

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

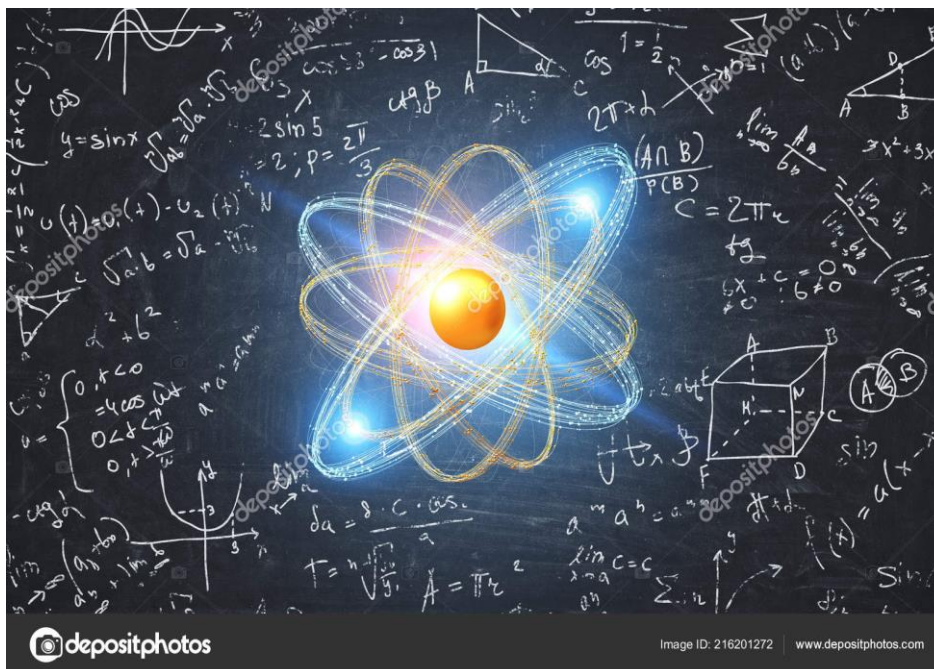
JIZZAX POLITEKNIKA INSTITUTI
RADIOELEKTRONIKA KAFEDRASI

E.A. Rabbimov, M.X. Suyarova

FIZIK O'LCHASHLARNING ZAMONAVIY
USULLARI

FANIDAN

O'QUV QO'LLANMA



JIZZAX-2021 y.

Fan bo'yicha ushbu o'quv qollanma bakalavr bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan bo'lib institut "Radioelektronika" kafedraasi ilmiy-uslubiy kengashining 2020 yil " _21_ " _10_ dagi № _3_-yig'ilishi qarori bilan tasdiqlandi.

"Radioelektronika"

kafedra mudiri: _____ **f.m.b.f.d.(Phd) J.Mustafoqulov**

Fan bo'yicha ushbu o'quv qollanma "Energetika va Radioelektronika" fakul'tet kengashida muhokama etilgan va foydalanishga tavsiya qilingan (2020 -yil " 22 " _10_ № _3_ – sonli bayonnoma).

Fakultet kengashi raisi: _____ **p.f.b.f.d (PhD) U.M.Yarlakabov**

Uslubiy o'quv qollanma Jizzax Politehnika instituti ilmiy – uslubiy kengashining 2020 yil " _25_ " _11_ №_4_majlis bayonnomasi bilan tasdiqlangan.

Jizzax politexnika instituti ilmiy-uslubiy kengash kotibasi:

_____ **katta o'qituvchi: M.Matchanova**

O'quv qo'llanma JizPi Kengashining №6. "27" 01.2021й. qarori bilan tasdiqlandi va chop etishga tavsiya qilindi. "Fizik o'lchashlarning zamonaviy usullari" faninidan bo'yicha O'quv qo'llanma. Oliy o'quv yurtining bakalavr bosqichida ta'lim olayotgantalabalari talabalari uchun mo'ljallangan. Jizzax, 2021 yil 178 bet.

Tuzuvchilar:

E.A. Rabbimov -Jizzax politexnika instituti “Radioelektronika” kafedra dotsenti.

M.X. Suyarova -Jizzax politexnika instituti “Radioelektronika” kafedra katta o'qituvchisi

“Fizik o'lchashning zamonaviy usullari” O'quv qo'llanma Jizzax-2021 yil,173b.

Xalq xo'jaligining barcha sohalarida zamonaviy texnik bilim va malakaga ega bo'lgan, tabiiy fanlarning fundamental bilimlarini o'zlashtirib olgan, dunyo qarashi keng mutaxassis - kadrlarga bo'lgan talab ortib bormoqda. Ishlab chiqarishning turli sohalarida faoliyat olib borish bo'sag'asida turgan bakalavriatlar o'z sohalarida hozirgi zamon “Fizik o'lchashning zamonaviy usullari” va “Noelektrik kattaliklarni o'lchash” ning fizik asoslarini, zamonaviy sensorlarni, ularni tashkil etuvchi tarkibiy qismlari haqidagi ma'lumotlarni bilishlari shart. Shuning uchun ham bu qo'llanma dolzarbdir.

Bu qo'llanmada mualliflarning maqsadi talabalarga fizik o'lchashning zamonaviy usullarini hamda noelektrik kattaliklarni o'lchash qurilmalarning ishlash usullari bo'yicha bilimlarning nazariy asoslarini, asosiy tushunchalari va kategoriyalarini, qonunlar tamoyilini o'rgatish, ularni amalda tatbiq etish ko'nikmasini hosil qilis

Mazkur o'quv qo'llanma Oliy o'quv yurtlarining bakalavriat yo'nalishidagi 5310800 - “ Elektronika va asbobsozlik ” (tarmoqlar bo'yicha) 5350700 - “ Radioelektron qurilma va tizimlar ” (tarmoqlar bo'yicha) talabalariga mo'ljallangan bo'lib, Davlat ta'lim stantartlari talablariga mos holda namunaviy dastur va o'quv rejalar asosida bakalavrlar uchun ishlab chiqilgan. “Fizik o'lchashning zamonaviy usullari” fani bo'yicha o'quv qo'llanmadan noelektrik yunalishidagi talabalar va texnikum o'quvchilari uchun tavsiya etish mumkin.

Taqrizchilar:

A. Mustafaqulov - fizika-matematika fanlar nomzodi dotsent
Jizzax Politexnika instituti ”Fizika”kafedراسi mudiri

N. Taylanov - fizika-matematika fanlar nomzodi, dotsent
Jizzax Pedagogika instituti ”Umumiy fizika” kafedراسi

ЖИЗЗАХ ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ
КЕНГАШИНИНГ ЙИҒИЛИШ
БАЁННОМАСИДАН КЎЧИРМА

2021 йил 27.01.

№ 6

Жиззах шаҳри

Қатнашдилар:

Кенгаш аъзолари (рўйхат бўйича)

Кенгаш раиси
Кенгаш котиби

А. Усманкулов
Н. Парсаева

КУН ТАРТИБИ:

6. Турли масалалар.

