju precizitāte ir $\pm 2.5\%$ vai $\pm 0.5\%$, ja lieto linearizācijas shēmas.



29. att. **Plūsmas mērīšanas turbīna**

1 – korpuss, 2 – ieejošās plūsmas stabilizatori, 3 – turbīnas lāpstiņas, 4 – izejošās plūsmas izlīdzinātājs, 5 – caurules pievienošanas vītne, 6 – izejas signāla konektors.

Mainīga tilpuma plūsmas mērītāji

Mainīga tilpuma plūsmas mērītājus galvenokārt lieto iekārtās, kur nepieciešama augsta stacionāras plūsmas mērīšanas precizitāte.

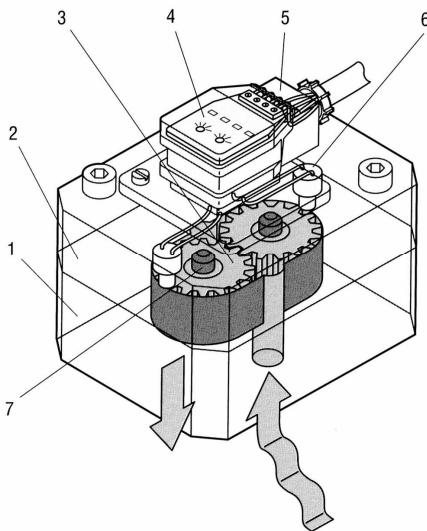
Plašāk izmanto šāda veida mainīga tilpuma plūsmas mērītājus:

- ◆ lāpstiņu mērītāji,
- ◆ rotācijas skaitītāji,
- ◆ zobratu mērītāji.

Eļļas plūsmu noteikšanai hidrauliskajās sistēmās parasti izmanto zobratu tipa mērītājus, kuriem ir sekojošas priekšrocības:

- ♦ augsts darba spiediens (63Mpa),
- ♦ augsta precizitāte ($\pm 0.3\%$ no reālās vērtības), pat mērdiapazona sākumā un beigās,
- ♦ mazs spiediena kritums,
- ♦ rezultātus neietekmē darba un apkārtējās vides temperatūra.

Zobratu plūsmas mērītāju uzbūve un darbība ir līdzīga zobratu hidromotoru uzbūvei un darbībai (30. att.).



30. att. Tilpumiskais plūsmas mērītājs

1- korpuss, 2 - vāks, 3 - zobrats, 4 – priekšpastiprinātājs, 5 - konektors, 6 - sensors, 7 – gultnis.

Mērītāja zobratu 3 piedzen caurplūstošā eļļas plūsma tāpat kā zobratu hidromotoros. Zobrati brīvi griežas mazas berzes lodīšu vai slīdgultņos 7 un nav kontaktā ar sensoru 6. Informācija par zobratu rotāciju magnētiskā ceļā tiek nodota sensoram 6. Sensoru no zobratu telpas atdala nemagnētiska materiāla spiedienizturīga plāksne. Zobratam pagriežoties par vienu zobu, tiek ģenerēts impulss, kas raksturo vienam zobam atbilstošo izplūstošo šķidruma tilpumu V_{gz} . Impulsu pastiprina ar priekšpastiprinātāju 4 un pārveido taisnstūra formā. Lai nodrošinātu augstāku precizitāti un plūsmas virziena indikāciju, izmanto divkanālu mērīšanu. Mērītāja izejas signāls tiek pārveidots atbilstošā formā izmantošanai skaitītājos vai automātiskās regulēšanas sistēmās.

6. SPĒKA MĒRĪŠANA

Lai noteiktu spēka lielumu ar pārvietojuma mērīšanu, izmanto dažāda veida elastīgos elementus. Visvienkāršākais spēka-pārvietojuma pārveidotājs ir parasta atspere. Arī elastīga materiāla stieni var izmantot kā spēka-pārvietojuma pārveidotāju (3.30. att.). Spēku F aprēķina pēc formulas:

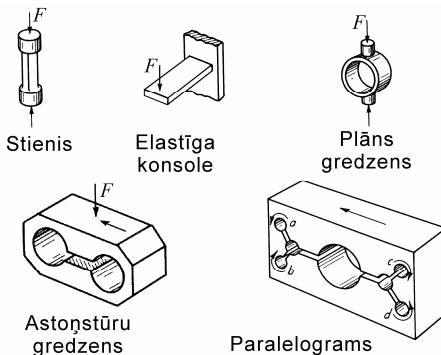
$$F = \frac{A \cdot E}{L} y, \quad (15)$$

kur A – šķēsgriezuma laukums, m^2 ;

L – garums, m;

E – elastības modulis, Pa;

y – absolūtais pagarinājums, m.



31. att. Spēka – pārvietojuma elastīgie pārveidotāji

Elastīgas konsoles spēka un deformācijas (gala pārvietojuma) sakarību izsaka vienādojums:

$$F = \frac{3E \cdot I}{L^3} y, \quad (16)$$

kur I ir aksiālais konsoles inerces moments pret galveno centrālo inerces asi deformācijas virzienā.

Spēka mērīšanai bieži izmanto elastīgus gredzenus (skat. 31. att.).

Plāna, elastīga gredzena spēka-deformācijas sakarību izsaka vienādojums:

$$F = \frac{16EI}{(\pi/2 - 4/\pi) \cdot d^3} y, \quad (17)$$

kur d – gredzena ārējais diametrs, I – gredzena šķēluma laukuma aksiālais inerces moments pret atbilstošo galveno centrālo asi.



32. att. Rūpnieciskie spēka pārveidotāji

Praksē bieži izmanto sarežģītākas formas spēka-pārvietojuma pārveidotājus: astoņstūru gredzenus un paralelogramus. Šo pārveidotāju izmantošana ļauj atrast spēka vektora komponentes ar attiecīgu matemātisku funkciju palīdzību.

Deformāciju (pārvietojumu) var izmērīt izmantojot kādu no pārveidotājiem (LDT, kapacitatīvo), bet praksē visbiežāk lieto tenzorezistorus.

Tirgū daudzas firmas piedāvā plašu spēka mērpārveidotāju klāstu (32. att.).

7. TEMPERATŪRAS MĒRĪŠANA

Temperatūras mērīšanai tiek piedāvāti daudz un dažādi mērpārveidotāji, kuros izmanto atšķirīgus fizikālos darbības principus. Kopumā temperatūras sensoriem tiek izvirzītas šādas prasības:

- ✓ izmantošanas iespējas lielā temperatūras diapazonā,
- ✓ lineāra raksturlīkne visā mērāmās temperatūras diapazonā,
- ✓ ātra reakcija uz mērāmo lielumu izmaiņām,
- ✓ reproducējamība, tas nozīmē, devēja raksturlīkne nedrīkst izmainīties ilgākā laika periodā, neraugoties uz to, ka temperatūra nemitīgi mainās (stabilitāte ilgtermiņā),
- ✓ iespējami mazāka histerēze, t.i., mērīšanas signālam jābūt neatkarīgam no virziena, kādā tuvojas mērāmais punkts,
- ✓ niecīga termiskā masa, lai nevajadzīgi neietekmētu mērāmo temperatūru,
- ✓ nelielas novirzes no pielāides, lai būtu iespējams viegli apmainīt bojātus devējus bez mērierīces atkārtotas un darbietilpīgas salāgošanas.

Protams, ka ne visi šajā nodaļā aplūkotie devēji vienlīdz labi atbilst izvirzītajām prasībām. Temperatūras sensoros, ko reizēm sauc arī par mērtaustiem, tiek izmantota elektriskās pretestības atkarība no temperatūras izmaiņām, pie kam elektrovadītspēja mainās atkarībā no izmantotā materiāla. Izņēmums ir termopāri, kas ģenerē EDS proporcionālu temperatūras starpībai uz termopāra galiem.

Temperatūras sensorus iedala 6 lielās grupās:

- ✓ rezistīvie metāla sensori,
- ✓ termistori,
- ✓ silīcija temperatūras sensori,
- ✓ integrālie pusvadītāju sensori,
- ✓ infrasarkanā staru temperatūras mērierīkstas,
- ✓ termoelementi (termopāri).

Rezistīvie metāla sensori

Pirmie mērtausti, kas jau gadiem ilgi ir sevi pierādījuši temperatūras mērītehnikā, bija izveidoti no platīna vai vara stieples, kas uztīta uz turētāja. Vēlāk devēju materiāliem pievienojās arī niķelis. Pēdējos gados ražotāji aizvien vairāk piedāvā arī pretestības mērtaustus, kas izgatavoti pēc vismodernākajām mūsdienu pusvadītāju tehnoloģijām. Šajos sensoros izmanto nevis tievu metāla stiepli, bet plānu

foliju, kura uznesta uz turētāja. Par devēja materiālu līdzās platīnam (Pt) un niķelim (Ni) pēdējā laikā tiek izmantots arī irīdijs (Ir). Irīdijs ir trausls materiāls un to nevar izveidot stieples formā, taču tas noder mērīšanai zemu temperatūru diapazonā: līdz – 200 °C. Atšķirībā no platīna, irīdijam pat šādā temperatūrā neparādās vērā ņemams histerēzes efekts. Neatkarīgi no konstrukcijas veida, visos pretestības mērtaustos tiek izmantota plašu temperatūras diapazonu aptveroša, gandrīz lineāra sakarība starp materiāla elektrisko pretestību un devēja temperatūru. Matemātiski šo sakarību tuvināti izsaka šādi:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta T), \quad (18)$$

kur R_t = pretestības vērtība omos (Ω) temperatūrā t ,
 R_0 = pretestības vērtība omos (Ω), ja temperatūra ir $t_0 = 0^\circ\text{C}$ (atskaites lielums),
 α = temperatūras koeficients, kas apzīmē relatīvo pretestības izmaiņu atkarībā no temperatūras (1/K),
 ΔT = temperatūras starpība Kelvins (K).

Visiem metāliem, kurus izmanto pretestības termosensoros, ir liela īpatnējā pretestība un augsts temperatūras koeficients α . Temperatūras koeficienta α atkarība no temperatūras ir niecīga.