6.5. Институт “Радиоэлектроника” кафедраси профессор-ўқитувчилари Э.А.Раббимов, М.Х.Суяровалар томонидан яратилган “Физик ўлчашларнинг замонавий усуллари” номли ўқув қўлланмасини тасдиқлаш тўғрисида.

ЭШИТИЛДИ:

Кун тартибидаги 6.5-масала юзасидан Кенгаш котиби Н.Парсаева сўз олди ва Кенгашга тақдим этилган “Радиоэлектроника” кафедраси профессор-ўқитувчилари Э.А.Раббимов, М.Х.Суяровалар томонидан яратилган “Физик ўлчашларнинг замонавий усуллари” номли ўқув қўлланмасини таништирди.

Ўқув қўлланма 173 саҳифадан иборат бўлиб, “5310800- Электроника ва асбобсозлик”, “5350700 –Радиоэлектрон курилма ва тизимлар” таълим йўналишлари талабалари учун мўлжалланган.

Кафедранинг баённомаси ва тақдим этилган тақризларни, илмий услубий кенгаш қарорини Кенгаш аъзоларига ўқиб эшиттирди.

СЎЗГА ЧИҚДИЛАР:

Доц. С.Товбоев, доц. М.Позилов, доц. О.Бердиев, доц. А.Мустафокулов, п.ф.ф.д. У.Ярлақабов, т.ф.н. Ғ.Эгамназаров, и.ф.н. А.Кучимов ва кенгаш раиси А.Усманкуловлар ушбу масала юзасидан ўз фикр мулоҳазаларини савол жавоб орқали билдирдилар.

Кун тартибидаги масалани ўрганиб Кенгаш
ҚАРОР ҚИЛАДИ:

1. Институт “Радиоэлектроника” кафедраси профессор-ўқитувчилари Э.А.Раббимов, М.Х.Суяровалар томонидан яратилган “Физик ўлчашларнинг замонавий усуллари” номли ўқув қўлланмани тасдиқлаш учун мувофиқлаштирувчи Кенгашга тавсия этиш тўғрисида кенгаш котиби Н.Парсаева ахбороти маълумот учун қабул қилинсин.

2. Институт “Радиоэлектроника” кафедраси профессор-ўқитувчилари Э.А.Раббимов, М.Х.Суяровалар томонидан яратилган “Физик ўлчашларнинг замонавий усуллари” номли ўқув қўлланмани тасдиқлансин ва Мувофиқлаштирувчи Кенгашга муҳокама учун тавсия этилсин.

3. Мазкур қарор ижросини назорат қилиш институт ўқув ишлари бўйича проректори доц. Г.Ғ.Эгаммазаров зиммасига юклатилсин.

Кенгаш раиси

Кенгаш котиби



А.Усманкулов

Н.Парсаева



REDMI NOTE 8
AI QUAD CAMERA

I-BOB. KIRISH. FANNING MAQSADI VA VAZIFALARI

Kirish

Metallar sirtining fizikasi, ximiyasi va mexanikasi yildan-yilga juda ko'pchilik texnika va texnologiyalarga o'z ta'sirini oshirib bormoqda. Xozirgi davirda faqatgina erkin sirt yoki ajralish sirtlarini strikturasi, tarkibi, fizikaviy va ximiyaviy xossalari to'g'risidagi ma'lumotlarga asosiy yechimlari tanilayotgan amaliy masalalarni sanab o'tish ancha murakkab. Ammo sirt haqidagi bilimlar darajasi yetarli darajada to'liq emas. Bu narsa bugungi navbatda sirt xossalarini atom va molekulyar darajasida o'zgarish uchun yaroqli bo'lgan analitik metodlarni ishlab chiqish qiyinchiligi bilan izoxlanadi. O'ta yuqori vakuum texnikasining va o'lchashning radiotexnik vositalarining rivojlanishi bu qiyinchiliklar asta-sekin yengib o'tilmoqda. Hozirgi vaqtda qalinligi atom qalinligining ulushlarida 100 mkm ga yupqa sirt qatlamlarini atom va elektronlar strukturasini ximiyaviy tarkibini analiz qilish 70 metod 70dan ziyod asboblardan qo'llanadi, ularning keskin rivojlanishi va mukammallashuvi uzluksiz davom etmoqda. Albatta bunday sonli katta metodlar va asboblarning ishlab chiqishi va qo'llanilishi qattiq jism sirtida yuz beradigan fizikaviy va ximiyoviy jarayonlarning turli tumanligidir. Sirtni analiz qilish metodlarini va ular yordamida olinayotgan natijalarning mohiyatini bilish juda keng doiradagi tadqiqotchilar va injinerlar uchun zarur.

Ayniqsa zaryadli zarrachalarning turli taqsimotlari olinadigan va shu olinadigan spektrlarni taxlil qilish natijasida, y'ani ma'lumotlarni olish imkoniyatini bermoqda. Elektron spektroskopiyasi metodlarida zaryadli zarrachalarning energiya taqsimotlaridagi nozik strukturalarni ajratib olish va ular asosida qattiq jism sirtining xossalari to'g'risida ma'lumot olish hozirgi kunda juda keng qo'llanilmoqda.

Bu metodlar asosida yotgan fizikaviy jarayonlar va hodisalarning fizikaviy ma'nosi ochib berish va bu usullarni qo'llashda nimalarga e'tibor berish kerakligini juda muhimdir.

1.1 Fanning maqsadi va vazifalari

Fanni o'qitishdan maqsad talabalarni fan va texnikada keng qo'llanilayotgan zamonaviy o'lchash usullari va o'lchash asbob-uskunalarini bilan tanishtirish. Fanning vazifasi yupqa qatlam, qattiq jism sirti, past o'lchamli strukturalarda sodir bo'ladigan fiziko-kimyoviy jarayonlar qonuniyatlarini o'rganish, jarayonni tavsiflovchi parametrlarni o'lchash usullari bilan tanishtirishdan iborat. Past o'lchamli strukturalar, yupqa qatlamlar va qattiq jism sirtida yuz beradigan turli jarayonlarni zamonaviy o'rganish usullarini o'zlashtirish nanoelektronika sohasida olib borilayotgan ilmiy izlanishlarni va

shu sohadagi yutuqlarni tushunishda muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga yarim o'tkazgich asboblarni loyihalashtirish, materiallarni tanlash, ishlash jarayonlarini tavsiflash va sharoitlarini aniqlashda ham zamonaviy diagnostika qilish usullarini bilish juda zarurdir.

Talabalar fanni o'rganish davomida yupqa qatlam, qattiq jism sirti va hajmida har xil sharoitlarda sodir bo'layotgan fizik-kimyoviy jarayonlarni tavsivlovchi ko'rsatgichlarni usullarini o'zlashtirishlari kerak.

- *Talabalardan qo'llanilayotgan fizikaviy o'lchash usullari asosida yotuvchi fizik jarayon, effekt va hodisalarning mohiyatini tushunishlari talab qilinadi;*
- Talabalar talab qilingan fizik kattalikni o'lchash imkoniyatini beradigan asbob va uskunalarni tanlay olishi, hamda ulardan foydalana olish ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak;
- Talaba fizikaviy o'lchash jarayonini falsafiy va metodologik mazmunini tushunib yetishi, olingan natijalarni qayerda va qanday qo'llash mumkinligi haqidagi tassavurga ega bo'lishi kerak.

Ushbu fanni o'rganish umumiy fizika kursi, matematika, elektrotexnika, radioelektronika, elektronika va mikroelektronika, vakuum va kriogen texnikasi asoslari fanlari asosida olib boriladi. O'z navbatida ushbu fanni bilish talabalarga qattiq jism fizikasi, sirt diagnostikasi, ilmiy-tekshirish ishlari, materialshunoslik fanlarini o'rganishda asqotadi hamda malakaviy bitiruv ishini bajarishda zarur bo'ladi.

Ushbu fanni o'zlashtirish natijasida talabalar quyidagilar haqida umumiy ma'lumotlarga ega bo'ladilar: past o'lchamli strukturalar va sirt to'g'risida tushuncha. Ideal va real sirt. Sirtning birlamchi va ikkilamchi xossalari. Sirt oldi qatlamlaridagi fizikaviy jarayonlar. Materiallar sirtini analiz qilish usullarining tanifi. Materiallar sirtini o'rganishning emission metodlari. Termoelektron metod. Termoelektron asboblari. Termoelektron emission mikroskopiya. Kontakt potentsiallar forqi metodi. Sirt ionizatsiyasi metodi. Termik desorbsiya va unga asoslangan metod. Ekzoelektron emissiya metodi. Avtoelektron emissiyaga asoslangan metodlar. Avtoelektron emissiya chiqish ishi metodi. Avtoelektron mikroskopiya. Avtoelektron spektroskopiya. Myullarning elektron va ion proyektorlari. Avtoion mikroskopiya. Atom zondi metodi. Uchqunli mass-spektrometriya. Materiallar sirtini o'rganishning zondlovchi usullari. Sirtni tez elektronlar va pozitronlar bilan zondlash. Rastrli elektron mikroskopiya. Mikrostrukturalarni o'rganish uchun rastrli elektron mikroskop. Rastrli elektron mikroskop- mikroanalizator. Sizib o'tuvchi rastrli elektron mikroskop. Tez elektronlar difraksiyasi metodi. Elektronograflar. Elektron zondli mass-

spektrometriya. Elektron-pozitron annigilyasiyasi metodi. Sirtni sekin elektronlar bilan zondlash. Sekin elektronlar difraksiyasi metodi. Sekin elektronlar elektronograflari. Ikkilamchi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti. Oje-elektronlar. Elektron Oje-spektroskopiyasi. Elektron Oje-spektrometrning funksional sxemasi. Qatma-qat analiz uchun Oje-spektrometr. Energiyani xarakterli yo'qotish spektroskopiyasi. Energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi. Energiyani xarakterli yo'qotishning past energetik spektroskopiyasi. Energiyani xarakterli yo'qotishning plazmon spektroskopiyasi. Energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasi. Bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasi. Ikkilamchi elektronlar emissiyasi koefisiyentini o'lchashga asoslangan metodlar. Elektronlar jadallashtirgan desorbsiya metodi. Sirtni elektromagnit nur bilan zondlash. Fotoelektron emissiya metodi. Fotoelektron spektroskopiya metodlari. Rentgen fotoelektron spektroskopiyasi. Ultrabinafsha elektron spektroskopiyasi. Lazerli mass-spektrometriya. Sirtni ion va molekulyar dastalar bilan zondlash. Ikkilamchi ionlar mass-spektrometriyasi. Sekin ionlar sochilishi spektroskopiyasi. Rezerfordning orqaga sochilish spektroskopiyasi. Ion-elektron emissiya metodlari. Ion-neytralizacion spektroskopiya. Ion Oje-spektroskopiyasi. Ion-elektron emissiyasi koefisiyentini o'lchashga asoslangan metod. Miltillama razryad mass-spektrometriyasi. Changitilgan zarrachalarning optik spektroskopiyasi. Qattiq jism sirtiga vakuumda ishlov berish va sirtni vakuumda tayyorlash. Qattiq jism sirtini tayyorlash usullari: yuqori haroratda ishlov berish, ximiyoviy reaksiyalar usuli, ion bombardirovkasi, elektr maydoni bilan bug'latish, mexanik ta'sir, yupqa qatlamlar olish usuli.

1.2- Sirtlarning birlamchi va ikkilamchi xossalari.

Qattiq jismning ideal sirti deyilganda, xuddi uch o'lchamli qattiq jismning ideal panjarasi kabi, atomlarning ikki o'lchamda davriy joylashuvi tushunilib, bunday joylashuv biron-bir buzilishlarsiz cheksizlikka davom etadi. Real sirt , xuddi real panjara kabi, ideal sirtidan davriylikning buzilishi nuqsonlar mavjudligi va begona atomlarning borligi bilan farq qiladi. Real sirtni to'liq ifodalash uchun ko'pincha na faqat eng yuqorigi atomlar qatlamini, balki qandaydir ichki atomlar qatlamlari sonini ham hisobga olish kerak. Sirtida uch o'lchamli davriylikning keskin uzilishi va uzluksiz jismning xossalari keskin o'zgarishi yuz bermaganligi sababli bir yoki bir necha atom qatlami qalinligida qandaydir sirt qatlami mavjud deb, bu qatlamda geometrik, kimyoviy va elektron xossalari qattiq jismning ichidagi xossalardan farq qilishini faraz qilish mumkin. Shuning uchun ba'zida "taglik sirti" yoki "asos sirti" degan tekislik

tushunchasi kiritilib, bu tekislikdan yuqorida keltirilgan xossalarni ajratib berishni ta'minlaydigan farq qiladi. Shunday qilib, "taglik sirti" qattiq jism bilan sirt sohasining bo'linish sirti sifatida xizmat qiladi.

Sirtning aniq ifodalash uchun quyidagi asosiy parametrlarni aniqlashni bilish zarur: sirtga mavjud bo'lgan atomlar tipi; sirt atomlarining o'zaro joylashuvi; sirt atomlarining elektron strukturasi, atomlarning harakati (atom tebranishlari, sirt diffuziyasi, qattiq jism ichkarisiga va undan sirtga diffuziya hamda bug'lanish); sirtga nuqsonlarning tabiati va taqsimoti; sirt topografiyasi; ochiq fasetkalarning tabiati va yuzasi; sirtga begona atomlarning fazoviy taqsimoti; bo'linish sirtlari yaqinida turli tipdagi atomlarning chuqurlik bo'yicha taqsimoti.