Nominālās vērtības pretestības mērtaustiem nosaka standarts IEC 751 (DIN 43760). Tabulā ir apkopoti dažī parametri un pieļaujamās novirzes precizitātes klasēm A un B.

2. tabula

Niķeļa temperatūras sensors (pieņemtais apzīmējums Ni-100)			
Nominālā pretestība ($t=0^{\circ}\text{C}$), Ω	100 Ω		
Temperatūras koeficients α robežās no 0°C līdz 100°C	$\alpha = 0,00618 \text{ 1/K}$		
Temperatūras diapazons	$- 60^{\circ}\text{C}$ līdz $+ 150^{\circ}\text{C}$		
Parametri:			
Mērtemperatūra	$- 60^{\circ}\text{C}$	0°C	100°C
Pretestība	$69,5 \pm 1,0 \Omega$	$100,0 \pm 0,2 \Omega$	$161,8 \pm 0,8 \Omega$
Platīna mērpārveidotājs (pieņemtais apzīmējums Pt-100)			
Nominālā pretestība ($t=0^{\circ}\text{C}$), Ω	100 Ω		
Temperatūras koeficients α robežās no 0°C līdz 100°C	$\alpha = 0,00385 \text{ 1/K}$		
Temperatūras diapazons	$- 200^{\circ}\text{C}$ līdz 650°C (A klase), līdz 850°C (B klase)		

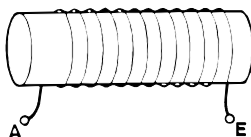
Parametri:

Mērtemperatūra	- 200 °C	0 °C	200 °C	400 °C
Pretestība				
(A klase)	$18,49 \pm 0,24 \, \Omega$	$100,0 \pm 0,13 \, \Omega$	$175,84 \pm 0,20 \, \Omega$	$247,04 \pm 0,79 \, \Omega$
(B klase)	$18,49 \pm 0,56 \, \Omega$	$100,0 \pm 0,30 \, \Omega$	$175,84 \pm 0,48 \, \Omega$	$247,04 \pm 0,79 \, \Omega$

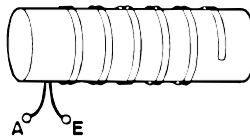
Apzīmējumi izveidoti no jutīgā materiāla ķīmiskā elementa simbola un omiskās pretestības skaitliskās vērtības temperatūrā $t_0=0^\circ\text{C}$, piemēram, Pt-100 – platīna sensors ar nominālo pretestību $100 \, \Omega$, ja $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

Lai gan šī norma tika noteikta pretestības mērtaustiem ar stieples tinumu, ražotāji atbilstoši tai izgatavo arī folijas mērpretestības.

Pretestības mērtaustos ar stieples tinumu devēja materiāls, kura diametrs ir no 0.05 mm līdz 0.3 mm, tiek uztīts uz keramikas ķermeņa. Izšķir konstrukcijas ar lineāro un bifilāro tinumu (sk. 33. att.).



a) lineārais tinums



b) bifilārais tinums

33. att. Lineārais un bifilārais tinums

Temperatūras mērtaustos izmantoto materiālu īpatnējā pretestība nav sevišķi liela, tāpēc, lai sasniegtu nominālo pretestību nepieciešams liels vijumu skaits. Sensori, kuri izveidoti ar lineāro tinumu, ir ar lielu induktivitāti. Tas palielina sensora laika konstanti un šādus sensorus izmanto lēni mainīgas temperatūras mērīšanai. Bifilārais tinums nodrošina bezinduktīva sensora veidošanu un lielāku tā ātrdarbību.

Folijas pretestības mērtaustus izgatavo pēc dažādām pusvadītāju tehnoloģijā pazīstamām metodēm. Uz nesējķermeņa uzklāj $1 \, \mu\text{m}$ līdz $2 \, \mu\text{m}$ biezu jutīgā materiāla kārtiņu. Pēc tam sensors tiek kalibrēts, lai iegūtu nominālo vērtību. Pēc tam atkarībā no izmantošanas jomas, tas tiek ievietots vai nu korpusā vai pārklāts ar aizsargkārtiņu, kas ir izturīga pret apkārtējās vides iedarbību.

Pretestības mērtaustu konstruktīvais izpildījums redzams 34. attēlā.



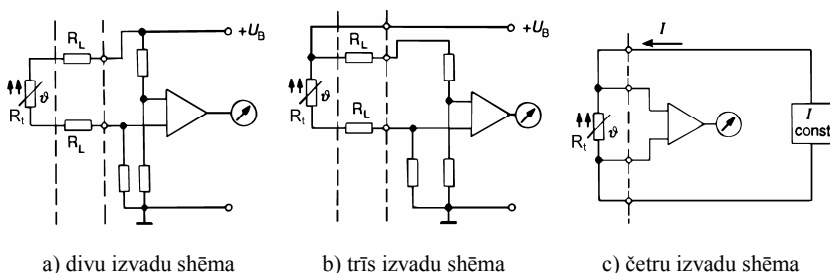
34. att. **Rezistīvo temperatūras sensoru konstruktīvā izpildījuma veidi**

Pretestības mēraustu izmantošanas piemēri un izvēles kritēriji

Mērot temperatūru ar pretestības mēraustiem, tiek izmantota devēja omiskās pretestības izmaiņa. Lai pārvērstu pretestības izmaiņu atbilstošā sprieguma izmaiņā, termorezistorus parasti ieslēdz Vītstouna tiltā ceturtdaļtilta slēgumā. šādā slēgumā iespējama divu papildus mērīšanas kļūdu rašanās. Kļūdas rodas sekojošu iemeslu dēļ:

- ✓ caur mērīšanas ķēdi plūstošā strāva izraisa devēja pašsasilšanu, kas izmaina sensora raksturlielni,
- ✓ strāvas pievadu pretestība ir pakļauta mainīgai ārējās vides iedarbībai, tās ietekmi uz mērīšanas rezultātu var novērst, izmantojot trīs vadu vai četr vadu slēgumu.

Galvenie mērpretestību slēgumu veidi redzami 35. attēlā.



35. att. **Rezistīvo temperatūras sensoru slēguma veidi**

Divizvadu shēmas gadījumā mērījuma rezultātā iekļauta pievadu pretestība R_L un arī tās izmaiņa temperatūras iedarbībā. Ja sensora pievadi ir īsi un $R_t \gg R_L$, pievadu pretestības izmaiņu var neņemt vērā.

Divizvadu shēmai piemītošā kļūda trīsizvadu shēmā neparādās, jo pievadu pretestības atrodas simetriski abos tilta atzaros un līdz ar to savstarpēji izlīdzinās.

Visprecīzākos mērījuma rezultātus dod četrizvadu shēma. Tā darbojas pēc strāvas-sprieguma metodes. Neatkarīgi no mērīšanas ķēdes kopīgās pretestības, caur

devēju plūst konstanta strāva. Līdz ar to ar augstomīgu mēraparātu iespējams ļoti precīzi noteikt devēja pretestību neatkarīgi no pievadu garuma. Taču šīs shēmas trūkums ir tas, ka starp devēju un pastiprinātāju jābūt četriem izvadiem.

Visas trīs minētās shēmas var izmantot gan stiepli, gan arī folijas mērpretestībām. Shematiskais apzīmējums abiem mērpretestību konstrukciju veidiem ir vienāds.

Izvēloties temperatūras mērpretestības, noteicošais faktors ir mērāmās temperatūras diapazons un vide, kurā atradīsies jutīgais elements.

Mērāmās temperatūras diapazons ir atkarīgs no rezistora materiāla un nesējķermeņa materiāla.

Minētājiem materiāliem ir šādi temperatūras diapazoni:

- ✓ platīnam – 250 °C + 1000 °C
- ✓ niķelim – 60 °C + 250 °C
- ✓ irīdijam – 200 °C + 600 °C

Sensora konstruktīvā izveidojuma izvēli nosaka arī temperatūras izmaiņas straujums un vides siltumietilpība, kā arī cena.

Termistori

Atkarībā no elektriskās vadītspējas izšķir NTC (*negative temperatur coefficient* - negatīvas temperatūras koeficienta) un PTC (*positive temperatur coefficient* - pozitīvas temperatūras koeficienta) termistorus (angļu val. *thermal sensitive resistor* - no temperatūras atkarīga pretestība).

Termistorus izgatavo no polikristālisku jauktu oksīdu keramikas materiāla. Šim nolūkam dažādu metālu oksīdus un stabilizatorus saturošu pulveri sajauc ar plastiskām saistvielām. Tad masa tiek sapresēta plāksnītēs, stienīšos vai lodītēs. Turpmākā kausēšanas procesā aptuveni 1000°C līdz 1400 °C temperatūrā termistori iegūst savas īpašās elektrovadītspējas īpašības. Atšķirīgu NTC un PTC termorezistoru reakciju uz temperatūras izmaiņām iegūst, pateicoties dažādiem izejmateriāliem un to maisījuma attiecībām, kā arī, izmantojot dažādus tehnoloģiskus sakausēšanas paņēmienus.

NTC termistoru pretestība palielinoties temperatūrai samazinās, bet PTC termistoru pretestība pieaug. Termistoru raksturlīknes plašākā temperatūru apgabalā ir ļoti nelineāras, tāpēc to izmantošana precīzos mērījumos ir ierobežota.

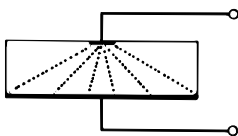
NTC termistorus plaši izmanto automātiskās regulēšanas sistēmās, kā arī kā kompensācijas termistorus pusvadītāju shēmu darba režīmu stabilizācijai un termopāru „aukstā” gala kompensācijai.

Palaišanas termistori galvenokārt paredzēti impulsveida strāvas ierobežošanai, kas rodas, ieslēdzot kvēllampas, mazus motorus, kondensatorus vai lampu kvēlķēdes.