Sirt xossalari birlamchi va ikkilamchi xossalarga ajratiladi. Birlamchi xossalarga sirtning tarkibi, uning atom va elektron strukturasi, sirt atomlarining harakati, sirt nuqsonlarining tabiati va taqsimoti, sirt topografiyasi kiradi. Ikkilamchi xossalarni birlamchi xossalarning hosil bo'lib, sirtga kechayotgan jarayonlarni xarakterlaydi. Ularga elektr, magnit, optik, adgezion va katalitik xossalarni, yeyilishga bardoshlik, korroziion turg'unlik, donalar orasida segregatsiyalarning hosil bo'lishi, moylanuvchanlik va reaksiya qobiliyati kiradi. Texnologik maqsadlarda konkret amaliy natijalar olish uchun fundamental qonuniyatlardan foydalanish birlamchi va ikkilamchi xossalarni orasidagi bog'lanishni aniqlashga asoslangan. Sirtning analiz qilish metodlarini va ular yordamida olinadigan natijalarning mohiyatini bilish keng doiradagi tadqiqotchilar va muhandislar uchun zarurdir.1.3

1.3.Sirt holatlari. Tamm va Shokli sathlari.

Shuni nazarga olish kerakki, cheklangan kristallda uning sirtida energetik spektrni va sirt sohasidagi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasini o'zgartiradigan o'ziga xos energetik holatlar yuzaga keladi.

Kristall chegarasidagi potensial maydonning yarim o'tkazgich xossalari ta'sirini tahlil qilib, I.Ye.Tamm 1932 yildayoq u yarim o'tkazgichning taqiqlangan zonasida ruxsat etilgan energetik sathlarning yuzaga kelishiga olib kelishini ko'rsatgan edi. Bu sathlar faqat sirtga xos bo'lib, ularni egallagan elektronlar (energiyasini o'zgartirmay) kristall ichkarisiga o'ta olmaydi. Shuning uchun bunday sathlar sirt sathlari yoki Tamm sathlari deb ataladi. Tamm sathlari ruxsat etilgan zonalaridagi mavjud sathlar soniga qo'shimcha sathlar emas va mos ruxsat etilgan zonalaridan ajralib chiqqan sathlar hisoblanadi. Tamm sathlarining konsentratsiyasi kristallning sirt atomlari konsentratsiyasi bilan belgilanadi, ya'ni 10^{18} - 10^{19} m⁻² tartibidagi miqdorga teng. Energetik

diagrammadagi joylashish o'rniga ko'ra ular donor, akseptor sathlari yoki rekombinasiya markazlari bo'lib namoyon bo'ladi.

Tamm sathlari kristall sirti ideal toza va bir jinsli bo'lganida ham, kristallning sirt oldi qatlamlaridagi elektron gaz holatiga jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Real yarim o'tkazgich sirtida doimo dislokasiyalar, vakansiyalar va b. tipdagi ancha –muncha nuqsonlar mavjud bo'ladi. Bu nuqsonlar ham yarim o'tkazgichning energetik diagrammasiga sirt energetik sathlarini kiritadi va ular taqiqlangan zonada joylashishi mumkin. Kristall nisbatan yuqori vakuum sharoitida bo'lsa ham, uning sirtida doimo begona moddaning qandaydir miqdorda adsorbsiyalangan atomlari bo'ladi. Nazariy tahlilning ko'rsatishicha, ma'lum sharoitlarda adsorbsiyalangan atom o'zini kirishma kabi tutadi, ya'ni energetik diagrammaga mahalliy sath kiritadi. Taqiqlangan zona chegarasida uning joylashuvi kristall panjaraning va adsorbsiyalangan atomning xarakterlari bilan belgilanadi. Bundan tashqari, u adsorbsiyalangan atom bilan sirt orasidagi masofaga ham bog'liq. Bu masofa ortishi bilan sath yuqoriga ko'tariladi va cheksizlikda o'tkazuvchanlik zonasiga “singib” ketadi. Tamm sathlaridan farqli strukturaviy nuqsonlar va adsorbsiyalangan atomlardan yuzaga kelgan sirt sathlarining konsentrasiyasi nuqsonlar va adsorbsiyalangan atomlar soni o'zgarganda o'zgarishi mumkin. Yuqori konsentrasiyalarda sirt sathlari zonalarga birikib ketishi mumkin.

Kristall sirtida sirtiy energetik sathlarning mavjudligi, termodinamik muvozanat o'rnatilishi davrida

1.4- Materiallar sirtini analiz qilish metodlarining tasnifi

1. Analizning emission metodlari.

Metod nomi			Metod asosida yotgan hodisa yoki jarayon	Qayd qilinuvchi zarracha yoki nur
№	o'zbekcha	inglizcha		
1.	Avtoion mikroskopiya	Field-ion microscopy (FIM)	Elektr maydoni ta'sirida ionlar emissiyasi	Material ionlari
2.	Avtoelektron mikroskopiya	Field-emission microscopy	Elektr maydoni ta'sirida elektronlar emissiyasi	Material elektronlari
3.	Avtoelektron spektroskopiya	Field-electron energy spe-	Elektr maydoni ta'sirida	Material elektronlari

		ctroscopy (FEES)	elektronlar emissiyasi	
4.	Uchqunli mass-spektroskopiya	Spark mass spectrometry (SMS)	Vakuumda elektr maydoni ta'sirida ionlar emissiyasi	Material ionlari
5.	Atom zondi metodi	Atom probe spectroscopy (APS)	Elektr mayjoni ta'sirida ionlar emissiyasi	Material ionlari va atomlari
6.	Avtoelektron chiqish ishi metodi	Field-electron work-function measurement (FEWF)	Elektr maydoni ta'sirida elektronlar emissiyasi	Material elektronlari
7.	Kontakt potentsiallar farqi metodi	Contact potential difference (CPD)	Ikki o'tkazgich orasida kontakt potentsiallari farqining zaga kelishi	Material elektronlari
8.	Sirt ionizatsiyasi metodi	Surface ionization spectroscopy (SIS)	Termoion emissiya	Material ionlari
9.	Termik desorbsiya metodi	Thermostimulated desorption (TSD)	Termik desorbsiya	Materialning desorbsiyalangan zarrachalari
10.	Ekzoelektron emissiya metodi	Exoelectron spectroscopy	Ekzoelektron emissiya	Material elektronlari
11.	Termoelektron metod	Thermoelectron measurement (TEM)	Termoelektron emissiya	Material elektronlari
12.	Termoelektron emission mikroskopiya	Thermoelectron emission microscopy (TEEM)	Termoelektron emissiya	Material elektronlari

2. Analizning zondlovchi metodlari.

a) Tez elektronlar va pozitronlar bilan zondlash metodlari

13.	Tez elektronlar difraksiyasi metodi	High-energy electron diffraction (HEED)	Birlamchi elektronlarning difraksiyasi	Materialdan ma'lum burchakda sochilgan birlamchi elektronlar
14.	Elektron-pozitron anniglyasiyasi metodi	Electron-positron annihilation (EPA)	Pozitronlarning material elektronlari bilan anniglyasiyasi	γ -kvantlar
15.	Rastrli elektron mikroskopiya	Scanning electron microcopy of surface (SEMS)	Birlamchi elektronlarning materialda sochilishi	Materialdan sochilgan birlamchi elektronlar
16.	Elektron zondli mass-spektrometriya	Electron probe mass specrometry (EPMS)	Bug'latilgan material atomlari va ionlarining ionlashuvi	Material ionlari

b) Sekin elektronlar bilan zondlash metodlari.

17.	Energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi	Ionization spectroscopy	Birlamchi elektronlarning material atomlari ichki qobiqlaridan elektron urib chiqarishda energiya yo'qotishi	Birlamchi elektronlar
18.	Energiyani xarakterli	Vibrational energy loss	Birlamchi elektronlarning	Birlamchi elektronlar

	yo'qotishning tebranma spektroskopiyasi	spectroscopy (VELS)	fononlar bilan ta'sirlashganda energiya yo'qotishi	
19.	Energiyani xarakterli yo'qotishning past energetik spektroskopiyasi	Low-energy electron energy- loss spectroscopy (LEELS)	Birlamchi elektronlarning energiya yo'qotishi	Birlamchi elektronlar
20.	Energiyani xarakterli yo'qotishning plazmon spektroskopiyasi	Plasmon electron energy- loss spectroscopy (PEELS)	Birlamchi elektronlarning plazmonlar bilan ta'sirlashganda energiya yo'qotishi	Birlamchi elektronlar
21.	Ikilamchi elektron emissiyasi metodi	Secondary electron emission (SEE)	Ikkilamchi elektron emissiya	Birlamchi elektronlar va material elektronlari
22.	Sekin elektronlar difraksiyasi metodi	Low-energy electron diffrac- tion (LEED)	Birlamchi elektronlar difraksiyasi	Materialdan ma'lum burchakda sochilgan birlamchi elektronlar
23.	Statik skin effekti metodi	Static skin-effect (SSE)	Statik skin effekti	Materialning o'tkazuvchanlik elektronlari
24.	Elektronlar jadallashtirgan desorbsiya metodi	Electron stimulated desorption (ESD)	Birlamchi elektronlar ta'sirida desorbsiya	Materialning desorbsiyalangan zarrachalari
25.	Potensiallar yo'qolishi spektroskopiyasi	Disappearance potential spectroscopy (DAPS)	Elastik sochilgan elektronlar	Birlamchi elektronlar va material elektronlari

26.	Bo'sag'a potensiallari spektroskopiyasi	Appearance - potential spect- roscopy (APS)	Birlamchi elektronlarning yumshoq rentgen nurini uyg'otishi	Yumshoq rentgen nuri
27.	Oje-elektronlar paydo bo'lish potensiallari spektroskopiyasi	Auger-electron appearance potential spectroscopy (AEAPS)	Elektronlar emissiyasi	Birlamchi elektronlar va material elektronlari
28.	To'liq tok spektroskopiyasi	Total current spectroscopy (TCS)	Birlamchi elektronlarning energiya yo'qotishi	Birlamchi elektronlar va material elektronlari
29.	Elektron oje- spektroskopiyasi	Auger-electron spectroscopy (AES)	Oje-elektronlar emissiyasi	Material oje- elektronlari

s) Elektromagnit nur bilan zondlash metodlari

30.	Infraqizil ichki qaytish spektroskopiyasi	Internal reflectance infrared spectroscopy (IRIRS)	Buzilgan to'liq ichki qaytish	Infraqizil nurlanish
31.	Infraqizil yutilish spektroskopiyasi	Infrared spectroscopy (IRS)	Materialda infraqizil nurning yutilishi	Material ionlari
32.	Lazer mass- spektroskopiyasi	Laser mass spectrometry (LMS)	Lazer qizdirishda bug'lanish va ionlashish	Material ionlari
33.	Sirt Myossbauer spektroskopiyasi	Mossbauer spectroscopy (MOSS)	Turtkisiz γ - kvantlarning rezonans yutilishi	γ - kvantlar, konversiya elektronlari
34.	Fotodesorsiya metodi	Photodesorption (PD)	Elektromagnit nur ta'sirida desorbsiya	Materialning desorbsiyalangan materiallari

35.	Fotoelektron emissiya metodi	Photoelectron emission (PEE)	Tashqi fotoeffektning yuzaga kelishi	Material elektronlari
36.	Infraqizil qaytma-absorbsion spektroskopiyasi	Reflection-absorption spectroscopy (RAS)	Infraqizil nurning qaytishi	Infraqizil nur
37.	Rentgen fotoelektron spektroskopiyasi	X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)	Rentgen nuri ta'sirida tashqi fotoeffektning yuzaga kelishi	Material elektronlari
38.	Rentgen nuri yutilishi spektroskopiyasi	Extended X-ray absorption fine structure (EXAFS)	Rentgen nuri ta'sirida tashqi fotoeffektning yuzaga kelishi	Material elektronlari
39.	Ultra binafsha elektron spektroskopiyasi	Ultraviolet photoemission spectroscopy (UPS)	Ultra binafsha nur ta'sirida tashqi fotoeffektning yuzaga kelishi	Material elektronlari
40.	Fotoakustik spektroskopiya	Photoacoustic spectroscopy (PAS)	Material atrofidagi gazda akustik tebranishlarning yuzaga kelishi	Akustik tebranishlar
41.	Ellipsometriya	Ellipsometry (EM)	Qutblangan elektromagnit nurning qaytishi	Qaytgan qutblangan elektromagnit nur

d) Ionlar yoki neytral zarrachalar bilan zondlash metodlari

42.	Ion-neйtralizacion spektroskopiya	Ion-neutralization spectroscopy (INS)	Material elektronlarining birlamchi ionlarni	Material elektronlari
-----	-----------------------------------	---------------------------------------	--	-----------------------

			neytrallashtirishi	
43.	Ion elektron emissiya metodi	Ion-electron emission (IEE)	Birlamchi ionlar ta'sirida material elektronlarining emissisi	Material elektronlari
44.	Ion-rentgen spektroskopiya	Ion-induced X-ray spectroscopy (IIXS)	Birlamchi ionlarning rentgen nurini uyg'otishi	Rentgen nuri
45.	Molekulyar dasta sochilish spektroskopiyasi	Molecular beam surface scattering (MBSS)	Birlamchi neytral atomlar yoki molekulalarning sochilishi	Sochilgan birlamchi atomlar yoki molekulalar, material zarrachalari va ximiyoviy reaksiya mahsulotlari
46.	Yadro reaksiyalari metodi	Nuclear reaction spectroscopy (NRS)	Yuqori energiyali ionlar ta'sirida yadro reaksiyalarining kechishi	Yadro reaksiyalari mahsulotlari
47.	Rezerfordning orqaga sochilish spektroskopiyasi	Rutherford backscattering spectroscopy (RBS)	Yuqori energiyali yengil ionlarning sochilishi	Sochilgan birlamchi ionlar
48.	Ikkilamchi ionlar mass-spektrometriyasi	Secondary ion mass spectrometry (SIMS)	Birlamchi ionlar ta'sirida material ionlarining emissiyasi	Material ionlari
49.	Miltillama razryad mass-spektrometriyasi	Glow-discharge mass spectrometry (GDMS)	Miltillama razryadda changigan	Material ionlari

			atomlarning ionlashuvi	
50.	Changitilgan zarralar optik spektroskopiyasi	Glow-discharge optical spectroscopy (GDOS)	Birlamchi ionlarning optik nur uyg'otishi	Changitilgan zarrachalarning optik nurlanishi
51.	Sekin ionlar sochilish spektroskopiyasi	Ion scattering spectroscopy (ISS)	Sekin birlamchi ionlarning sochilishi	Sochilgan birlamchi ionlar