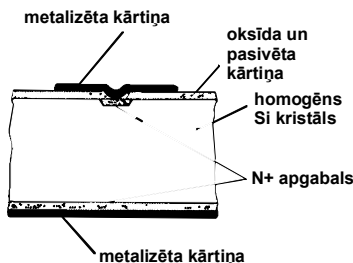
PTC termistorus izmanto kā jutīgus temperatūras devējus šaurā temperatūru diapazonā un kā aizsargierīces pret pārslodzēm, kā starterus luminiscences lampās, kā pašregulējošus termoelementus, releju enkura pievilkšanas un atlaišanas aizturei elektroniskajās shēmās.

Silīcija temperatūras sensori

Silīcija temperatūras sensori pieder pie jaunākajiem konstruktīvajiem risinājumiem sensoru tehnikā. Tie sastāv no silīcija plāksnītes, kuras abās pusēs atrodas ar metāla kārtiņu pārklātas virsmas, kas kalpo kā kontakti. Pie tam viena puse ir pilnībā pārklāta ar metāla kārtiņu, bet otrā pusē atrodas ievērojami mazāks, lielākoties apaļš elektrods. Pieliekot spriegumu, saskaņā ar *pretestības radiālās izplešanās* principu Si kristālā rodas konusveida strāvas sadale (36. att.)



36. att. Pretestības radiālās izplešanās princips



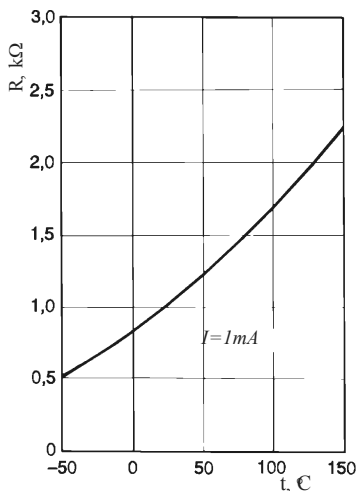
37. att. Si temperatūras devēja jutīgā elementa principiālā uzbūve

Si temperatūras devēja jutīgā elementa uzbūve ar izmēriem $0,50 \text{ mm} \times 0,50 \text{ mm} \times 0,24 \text{ mm}$ ir attēlota 37. attēlā. Apaļā elektroda diametrs ir aptuveni $0,02 \text{ mm}$. Robežapgabalā virzienā uz abiem elektrodiem homogēnajā Si kristālā difūzijas ceļā tiek radīti $n+$ apgabali. Senora nominālo pretestību iespējams ietekmēt jau izgatavošanas procesā, izmainot kristāla izmērus un piejaukuma koncentrāciju. Attēlā redzamā jutīgā elementa omiskā pretestība ir atkarīga no pieliktā sprieguma virziena. To novērš, ieslēdzot divus šādus jutīgos elementus pretslēgumā (38. att.). Abus pretējas polaritātes jutīgos elementus saista metāliska virsma. Par pieslēgumu kalpo abi elementu apaļie kontakti.



38. att. Simetriski veidota sensora uzbūve

Silīcija temperatūras sensoriem, kas izveidoti no n -bagātinātā silīcija, līdz noteiktai robežtemperatūrai ir pozitīvs temperatūras koeficients. *Valvo* firmas KTY 81 tipa temperatūras devēja raksturliknes apgabals ir attēlots 39. attēlā.



39. att. *Valvo* firmas KTY 81 tipa temperatūras sensora raksturlikne

Silīcija temperatūras sensoru raksturlikņu linearizācija

Praksē dažkārt nākas linearizēt silīcija temperatūras sensoru nedaudz ieliekto raksturlikni. To var izdarīt, gan ieslēdzot papildus paralēlu rezistoru, gan arī virknes rezistoru.

Linearizācijai ar virknes slēguma pretestību ir nepieciešams konstants barošanas spriegums, turpretī linearizācijai ar paralēli ieslēgtu pretestību vajadzīga konstanta barošanas strāva. Abas slēguma iespējas parādītas 40. attēlā.

Linearizācijas pretestību R_L var aprēķināt pēc šāda vienādojuma:

$$R_L = \frac{R_b(R_a + R_c) - 2R_a R_c}{R_a + R_c + 2R_b}, \quad (19)$$

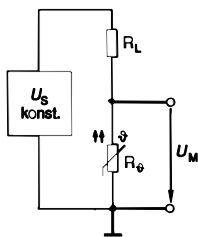
kur R_L - linearizācijas pretestība, Ω ;

R_a - temperatūras devēja pretestība vēlamā temperatūras apgabala zemākajā punktā t_{min} , Ω ;

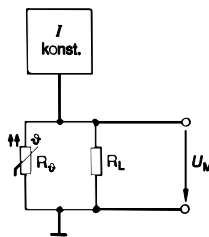
R_b - temperatūras devēja pretestība vēlamā temperatūras apgabala vidū, Ω ;

R_c - temperatūras devēja pretestība vēlamā diapazona augstākajā temperatūrā t_{max} , Ω .

Šis vienādojums vienlīdz der linearizācijai kā ar paralēlo, tā ar virknē slēgto pretestību.



a) ar virknes pretestību



b) ar paralēli ieslēgtu pretestību

40. att. Silīcija temperatūras sensoru raksturlikņu linearizācijas shēmas

Integrālie temperatūras sensori

Integrālajos temperatūras sensoros izmanto p - n pārejas temperatūras atkarību. Kopā ar p - n pāreju, kā temperatūras jutīgo elementu, ir signāla apstrādes shēma, kas, atkarībā no temperatūras sensora tipa, nodrošina temperatūrai proporcionālu izejas strāvu vai temperatūrai proporcionālu izejas spriegumu. Tāpēc integrālos temperatūras sensorus sauc arī par temperatūras atkarīgiem strāvas vai sprieguma avotiem.

Svarīgākie dati par trīs dažādiem integrāliem temperatūras sensoriem apkopoti 3. tabulā.

3. tabula

Integrālo temperatūras sensoru tehniskie dati

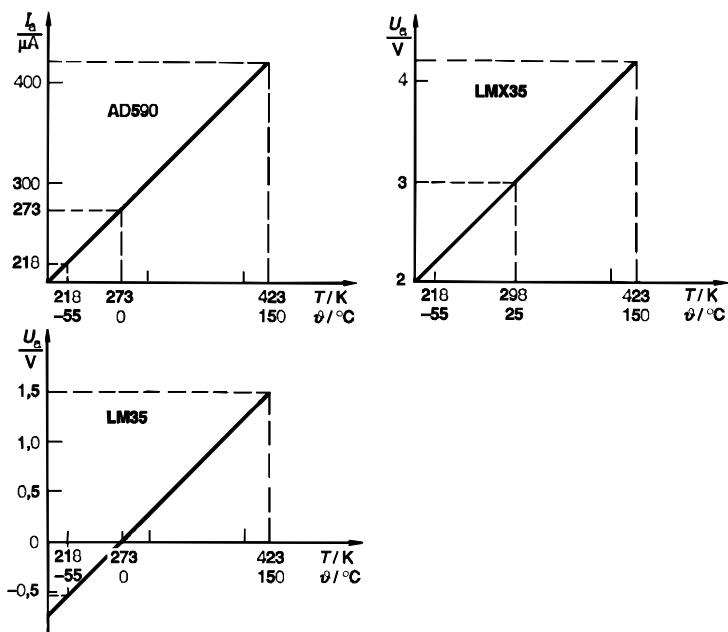
Tips	Darbspriegums	Temperatūras diapazons	Jutīgums	Izejas impedance	Korpuss
AD 590	+4V ... +30 V	-55°C ... +150 °C	1 μ A/K	10 M Ω	T 0-46; T 0-92
LMX 35	+4V ... +30 V	-55°C ... +150 °C	10 mV/K	0,5 Ω	T 0-46; T 0-92
LM 35	+4V ... +30 V	-55°C ... +150 °C	10mV/K	0,5 Ω	T 0-46; T 0-92

Sensors AD 590 (*Analog Devices*) ir izveidots kā temperatūras atkarīgs strāvas avots, un tāpēc tam ir liela izejas impedance (pilnā pretestība). Ražotāji AD 590 sensoru ir salāgojuši tā, lai tā sākumstrāva mikroampēros (μ A) atbilstu absolūtajai temperatūrai Kelvīnos (K). Tas savā pieļaujamajā temperatūras diapazonā nodrošina izejas strāvu robežās no 218 μ A līdz 423 μ A. Lai izvairītos no mērīšanas kļūdām, kuras izraisa temperatūras sensora pašsasilšana, darbspriegumu jāizvēlas tik mazu, cik vien iespējams. Integrālie temperatūras sensori LMX35 un LM35 (*National Semiconductors*) pieskaitāmi temperatūras atkarīgajiem sprieguma avotiem, tādēļ tiem ir ļoti zema izejas impedance. Trīs integrālo temperatūras sensoru (skat. tabulu) raksturlīknes ir grafiski attēlotas 41. attēlā, savukārt 42. attēlā ir parādītas divas shēmas termometriem ar analoģu izeju.

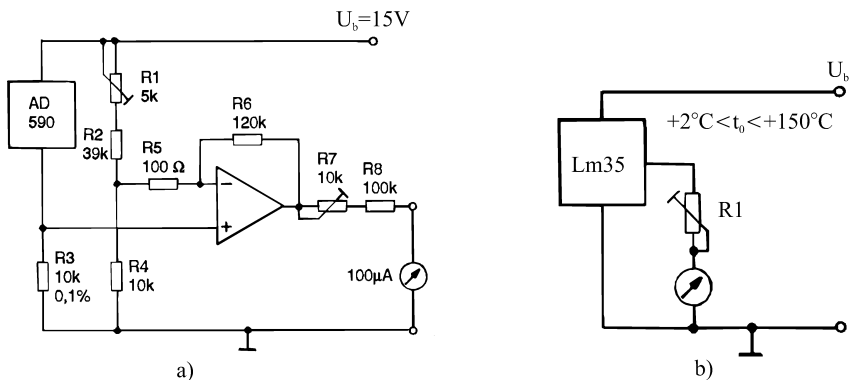
Kā redzams shēmā 42a. attēlā AD 590 un rezistora R3 virknes slēgums veido tilta slēguma atzaru. Ar rezistoru R1 temperatūrā $t = 0$ °C tilta spriegumu var ieregulēt līdz $U = 0$ V. Tad tilta spriegums ir diferenciālā slēguma operācijpastiprinātāja ieejā. Operācijpastiprinātāja izejas spriegumu uzrāda mērinstruments ar lineāru Celsija grādos graduētu skalu. Mērinstrumentu kalibrē ar potenciometru R7.