2. ANALIZNING EMISSION METOTLARI

2.1. Termoelektron metod

Termoelektron metod (TEM) asosida termoelektron emissiya (Richardson effekti), ya'ni qattiq jismlarning issiqlikdan o'yg'onishi natijasida ulardan elektronlarning uchib chiqishi hodisasi yotadi.

Jism chegarasidan elektron vakuumga chiqishi uchun, shu jism sirtidagi potensial to'siqni yengib o'tishi, ya'ni chiqish ishini bajarishi kerak. Chiqish ishi ϕ o'tkazgichning eng muhim ko'rsatkichlaridan biri hisoblanib, o'tkazgichlarning termoemission va ikkilamchi-emission jarayonlardagi qonuniyatlarni belgilaydi. U qattiq jismdagi elektronni, amalda elektr maydoni nolga teng bo'lgan vakuumga o'tkazish uchun kerakli bo'lgan minimal energiya orqali aniqlanadi. ϕ qattiq jismning hajmidagi va sirtidagi atom va elektron strukturaga bog'liq bo'lib, elektron-voltlarda ifodalanadi. Sirt holatining strukturaviy va fizika ximiyaviy holatini belgilaydigan turli faktorlarga chiqish ishining nihoyat darajada yuqori sezgirliigi, sirt hossalarni o'rganish uchun unu o'lchashni taqoza qiladi. U sirt strukturasining nuqsonlariga sezgir, ayniqsa ϕ ning qiymati adsorbsialangan kirishmalarning tabiatiga va miqdoriga juda kuchli bog'liq.

Elektromanfiy kirishmalar (kislorod, galogenlar, asosining chiqish ishiga ϕ nisbatan ϕ si katta metallar) odatda chiqish ishini oshiradi. Elektromusbat kirishmalar (seziy volfram sirtida, toriy volfram sirtida, bariy volfram sirtida) asosan chiqish ishini kamaytiradi. Chiqish ishi yana quyidagi xarakteristikalariga bog'liq: atom nomeri, siqilish koeffisienti, kristall panjara energiyasi, sirt tarangligi, elektromanfiylik, adsorbsiya harorati, atomlararo ta'sirlashish energiyasi, faollashtirish energiyasi, yuqori haroratli oksidlanish.

Chiqish ishi va uning o'zgarishini o'lchashning bir nechta metodlari mavjud: termoelektron, kontakt potentsiallari farqi, sirt ionizatsiyasi, avtoelektron emissiya. Ularni absolyut chiqish ishini aniqlash imkonini beradigan metodlarga va faqat etalon sirt holatiga nisbatan $\Delta \phi$ farqni o'lchash imkonini beradigan metodlarga ajratiladi.

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda, ϕ buyicha bir jinsli bo'lgan emitterdan termoelektron emissiyadagi to'yingan termoelektron tokning zichligi Richardson-Deshman formulasi orqali aniqlanadi.

$$J = A_o T^2 (1 - R) \exp(-e\phi/kT) \quad (4.1).$$

Bu yerda, A_o -universal doimiy bo'lib, $4\pi e^2 m/h^3$ ga yoki $120,4 \text{ A}\cdot\text{sm}^{-2}\cdot\text{K}^{-2}$ ga teng. (4.1) tenglama bo'yicha chiqish ishini hisoblashning ikki metodi qo'laniladi: Richardson to'g'ri chiziqlari metodi va va to'liq tok metodi.

Birinchi metod bilan hisoblashda, tok zichliklarining tajribaviy qiymatlari quyidagi tenglama yordamida qayta ishlanadi.

$$\lg(j/T^2) = \lg A - 5040/T$$

Bu yerda $A = A_0 D$, $D = 1 - R$. $\lg(j/T^2) = f(5040/T)$ bog'lanishning to'g'ri chiziqli grafiklaridagi og'ish burchagining tangensi φ ga teng. Ordinata o'qidan kesilgan kesma orqali A doimiy aniqlanadi.

φ to'liq tok metodi bilan hisoblanganda (4.1) tenglama logarifmlanadi va shu bilan undan ko'pchilik emitterlar uchun noma'lum bo'lgan A_0 va R doimiylar chiqarib yuboriladi:

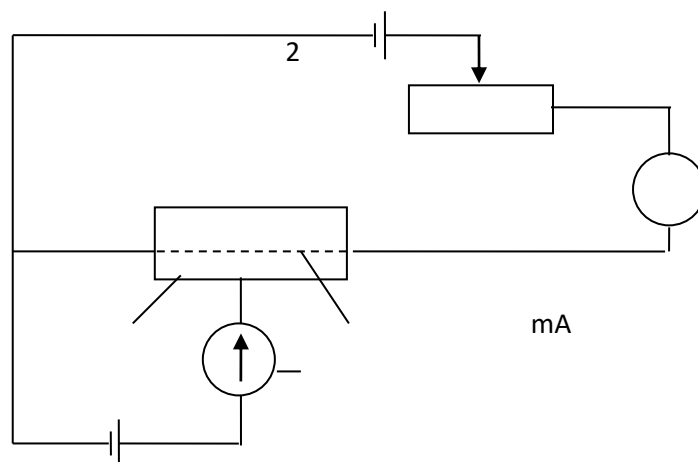
$$\varphi(T) = \frac{T}{5040} [2,025 - \lg(j/T^2)]$$

$\varphi(T)$ chiqish ishi, emissiyaning to'liq toki bo'yicha chiqish ishi deb ataladi va uni o'lchangan j va T larning qiymatlari bo'yicha maxsus nomogrammalardan foydalanib, osongina o'lchash mumkin.

2.2. Termoelektron asboblari

Termoelektron asboblari vakuum postidan, namuna joylashtirilgan ishchi kameradan, namunani qizdirish blogidan, hamda tok va temperaturani qayd qilish sistemasidan iborat. O'lchash tarzi bir xil bo'lib, ular qizdirish va temperaturani o'lchash, namunalarining shakli va o'lchami hamda katod va anod bloklarining o'ziga xos tuzilishi bilan farq qiladi.