LM 35 pieder pie *pašregulējošiem* temperatūras sensoriem. Tas ir izveidots tā, ka, arī neieslēdzot tilta slēgumā, - un tāpēc arī bez papildus ieregulēšanas iespējas -

temperatūrā $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dod izejas spriegumu $U_A = 0\text{ V}$. Šāda termometra uzbūve ir vienkārša. Arī šajā gadījumā lineāro skalu var graduēt $^{\circ}\text{C}$ (42b. att.).



41. att. Integrālo temperatūras sensoru raksturlieknes

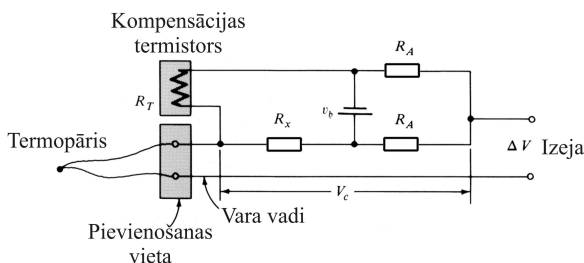


42. att. Divas termometru shēmas ar analogo indikāciju

Termopāri

Termopāri pieder pie aktīvo sensoru grupas, kuri temperatūras starpības ietekmē uz termopāra galiem ģenerē spriegumu proporcionālu temperatūras starpībai (skat. *termoelektriskais efekts*).

Pēdējā laikā termopārus aizvien plašāk izmanto temperatūras mērīšanas ierīcēs un sensoros. Tas izskaidrojams ar to, ka modernās tehnoloģijas ļauj efektīvi kompensēt termopāra „aukstā” gala temperatūras izmaiņas izmantojot termistorus (43. att.).



43. att. Termopāra kompensācijas shēma izmantojot termistoru

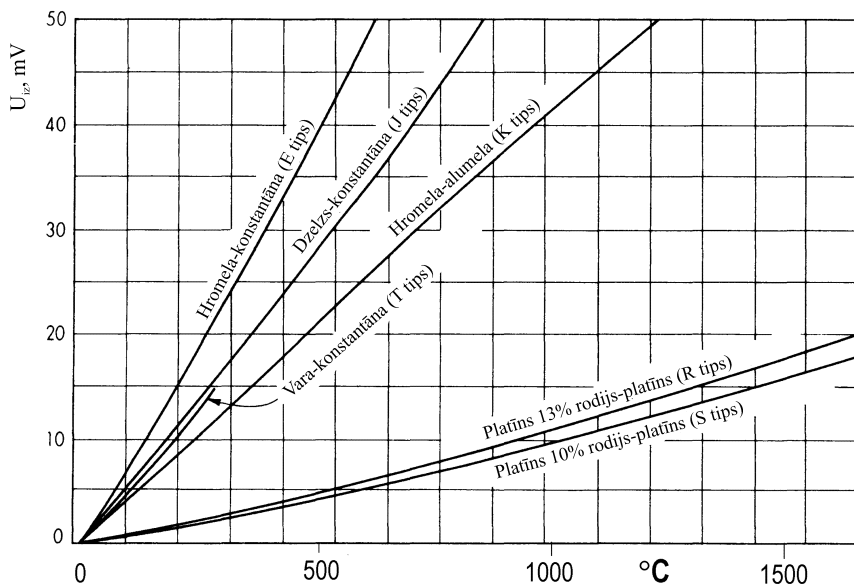
Termopāriem ir vairākas priekšrocības, kas padara to lietošanu efektīvu:

- ✓ vienkārša konstrukcija,
- ✓ plašs mērāmo temperatūru diapazons,
- ✓ maza termiskā masa, kas ļauj veikt dinamiskus temperatūras mērījumus,
- ✓ nelielas novirzes no pielāides, kas atvieglo sensora nomaiņu,
- ✓ laba linearitāte un maza histerēze,
- ✓ salīdzinoši neliela cena.

Termopāriem piemīt arī vairāki trūkumi:

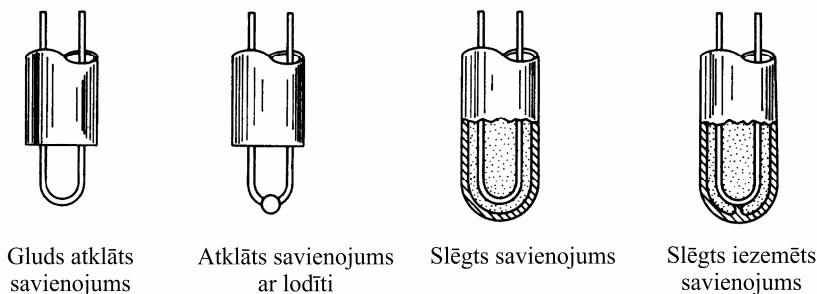
- ✓ mazs izejas signāls,
- ✓ termopāra vadu pagarināšanai nepieciešami dārgi speciāli kabeļi,
- ✓ nepieciešama „aukstā” gala temperatūras izmaiņas kompensācija.

Praktiski termopāri var izveidot sametinot jebkuru divu dažādu metālu stieples kopā vienā galā. Atlikušie brīvie gali kalpos kā termopāra izeja. Taču vēsturiski ir atlasīti metālu sakausējumi, kuri noteiktā temperatūru apgabalā dod vislabākos rezultātus (skat. 44. att.).



44. att. Termopāru raksturlīknes

Atkarībā no mērāmās temperatūras diapazona izvēlas noteikta tipa termopāri. Temperatūru diapazonā no 0°C līdz 600°C izmanto K vai J tipa termopārus. Tie ir plašāk lietojamie termopāri. Zemām temperatūrām no -300°C līdz +200°C izmanto vara-konstantāna (T tips) termopārus. Augstām temperatūrām līdz 1500°C rekomendē R vai S tipa termopārus.

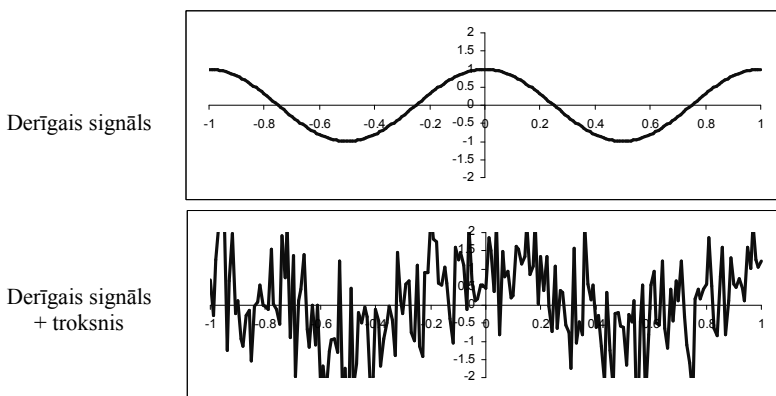


45. att. Termopāru konstruktīvais izveidojums

Konstruktīvi termopāri var būt bezkorpusa vai ievietoti dažāda veida korposos (45. att.).

8. TRAUCĒJUMU NOVĒRŠANA MĒRSISTĒMĀS

Elektriskās mērsistēmas ir pakļautas dažādu traucējumu iedarbībai, kuru rezultātā rodas mērījumu kļūdas. Gala rezultātā mērsistēmas izejā parādās signāls, kurš bez derīgā signāla satur arī dažādu iemeslu dēļ radušos trokšņu signālu piejaukumus (46. att.).



46. att. Signāls un troksnis

Kā redzam, trokšņa signāls summējas kopā ar derīgo signālu, izmaina tā formu un amplitūdu radot ievērojamas mērīšanas kļūdas.

Mērsistēmas trokšņu noturību raksturo attiecība signāls-trokšnis. To aprēķina pēc formulas:

$$S_n = 20 \lg \frac{U_n}{U_s}, \quad (20)$$

kur S_n – attiecība signāls – trokšnis, dB;

U_n – trokšņa līmenis, V;

U_s – signāla līmenis, V.

Trokšņus iedala divos veidos – iekšējie trokšņi un ārējie trokšņi. Pie **iekšējiem trokšņiem** pieder elektronisko shēmu elementu radītie trokšņi. Tos rada gan aktīvie shēmas elementi (pusvadītāju ierīces, operacionālie pastiprinātāji u.c.), gan pasīvie elementi (rezistori, kondensatori u.c.). Pie iekšējiem trokšņiem jāpieskaita arī signāla pārveidošanas trokšņi, piemēram, ACP radītie signāla diskretizācijas trokšņi. Modernās tehnoloģijas dod iespēju izvēlēties signāla apstrādes ierīces ar ļoti mazu iekšējo trokšņu līmeni, tāpēc šos trokšņus sīkāk neaplūkosit.

Ārējos trokšņus rada dabiskie vai cilvēka darbības rezultātā radītie elektriskie vai magnētiskie lauki, kas iedarbojas uz mērīšanas sistēmas elementiem un inducē tajos trokšņu signālus. Traucējošie signāli nokļūst mērīšanas sistēmās pa dažādiem ceļiem un to novēršana ir viens no svarīgākajiem un grūtākajiem uzdevumiem, kas jārisina projektējot dotā procesa parametru mērīšanas vai automātiskās regulēšanas sistēmas.

Ārējo trokšņu avoti

Galvenie ārējo trokšņu avoti ir sekojoši:

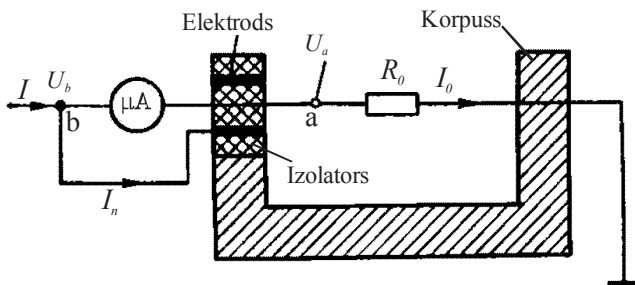
1. noplūdes ieejas ķēdēs,
2. elektromagnētiskā mijiedarbība, radiofrekvences iedarbe,
3. signāli no blakusesošām iekārtām,
4. elektriskā izlāde (elektriskais loks),
5. nekvalitatīva montāža.

Noplūdes ieejas ķēdēs rodas elektroķīmisku vai termoelektrisku efektu iedarbībā mērķķēdēs ar augstu ieejas pretestību un mazu ieejas signālu. Parasti noplūžu rezultātā rodas mērīšanas instrumenta „nulles” nobīde, kas rada mērījuma statisko kļūdu.

Efektīvai noplūžu samazināšanai jāvēro sekojoši nosacījumi:

- ✓ ieejas ķēžu montāžai jāizmanto kvalitatīvi izolējošie materiāli,
- ✓ jānodrošina laba ieejas ķēžu izolēšana no mitruma piekļuves,
- ✓ signāla pārvades ķēžu montāžai jāizvēlas materiāli tā, lai neveidotos termiskais EDS.

Īpašos gadījumos noplūžu kompensēšanai jāizmanto ekvipotenciāla metode (skat. 47. att.).



47. att. Ekvipotenciāla metode noplūžu samazināšanai

Pieņemsim, ka augstomīga sensora R_0 viens izvads pievienots korpusam, bet otrs caur izolatoru izvadīts no korpusa un pievienots mikroampērmetram. Barošanas spriegums pievienots punktā *b*. Ja ārēju apstākļu dēļ caur izolatoru sāks plūst noplūdes strāva, mikroampērmetra rādījumi ievērojami izmainīsies radot mērījuma kļūdu. Lai to novērstu, izolatorā iestrādā gredzenveida elektrodu, kuram pievieno barošanas avota spriegumu. Noplūdes strāva plūdis apejot mikroampērmetru un mērījuma kļūda tiks novērsta.

Lielākā traucējumu daļa nonāk mērīšanas sistēmā elektromagnētiskās indukcijas ceļā. Jebkurā mērsistēmas elektrovadošā elementā inducējas parazītiskās strāvas, kas noteiktos apstākļos var summēties ar derīgo signālu un radīt mērījuma kļūdu. Šādu traucējumu novēršanai izmanto vairākas metodes:

- ✓ Signāla filtrēšana. Metode efektīvi izmantojama gadījumos, kad derīgā signāla frekvence ir ievērojami atšķirīga no trokšņa frekvences.
- ✓ Ekranēšana.
- ✓ Zemēšana.

Traucējumu iedarbībai visvairāk ir pakļautas signāla pārvades līnijas. Bieži vien sensori ir ar sprieguma izeju un nelielu (10 – 50 mV) izejas sprieguma vērtību.

Gadījumos, kad signāls jāpārvada lielākos attālumos, vēlams izmantot strāvas izeju, kas dod iespēju pārvadīt signālus pat vairāku desmitu metru attālumos. Tas izskaidrojams ar to, ka traucējumu avoti ir uzskatāmi par sprieguma avotiem ar lielu izejas pretestību, savukārt derīgā signāla strāvas izejai raksturīga zema izejas pretestība. Tas nodrošina efektīvu traucējumu samazināšanu.

Ekranēšana un iezemēšana

Iekārtas elementu iezemēšana un ekranēšana ir efektīvi pasākumi traucējumu līmeņa samazināšanai. Diemžēl ne vienmēr šie pasākumi dod gaidīto efektu. Nepareiza atsevišķu daļu iezemēšana un ekranēšana var radīt pretējo efektu – palielināt trokšņu līmeni iekārtas izejā.

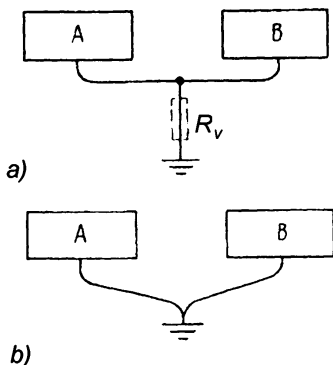
Zemējuma uzdevumi:

- ✓ Pasargāt cilvēkus no augsta sprieguma iedarbības.
- ✓ Pasargāt iekārtas no statisko spriegumu iedarbības.
- ✓ Samazināt trokšņu līmeni.

Izšķir divus zemējuma veidus:

- ✓ Iekārtu korpusu zemējumi. Iekārtas vai tās atsevišķu daļu korpusus pievieno „0” potenciālam izmantojot resnu vara vadu. „Zemes” pretestībai jābūt nelielai un stabilai.
- ✓ Signāla „zeme”.

Signāla „zeme” nepieciešama gadījumos, kad signāla pārvadīšanai tiek izmantota nesimetriskā līnija, t. i. viens no izejas vadiem ir pievienots „0” potenciālam. Signāla „zemei” jābūt izveidotai atsevišķi un ar kopējai „zemei” jāpievienojas tikai vienā punktā.



48. att. Iekārtu korpusu iezemēšana
a) nepareizi, b) pareizi

48. attēlā parādīti iekārtu korpusu zemējuma veidi. 48a. attēlā iekārtu A un B korpusi savienoti kopā ar resnu vadu un tad pieslēgti zemējuma punktam ar kopēju vadu, kura pretestība ir R_v . Lai arī vada pretestība ir niecīga, uz tās klejojošo strāvu ietekmē radīsies sprieguma kritums, kas palielinās trokšņa līmeni iekārtā.

Pareiza zemējuma slēgums parādīts 48b. attēlā. Šajā gadījumā abu iekārtu korpusi ar atsevišķiem vadiem pieslēgti kopējai zemei. Šāds slēguma veids nodrošina efektīvu

trokšņu līmeņa samazināšanu. Līdzīga situācija novērojama pievienojot barošanas sprieguma filtru kondensatorus (skat. 49. att.).

Signālu pārvadīšanai starp mērsistēmas atsevišķām daļām izmanto dažādus



Nepareizi

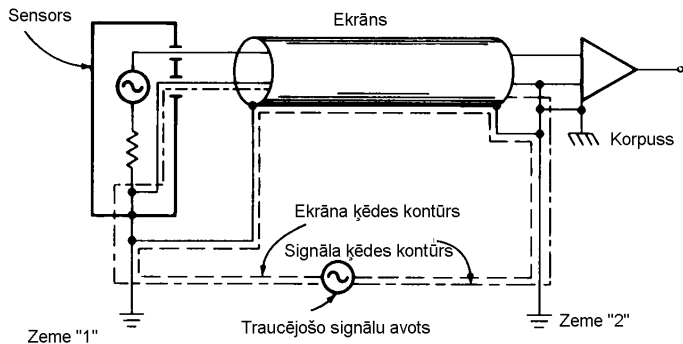
Pareizi

49. att. Pareizs un nepareizs stipras strāvas vadītāju izvietojums shēmu montāžā

kabeļus. Lai samazinātu trokšņu inducēšanos pārvades līnijās, lieto ekranētos kabeļus ar iezemētiem ekrāniem. Jāņem vērā, ka nepareiza kabeļa ekrāna iezemēšana, radīs daudz lielāku trokšņu līmeni nekā neekranēts kabelis. Parasti lielākās kļūdas rodas gadījumos, kad sensora izeja ir vienpolāra (49. att.).

Raksturīgās kļūdas:

- ✓ kabeļa ekrānu iezemē abos kabeļa galos,
- ✓ kabeļa ekrānu izmanto signāla pārvadei.



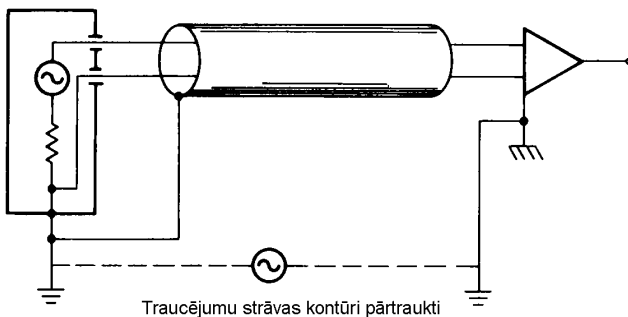
50. att. **Parazītisko strāvu kontūru veidošanās ekranētā kabelī nepareiza zemējuma gadījumā**

Pieņemsim, ka signāls no sensora ar nesimetrisku izeju, tiek pārvadīts pa ekranētu divdzīslu kabeli un kabeļa ekrāna abi gali ir iezemēti (50. att.).

Zemējuma kontūrā starp punktiem Zeme"1" un Zeme"2" rodas klejojošās strāvas, kas darbojas kā traucējošo signālu avots. Šādā situācijā izveidojas divi noslēgti **traucējošā signāla kontūri** – signāla ķēdes kontūrs un ekrāna ķēdes kontūrs. Kontūros plūstošās trokšņu signāla strāvas summējas ar derīgā signāla strāvu un rezultātā izkropļo derīgo signālu. Šādos slēgumos trokšņu līmenis nereti pārsniedz derīgā signāla līmeni radot lielas mērījumu kļūdas.

Pareiza kabeļa ekrāna iezemēšana.

Lai novērstu trokšņu signāla nokļūšanu mērīšanas ķēdēs ir jāpārtrauc traucējošā signāla strāva ķēdes. To panāk pareizi iezemējot signāla pārvades kabeļa ekrānu (50. att.).



51. att. **Pareizi izveidots signāla pārvades kabeļa zemējums**

Kā redzam 51. attēlā, kabeļa ekrāns ir **iezemēts tikai vienā kabeļa galā** (pie sensora). Traucējošā signāla strāvas kontūri ir pārtraukti un trokšņu līmenis ievērojami samazināts. Kabeļa otrā galā iezemē tikai pastiprinātāja korpusu un barošanas avota viduspunktu.