Eng oddiy asboblarda elektronlar kollektori (anod) bilan o'rab olingan katod (polikristall sim namunasi) vakuumda joylashtirilgan katod, talab qilingan temperaturagacha manbadan kelayotgan qizdirgich toki bilan qizdiriladi. Katod 3 va kollektor 1 vakuum oralig'ida kuchlanish manbayi 5 yordamida uncha katta bo'lmagan elektr maydoni hosil qiladi. Katoddan chiqayotgan elektronlar kollektor tamon harakatlanadi. Termoelektron tok galvanometr 4 bilan o'lchanadi. To'yinish toki emissiya tokining katod va anod oralig'idagi potentsiallar farqiga bog'lanishi grafigidan aniqlanadi (4.1. Rasm).



4.1. Rasm. Termoelektron tokni o'lchash uchun asbobning elektron sxemasi: 1-anod-kollektor, 2-katod qizdirgichining manbasi, 3-katod (simli namuna), 4-gal'vanometr, 5-kuchlanish manbasi.

2.3. Termoelektron emission mikroskopiya (TEEM)

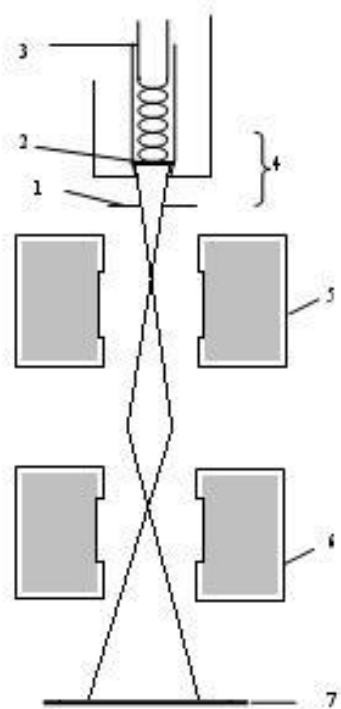
Odatdagi elektron mikroskopiya nisbatan TEEM ning farq qiluvchi xususiyati shundaki, namunaning o'zi sirtning tasvirini shakllantiradigan elektronlarning manbasi bo'lib xizmat qiladi. TEEM ning yana bir o'ziga xos xususiyati-tasvir kontrastining shakllanish jarayoni sirt relefining holatiga bog'liq emasligidir.

TEEM katod materiallarini yaratishda va materialshunoslikdagi strukturaviy tadqiqotlarda (masalan temperaturaga bog'liqliklarni o'rganishda) rekristallizatsiyani, donalar o'sishini, kristall chegaralarining harakatchanligini o'rganishda keng qo'llaniladi.

Termoelektron emission mikroskop quyidagi asosiy qismlardan iborat: namuna 2 termo emissiyani ta'minlaydigan haroratni olish uchun qizdirgich 3, emissiyalangan elektronlarni tezlashtirish, kollimirlash va fokuslash uchun elektron-optik sistema 4, 5, 6, lyuminitsent ekran 7, vakuum sistemasi.

Obektiv linza 5 tasvirning birinchi katalashtirishi shakllantirib, keyin u 6 proeksion linza yordamida yakuniy kattalashtirishadi.

Turli mikroskoplar tuzilmasida elektromagnit linzalar ham elktrostatik linzalar ham qo'llaniladi. Namunalarning taqiqlangan temperaturasi qizdirish, to'g'ridan to'g'ri tok o'tish yoki elektron bambordirovkasi yo'li bilan erishiladi. Bu mikroskoplarning optik ajrata olish qobiliyati 50-100 nm tartibida bo'lib, sirt sohasining tasvirini bir necha ming marta maksimal kattalashtirishga mos keladi (1.2. Rasm).



4.2. Rasm. Termoelektron emission mikroskopning sxemasi: 1- anod, 2- namuna, 3- qizdirgich, 4- katod linza, 5- obektiv linza, 6- proeksion linza, 7- lyuminitsent ekran.

2.4. KONTAKT POTENSIALLAR FARQI METODI (KPF)

2.4.Kontakt potensiallar farqi metodi (KPF)

Kontaktlashuvchi o'tkazgichlar orasidagi termodinamik muvozanat sharoitida o'tkazuvchan elektronlar tufayli yuzaga keladigan elektr potensiallari farqi KPF deb ataladi. Agar ikkita qattiq o'tkazgich bir biriga tekkizilsa, ular orasida elektronlar almashinuvi yuz berib almashinuvchi elektronlarning soni shu o'tkazgichdagi ϕ ning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Kichik qiymat ϕ li o'tkazgichdan, katta qiymatli o'tkazgichga ko'proq elektronlar o'tadi. Bu jarayon to ikki o'tgazgich orasida potensiallar farqi yuzaga kelib, elektronlarning keyinchalik o'tishlariga to'sqinlik qilguncha davom etadi. Natijada kichik qiymatli ϕ li o'tkazgich musbat zaryadlansa, katta qiymatli ϕ li o'tkazgich manfiy zaryadlanadi. Ko'rilayotgan sistemada termodinamik muvozanat sharti-elektroximik potensiallarning tengligidir, ya'ni Fermi sathlarining tengligidir.

KPF ga temperatura, sirtiy energiya sathlari, sirdagi turli moddalarning qatlamlari, adsorbsiyalangan gazlar, kirishmalar kiritish natijasida Fermi sathlarining o'zgarishi ta'sir qilganligi sababli KPF metodi qattiq jism sirtida

turli moddalar adsorbsiyasining tabiyatini o'rganish, korrozion jarayonlar, o'z tabiatiga ko'ra turli sirlarning katalitik qobiliyatlarini tadbiq qilish uchun, korroziya va katalizatorlar, ingibitorlarining sifatini baholash; konstruksion materiallarning antifriksion xossalarini, turli moddalarning moylovchi va adgezion qobiliyatlarini aniqlash, ishlatish jarayonida moylarning moylovchi xossalarni aniqlab olish uchun qo'llashadi.

KPF ni o'lchash metodlari namunaning biron-bir maxsus shakli yoki temperaturasi bilan cheklanmagan. KPF ni o'lchashning quyidagi usullari bor:

1. Dinamik kondensator yordamida KPFni o'lchash (Kelvin metodi);
2. Statik kondensator yordamida KPFni o'lchash;
3. Elektron dastasi o'rdamida KPFni o'lchash (Anderson metodi).

2.5. Sirt ionizatsiyasi metodi

Sirt ionizatsiyasi metodining asosida qizigan metall sirtiga yo'naltirilgan atomlar yoki molekulalar oqimidan termodesorbsiyalangan musbat yoki manfiy ionlarning hosil bo'lishi hodisasi yotadi. Sirt ionizatsiyasining miqdoriy xarakteristikasi bo'lib, sirt ionizatsiyasining darajasi hisoblanadi.

$$\alpha^+ = n^+ / n^0$$

bu yerda, n^+ va n^0 ximiyaviy tarkibga ko'ra bir xil bo'lgan, mos ravishda desorbsiyalanayotgan ion va neytral zarrachalar oqimi.