Ieteikumi traucējumu samazināšanai signāla apstrādes un pārvades ķēdēs:

1. Atsevišķas mērīšanas sistēmas daļas ievietojiet metāla ekrānos un iezemējiet tos pievienojot kopējam zemējuma punktam ar atsevišķiem vadiem (zvaigznes slēgumā).
2. Nesimetriskas signāla pārvades līnijas gadījumā kabeļa ekrānu iezemējiet tikai vienā tā galā (vēlams signāla pusē). Veidojot slēguma shēmu pārliecinieties vai trokšņu signāla ķēdēs neveidojas noslēgti kontūri. Veidojiet slēgumu tā, lai tie tiktu pārtraukti.
3. Vienpolāras sprieguma avotu izejas ar mazu signāla līmeni pārveidojiet par simetriskām (balansa) izejām. Signāla pārvadei izmantojiet simetriskus ekranētos kabeļus vai vītos pārus. Labus rezultātus var panākt cieši savijot signāla pārvades vadus pat bez ekrāna. Šādā gadījumā jāņem vērā, ka var sašaurināties signāla frekvenču joslas platums.
4. Signāla pārvadīšanai lielākos attālumos izmantojiet sensorus ar strāvas izeju.
5. Pēc iespējas sašauriniet signāla apstrādes trakta caurlaides joslu izmantojot dažādus filtrus.
6. Montējot iekārtas signāla pārvades vadus novietojiet pēc iespējas tālāk no barošanas un citiem stiprās strāvas vadiem. Sekojiet, lai tie nebūtu paralēli viens otram. Signāla pārvades kabeļus novietojiet pēc iespējas tālāk no dažādiem transformatoriem. Transformatorus ievietojiet ekrānos.
7. Pārliecinieties vai zemējums kontūrs nodrošina stabilu „zemi” ar mazu pretestību. Zemēšanai izmantojiet tikai **izolētus vara vadus** ar pietiekoši lielu šķērssprieguma laukumu.
8. Rūpējieties, lai vadu savienojumi būtu stabili un ar mazu pārejas pretestību. Savienojumu montāžai (lodējumiem) jābūt tīriem un pārklātiem ar aizsarglaku vai citu izolējošu pārklājumu.

9. *PICOTECHNOLOGY* DATU APSTRĀDES PROGRAMMAS

Kompānija *Picotechnology* piedāvā bezmaksas programmatūru datu ieguvei un apstrādei izmantojot dažādas firmas ražotās mēriekārtas. Universālajām mēriekārtām tiek piedāvāta programmu pakete gan mainīgu lielumu novērošanai uz datora ekrāna (*Picoscope*), gan iekārta darbības nodrošināšanai datu uzkrāšanas režīmā ar turpmāku datu apstrādi (*Picolog*).

PicoScope

PicoScope ir lietojumprogrammatūra, kas lietojot datoru ļauj attēlot laikā mainīga signāla izmaiņas. Tā lietojama kopā ar *Pico Technology* produktiem, piemēram, digitālo osciloskopu (21. att.).

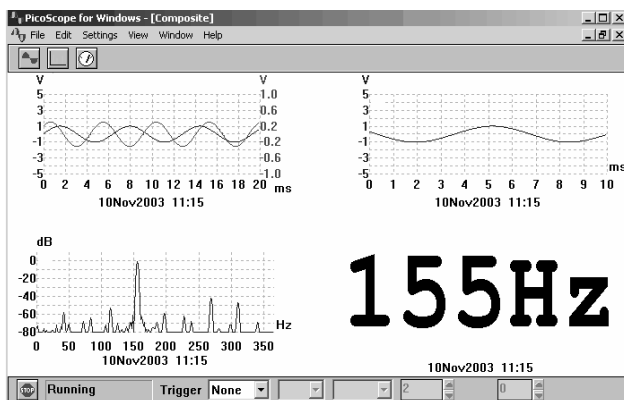


52. att. **PicoScope** mērinstruments

Programma piedāvā sekojošus darbības režīmus:

- ✓ *Oscilloscope*- osciloskops;
- ✓ *Spectrum analyser* – spektra analizators;
- ✓ *Meter* – attēlo mēramā lieluma vērtības un mērvienības ciparu formā;
- ✓ *XY oscilloscope* – osciloskopa režīms Gy koordinātēs. Šajā režīmā ir iespējams iegūt līkni, kura parāda viena kanāla signāla atkarību no otra kanāla signāla (Lissažū līknes).

Programma ļauj veidot kompozītlogu un attēlot vairākus instrumentus vienlaicīgi (53. att.).



53. att. Kompozītlogs

Šis logs ļauj vienlaicīgi attēlot līdz četriem instrumentu logiem vienlaicīgi vienā, galvenajā logā. Tas ir izdevīgi tajos gadījumos, kad jāsalīdzina dažādi grafiki vai jāattēlo vairāki logi vienlaicīgi. Lietotājs var norādīt ko attēlot galvenajā logā un kādā veidā nodrošināt attēlojumu. Lai piekļūtu šīm tiesībām krītošās komandkartes *Layout* rindas izvēlnē *Options/Settings* – ir pieejamas opcijas kompozītlogam.

Oscilloscope

Atverot *Picoscope* programmu, *Oscilloscope* loga augšējā daļā tiek attēlota šīs programmas rīku josla.

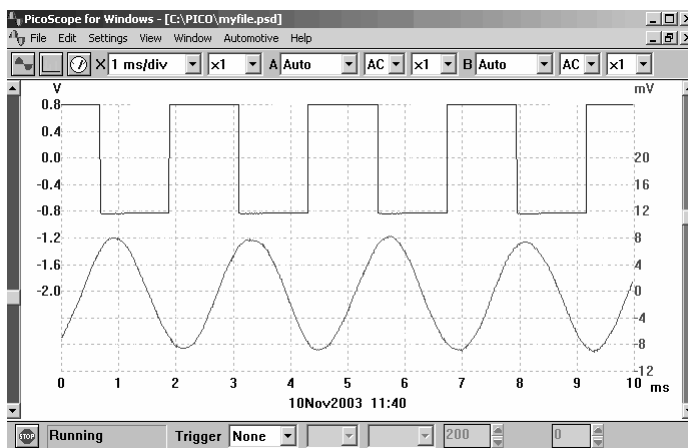


54. att. Oscilloscope rīku josla

Rīku josla piedāvā sekojošus iestatījumus (54. att.):

1. izvēršes laika iestatījums. Ļauj iestatīt nepieciešamo izvēršes laiku mērvienībās, kas rāda vienas ekrāna tīkla iedaļai atbilstošo laiku (ms/iedaļa vai μs/iedaļa);
2. Horizontālās (laika) ass multiplikators. Ļauj izmainīt izvēršes laiku atbilstoši iestatīto reižu skaitam;

3. A kanāla vertikālās ass diapazons. Ļauj iestatīt mērāmā signāla maksimālo amplitūdu. Izvēloties opciju *Auto* skalas maksimālā vērtība tiek iestatīta automātiski;
4. A kanāla AC/DC pārslēgšana. Šī opcija ļauj izvēlēties mērīšanas režīmu A kanālam. DC – līdzstrāvas režīms, AS – maiņstrāvas režīms;
5. A kanāla Y - ass multiplikators. Opcija ļauj izmainīt Y ass vērtību noteiktu reizu skaitu. Opcijas 6, 7 un 8 ļauj iestatīt B kanāla režīmus, ja mērīšanas instruments ir paredzēts divu kanālu darbībai;
6. B kanāla apgabals, diapazons;
7. B kanāla AC/DC pārslēgšana;
8. B kanāla Y multiplikators.



55. att. Oscilloskopa logs

Divu kanālu gadījumā katram kanālam ir atsevišķas assis un to attēlojums atšķiras pēc krāsām. Tiek attēlotas arī 10x10 palīglinijas, kuras var arī izslēgt. Var pievienot gan vertikālus, gan horizontālus lineālus. PicoScope pārskata tagadējo pozīciju konkrētam lineālam un starpību starp diviem lineāliem, kas atrodas uz vienas un tās pašas ass. Šajā logā var tikt attēloti dažādas kombinācijas ar tekošiem datiem, minimumu, maksimumu un vidējo vērtību secīgiem cikliem. Tas var akumulēt šos ciklus uz ekrāna.

PicoScope logs ir sadalīts trijos apgabalos:

- ✓ Attēlojuma apgabals – attēlo datus, kurus ieguvis no instrumenta (centrālais apgabals);

- ✓ Instrumenta rīku josla – atrodas loga augšējā daļa, ļauj kontrolēt aktīvo instrumentu. Katram instrumentam ir īpaša rīku josla un kontrole;
- ✓ Paraugu rīku josla – attēlo parauga noņemšanas stāvokli un ļauj kontrolēt trigerēšanu.

Attēloto apgabalu var saglabāt trīs veidos:

- ✓ Kā datu failu, tā paplašinājums **.psd*. Vēlāk var atvērt failu un atkal apskatīt datus;
- ✓ Kā iestatījumu failu, tā paplašinājums **.pss*. Vēlāk atverot failu tiks izmantoti tie paši iestatījumi, bet dati nav saglabāti. Jāveic atkārtota datu nolasīšana izmantojot šos pašus iestatījumus;
- ✓ Saglabā iestatījumus kā funkciju, respektīvi, nevis failu, bet nākošreiz atverot programmu tiks ielādēti šie iestatījumi.

Datus var saglabāt **.txt* formātā (der importēšanai *Excel* programmā) un **.wmf*, **.jpg*, **.bmp* formātos.

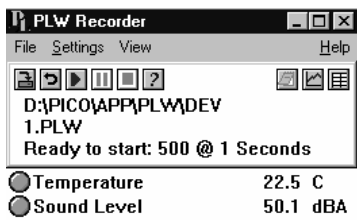
Datu vākšanas un apstrādes programma PicoLog

PicoLog ir datu iegūšanas rīks, kurš ievāc, ieraksta, attēlo un analizē mērījumu datus. Tam ir sekojošas iespējas:

- ✓ Atbalsta jebkuru Pico mērīšanas pārveidotāju;
- ✓ Apkopos datu blokus ar lielu ātrumu no mērierīces;
- ✓ Apkopos datus ar zemu ātrumu pēc ilga perioda no daudzkārtīgām mērierīcēm;
- ✓ Ļauj uzstādīt trauksmes signālu mērījumiem, kurus vēlaties veikt;
- ✓ Ļauj uzstādīt parametru skalu izmantojot vienādojumus vai tabulas;
- ✓ Ir iebūvētas skalas jebkuram Pico signāla kondicionieri, šī informācija glabājas failos ar paplašinājumu **.psc*;
- ✓ Ļauj rediģēt aprēķināmo parametru, respektīvi, uzstādīt korekcijas vienādojumus;
- ✓ Var analizēt citus failus datu vākšanas laikā;
- ✓ Attēlo datus vākšanas laikā un pēc tās;
- ✓ Datu grafiska attēlošana reālā laikā, ja tiek aktivizēts *PLW XY Graph* logs vai tabulā, ja aktivizēts *PLW Spreadsheet* logs;
- ✓ Pārvieto datus citā lietojumprogrammā izmantojot *clipboard*, failus vai *DDE* (*dynamic data Exchange*) iespējas;
- ✓ Var pārvietot datus starp datoriem izmantojot IP soketu (*UDP/IP* protokolu).

Datu ierakstīšana

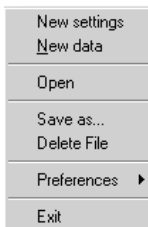
Datu ierakstīšanai un apstrādei izmanto apakšprogrammu *PLW Recorder* (56. att.).



56.att. Rakstītāja logs

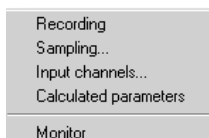
Loga augšā atrodas izvēļu josla (*Menu*) ar izvēlnēm:

✓ *File* - fails;



57. att. *File* izvēlne

- Jauni iestatījumi (*New settings*) – dzēš esošos iestatījumus un soli pa solim norāda vēlamos jaunus iestatījumus.
 - Jauni dati (*New data*) – ļauj veidot jaunu failu, lai ierakstītu datus.
 - Atvērt (*Open*) – aizver visus aktīvos logus un atver datu vai iestatījumu failu.
 - Saglabāt (*Save as...*) – saglabā failā datus.
 - Dzēst failu (*Delete File*) – ļauj izvēlēties failu, kuru dzēst.
 - Izvēle (*Preferences*) – šeit var izvēlēties dažādus PicoLog loga iestatījumus, tādus kā valoda, krāsas, skaņas, temperatūra, IP, mērpārveidotāju, rakstītāju;
 - Izeja (*Exit*) – iziet no programmas;
- ✓ *Settings* - iestatījumi;



58. att. **Settings** izvēlne

- Ierakstīšana (*Recording*) – ļauj izvēlēties ierakstīšanas metodi mērījumiem;
 - Izlase (*Sampling...*) – ļauj uzstādīt izlases parametrus
 - Ieejas kanāls (*Input channels...*) – ļauj izvēlēties mērīšanas ierīci un pieslēgšanas portu
 - Aprēķināmais parametrs (*Calculated parameters*) – var uzstādīt parametru, kas jāaprēķina.
 - Pārraudzība (*Monitor*) – ļauj uzstādīt mērījumu, kuru vēlaties pārraudzīt, redzēt logā.
- ✓ *View* – parādīt;

Player	Alt+P
Notes	Alt+N
Spreadsheet	Alt+S
Graph	Alt+G
XY Graph	Alt+X

60. att. **View** izvēlne

- Atskaņotājs (*Player*) – atver jaunu atskaņotāja logu;
- Piezīmes (*Notes*) – atver jaunu piezīmju logu
- Tabula (*Spreadsheet*) – atver jaunu Spreadsheet logu.
- Grafiks (*Graph*) – atver jaunu grafiku logu.
- XY grafiks (*XY Graph*) – atver jaunu XY Graph logu

Zemāk atrodas divas rīku josla ar piktogrammām.

Rakstītāja vadības rīku josla:



61. att. **Vadības rīku josla**



Jauns fails (*New file*) – norāda jaunu failu ierakstīšanai;
Pārrakstīt (*Re-record*) – pārraksta esošo failu;
Sākt ierakstīšanu (*Start recording*);
Pauze/atsākšana (*Pause/resume*) – apstādina vai atsāk ierakstīšanu;
Apstādina rakstīšanu (*Stop recording*);

Palīdzība (*Help*) – piekļūst palīdzības failam, kur aprakstīta ierakstīšana.

- Loga vadības rīku josla
-



63. att. Vadības rīku josla

- Attēlot piezīmes (*View Notes*) – atver piezīmju logu;
- Attēlot grafiski (*View Graph*) – atver *PLWGraph* logu;
- Attēlot tabulas veidā (*View spreadsheet*) – atver *Spreadsheet* logu;

Apgabala (*range indicator*) rādītājs tiek attēlots kā krāsaini apli ar konkrētu krāsu, kas norāda konkrēto stāvokli mērījumam.

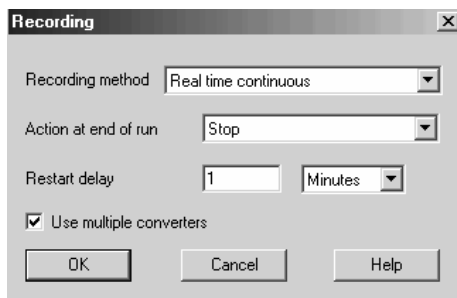


64. att. Apgabala rādītājs

- Zaļš – mērījuma vērtība ietilpst apgabalā;
- Dzeltens – mērījuma vērtība ir ārpus apgabala, vēl nedaudz un būs trigerēšanas trauksme;
- Sarkans – mērījuma vērtībai ir trauksmes stāvoklis.
- Sarkans, nosvītrots – ir trauksmes stāvoklis, bet trauksme tika atcelta.

Katrai nākošai „lampai” ir vārds, kas ir mērījuma vērtība. Uzklikšķinot uz mērījuma vārda PC attēlos mērījuma detaļas.

Ierakstīšanas veids tiek izvēlēts izmantojot dialoga logu *Recording*.



65. att. *Recording* dialoga logs

PicoLog pastāv divi ierakstīšanas veidi:

- *Real time continuous* – atļauj turpināt ierakstīšanu ilgā laika periodā. Dati var tikt attēloti grafiski vai tabulas formātā ierakstīšanas gaitā. Ātrākās atlases kvalitāte ir atkarīga no datora ātruma un operētājsistēmas (tas attiecas tajos gadījumos, kad rinda ir dažas milisekundes);
- *Fast block (single converter only)* – lieto, lai ievāktu relatīvi īsus, mazus datu blokus ar lielu ātrumu. Šajā gadījumā datus nav iespējams apskatīt ierakstīšanas brīdī. Pastāv iespēja ierakstīt kā trigeru notikumu. Ja *‘repeat immediately’* opcija ir izvēlēta, pastāv iespēja rakstīt palaižamu failu katram sastopamam trigeru notikumam.

Ir vairākas opcijas, kur var norādīt kas notiks beigās, kad ir savākts maksimālais, nepieciešamais mērījumu skaits. Šīs iespējas ir sekojošas:

- *Stop* – apstāties;
- *Repeat immediately* – turpināt nekavējoties;
- *Scroll* – spirāle;
- *Repeat after delay* – atkārtot ar kavēšanos, aizturi.

Piezīme: Kad PicoLog ir instalēts ar DrDAQ, ierakstīšana ir fiksēta, uzstādīta *Real time continuous* un atkārtēšanas funkcijas nav pieejamas.

DrDAQ - vidēja ātruma analogais ciparu pārveidotājs ar 9 kanāliem

Channel	Connector	Range
Sound waveform	built in	+/-100
Sound level	built in	..100dBA
Voltage	Screw terminal	..5V
Resistance	Screw terminal	k..1M
pH	BNC	..14
Light	Built in	.. 100
Temperature	Built in	to 70C
External 1	FCC68 4-pin	
External 2	FCC68 4-pin	

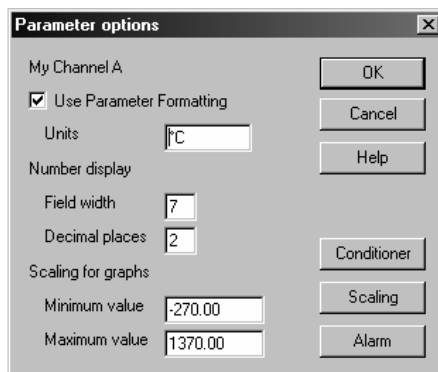
66. att. **DrDAQ kanāli**

Mērījumu tipi. PicoLog piedāvā vairāk kā 100 dažādus mērījumu tipus vienlaicīgi. Šie mērījumi var tikt ierakstīti dažādi:

- Vienkārsa lasīšana (*single reading*), parasti voltos, mērījums no konvertora.;
- Daudz vērtības (*multiple values*) iegūti no mērījumu analīzes rezultātiem, piemēram, frekvence;
- Aprēķinātās vērtības, kas atvasinātas no vienas vai vairākiem mērījumiem, piemēram, spēka aprēķins no ampēriem x uz voltiem.

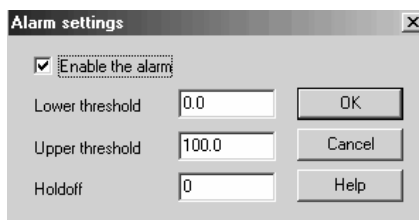
Sekojošas iespējas ir visiem pārveidotājiem:

- Parametru opcijas: apgabals, vienība un decimālzīmju skaita izvēle;



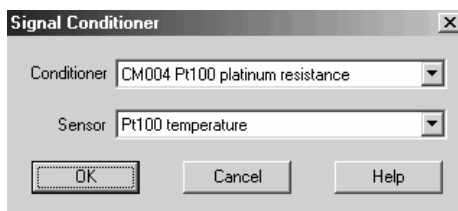
67. att. Parametru opciju logs

- Trauksmes signāla iestatījumi;



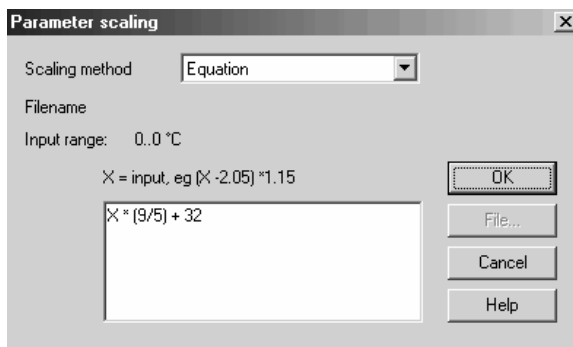
67. att. Trauksmes signāla uzstādīšanas logs

- Signāla stāvokļa uzstādījumi;



68. att. Signāla uzstādījumu logs

- Parametru mērogošana: mērogošana cita tipa sensoriem, izmantojot tabulas datus vai vienādojumu



69. att. Parametru mērogošanas logs

PicoLog komponentes

PicoLog ir veidots no vairākām atdalītām komponentēm, bet jums tikai jāaktivizē tas, ko jūs vēlaties lietot. Kā rezultātā ekrāns nav pārblīvēts ar to, kas jums nav nepieciešams un jūs varat paralēli izmantot arī citas lietojumprogrammatūras.

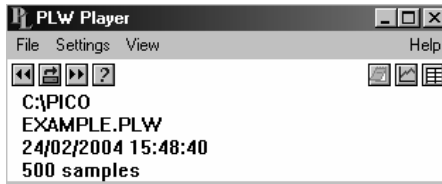
Pieejamās komponentes ir sekojošas:

- PLW Recorder – ļauj sākt un apstādināt ierakstīšanu un ierakstīt specifiskā failā veiktos mērījumus un trauksmes signāla stāvokli.
- PLW Player – ļauj ātri pārvietoties pa ierakstītiem failiem, lai salīdzinātu secīgus rezultātus.
- PLW Graph – attēlo vienu vai vairākus mērījumus laika periodā
- PLW XY Graph – attēlo vienu mērījumu atkarībā no otra tajā pašā (vienā) grafikā.
- Spreadsheet – attēlo detalizētu vai kopsavilkumu informāciju tabulas veidā, kuru iespējams nokopēt.

Ja tiek attēlota ierakstīšanās (*recorder*) aplikācija, tad lai attēlotu atskaņotāja (*player*) aplikāciju, to izvēlas no loga izvēles (*Windows menu*). Turpretī, ja atvērts atskaņotājs, lai attēlotu rakstītāju, to izvēlas no loga izvēles.

PLW Player

Atverot atskaņotāju (*player*), uz ekrāna parādās logs, kas ir līdzīgs attēlotajam logam.



70. att. Atskaņotāja logs

Šajā logā tiek attēlots šobrīd atvērtā faila nosaukums un eksemplāru skaits tajā. Līdzīgi kā iepriekš ir divas rīku joslas:

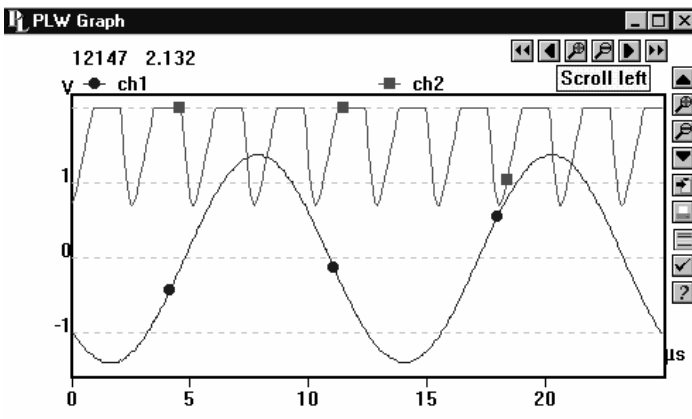
- Atskaņotāja rīku josla



71. att. Rīku josla

- ✓ Atpakaļ uz failu (*Back a file*) – atgriezties iepriekšējā faila (pēc kārtības vienu atpakaļ);
- ✓ Atvērt failu (*Open file*) – atskaņotājā ielādēt jaunu failu;
- ✓ Nākošais fails (*Forwards a file*) - griezties pie nākošā faila (pēc kārtības vienu uz priekšu);
- Loga rīku josla (skatīt iepriekš)

PLW Graph



72. att. Grafika dialoga logs

Jāpievērš uzmanība tam, ka šeit ir dažādas grafika opcijas (iespējas), kas ietekmē grafika attēlošanas veidu un ašu skalu formātu. Šeit arī ir divas rīku joslas ar piktogrammām, viena horizontālā, otra vertikālā.

- Horizontālā – attēlo laika intervālu;



73. att. **Rīku josla**

- ✓ Pa kreisi (*Scroll left*) – x ass vērtības pieaug pa soli uz kreiso pusi
- ✓ Pusi pa kreisi (*Scroll quarter left*) – x ass vērtības samazinās četras reizes pa soli uz kreiso pusi
- ✓ Palielināt horizontālo asi (*Expand horizontal axis*) - x ass solis kļūst mazāks;
- ✓ Samazināt horizontālo asi (*Shrink horizontal axis*) - x ass solis kļūst lielāks;
- ✓ Pusi pa labi (*Scroll quarter right*) – x ass vērtības pieaug pa soli uz labo pusi
- ✓ Pa labi (*Scroll right*) – x ass vērtības pieaug četras reizes pa soli uz labo pusi
- Vertikālā – kontrolē vertikāli attēloto apgabalu;



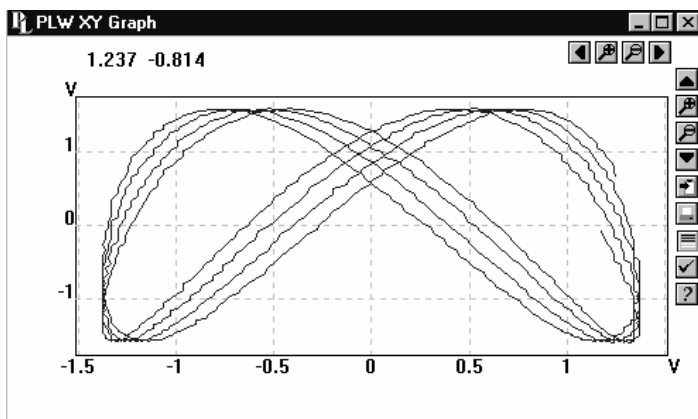
74. att. **Rīku josla**

- ✓ Uz augšu (*Scroll up*) – y ass vērtības pieaug par soli
- ✓ Palielina vertikālo asi (*Expand vertical axis*) – y ass solis kļūst mazāks;
- ✓ Samazina vertikālo asi (*Shrink vertical axis*) – y ass solis kļūst lielāks;
- ✓ Uz leju (*Scroll down*) – y ass vērtības samazinās par soli
- ✓ Kopēt atmiņā (*Copy to clipboard*) – kopē grafiku rezervētā atmiņas apgabalā;
- ✓ Drukāšana (*Print view*) – izdrukā grafiku
- ✓ Jauns fails (*New file*)- ieraksta grafiku jaunā failā .bmp, .jpg vai .wmf formātā.
- ✓ Kanāla izvēle (*Select channels*) – izvēlēties mērījumu, kuru grafiski attēlot;
- ✓ Attēlojuma uzstādījumi (*View options*) – specifiskas attēlotā grafika opcijas
- ✓ Palīdzība (*Help*) – piekļūst palīdzības informācijai, kas saistīta ar grafika logu.

Svarīgi ir, tas, ka peles kursoram atrodoties grafika apgabalā tiek noteiktas x un y koordinātes, respektīvi, izvēlētos mērījuma vērtību ar peles kursoru, tā tiek attēlota loga augšējā kreisajā stūrī.

PLW XY Graph

PicoLog Recorder vai Player izvēlētos XY Graph, tiks atvērts līdzīgs logs. Šeit līdzīgi kā iepriekš ir horizontālā un vertikālā rīku josla (piktogrammu skaidrojumu skatīt iepriekš).



75. att. XY grafiku logs

- Horizontālā – kontrolē horizontāli attēloto apgabalu;
- Vertikālā – kontrolē vertikāli attēloto apgabalu.

Spreadsheet

PicoLog Recorder vai Player izvēlētos Spreadsheet, tiks atvērts līdzīgs logs.

Seconds	korekc_vien
0	-0.0025
1	-0.0020
2	-0.0023
3	-0.0022
4	-0.0021
19	0.0332
20	0.0963
21	0.0962
22	0.0962
23	0.0958
42	0.1185
43	0.1951

76. att. Datu attēlojums tabulas veidā

Šeit tiek attēlots katras nolasījums kā tabulas ieraksts. Pirmajā kolonnā ir laiks sekundēs, bet otrā kolonnā attēlo izvēlēto lielumu. Augšējā kreisajā stūrī attēlotās piktogrammas ir jau zināmas, tādēļ tās nepaskaidrošu. Ar peles palīdzību var izvēlēties konkrētu mērījumu apgabalu.

Izmantotā literatūra

1. Alan S Morris, Measurement and Instrumentation Principles, Butterworth-Heinemann, 2001., 475 p.
2. Holman J. P., Experimental methods for engineers, sixth edition, 1996., McGraw-Hill, USA, 616 p.
3. Doebelin E. O., Measurement systems, application and design, fourth edition, 1990., McGraw-Hill international editions, USA, 960 p.
4. Seippel, Robert G., Transducers, sensors&detectors. A Prentice-Hall Company, Reston, Virginia, 1983., 299 p.
5. Proporcionālā hidropiedziņa lauksaimniecības tehnikā, A. Kaķītis, A. Kirka, A. Galiņš, Ē. Kronbergs, R. Purnas, 2001., Festo Didactic, Kauņa, 121 lpp.
6. Pico Technology paketes „palīdzība” (Help Topics)