Sirt ionizatsiyasi darajasining metall chiqish ishiga ϕ , sirtga tushayotgan atomlarning ionizatsiya potentsiali V_i ga va sirtning temperaturasiga bog'liqligi Sax-lengmyur tenglamasidan aniqlanadi.

$$\alpha^+ = n^+ / n^0 = A^+ \exp[e(\phi - V_i) / kT];$$

bu yerda A^+ -musbat ion va neytral atomlar holatlari uchun statik yig'indilar nisbati. Bu tenglama tezlashtiruvchi maydon bo'lmagandagi sirt bilan ta'sirlashuvchi zarrachalarning termodinamik muvozanatiga mos keladi.

Ionlar kuchlanganligi E bo'lgan tashqi maydon bilan tezlashtirilganda α^+ quyidagi tenglamadan aniqlanadi.

$$\alpha^+(E) = \alpha^+ (e^{\sqrt{e}E} / kT)$$

$\alpha^+ \ll 1$ va doimiy to'liq oqimda $n = n^+ + n^0$ sirtidan bo'layotgan ionizatsion tok quyidagi munosabatdan aniqlanadi.

$$i^+ = A^+ \exp[e(\phi - V_i) / kT];$$

ϕ ning qiymati turli yo'llar bilan aniqlanishi mumkin. Eng umumiy usul - qiyin ionlashadigan elementlardan musbat ionlar tokining temperaturaga bog'liqligini o'lchashga asoslangan. ϕ ni $\lg i^+ = f(1/T)$ grafiklar og'masidan aniqlash,

Richardson to'g'ri chiziqlari metodida qo'llaniladigan grafiklarni chizish usuliga o'xshaydi.

Chiqish ishining temperatura koeffitsienti KPFning temperaturaga bog'liqligidan aniqlanadi, KPF esa o'z navbatida engil ionlashadigan elementlarning tutub qolish egriligidan o'lchanadi.

Sirt ionizatsiyasi metodi ionlashish potentsiali va atomlarning elektronga moyilligini aniqlashda, qattiq jismlar sirtidan zarrachalarning desorbsiasi xarakteristikalarini, metallarda uglerodning diffuziyasini tadbqiq qilishda, katalizning ba'zi masalalarini yechishda qo'llaniladi.

Sirt ionizatsiyasida sirtidan zarrachalarning desorbsiyasi yuz berganligi sababli, ionizatsiyaning umumiy qonuniyatlarini o'rganish, birinchi navbatda adsorbsiyalangan qatlamning xossalari haqida ma'lumot beradi.

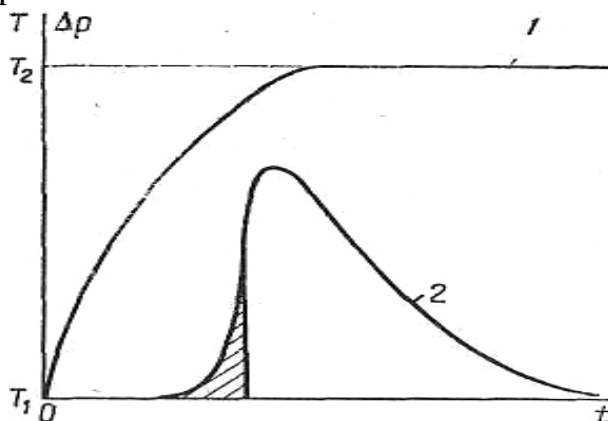
Sirt ionizatsiyasi metodi yordamida adsorbsiyalangan zarrachalarning bog'lanish energiyasini (atom va ionlarning bug'lanish harorati), bug'lanish haroratining qoplanish darajasiga va elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligini, adsorbsiyalangan atomlarning migratsiya jarayonlarini, emitter sirtidan zarrachalarning qaytishini, xemosorbsiyani va xemosorbsiyalangan qatlamlardagi reaksiyalarni o'rganish mumkun.

Sirt ionizatsiyasini o'lchash uchun asbobning asosiy qismlari: sirt ionizatsiali emitter, atom yoki molekulyar oqimlar manbasi, mass-analizator va tok kollektoridan iborat.

2.6. Termik desorbsiya metodi

Termik desorbsiya metodi asosida ("chaqnash" metodi) metall sirtida adsorbsiyalangan gazlarning vakuumga bug'lanishi hodisasi yotadi.

Bu metodning eng oddiy variantida termik desorbsiya jarayonlari to'g'risidagi ma'lumot, berk hajmdagi bosimning namuna haroratiga bog'liqligini tahlil qilishdan olinadi.



Rasm 5.1 Qizish (1) va desorbsiya (2) egriliklari

Chaqnash jarayonida v hajmdagi va s yuzali namuna sirtidagi gaz balansi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

$$-\frac{dN_z}{dt} = \frac{1}{skT_o} \left[v \frac{dp}{dt} + S\Delta p \right], \quad (5.1)$$

Bu yerda, N_z -zarrachalar soni; T_o -boshlang'ich temperature; S -so'rib olish tezligi; $\Delta p = p - p_o$ (Δp -boshlang'ich bosim).

Desorbsiya tezligi quyidagi kinetik munosabat yordamida aniqlanadi:

$$-\frac{dN_z}{dt} = N_z^n C_d \exp\left(-\frac{E_d}{kT}\right) - \vartheta \mu p, \quad (5.2)$$

Bu yerda n -desorbsiyalanuvchi zarrachalar hosil bo'lishining sirtiyl reaksiya tartibi, ya'ni desorbsiya kinetikasi tartibini ifodalovchi yaxlit son (masalan, ikki atom ko'rinishida desorbsiyalanayotgan, ikki adsorbsiyalangan atomlar kombinasiyasini ko'rilganda, ikkinchi tartibli kinetika uchun $n=2$); C_d -desorbsiya tezligining doimiysi bo'lib, turli tartibdagi kinetika uchun bir-biridan farq qiladi; E_d - desorbsiyani aktivlashtirish energiyasi; ϑ – namuna sirtida desorbsiyalanayotgan gaz molekulalarining yopishish koeffitsiyenti; μ - hajmdan adsorbentning birlik sirtiga birlik vaqtda kelayotgan zarrachalar soni.

Agar desorbsiya tezligi katta bo'lsa (katta tezlik bilan qizdirishda ta'minlanadi), uni Arrhenius tenglamasidan hisoblash mumkin.

$$-\frac{dN_z}{dt} = N_z^n C_d \exp\left(-\frac{E_d}{kT}\right), \quad (5.3)$$

(5.1) va (5.2) tenglamalardan, E_d , C_d , n va S larning berilgan qiymatlarida, desorbsiya $\Delta p(t)$ (5.1.-rasm) bilan qizdirish $T(t)$ egriliklarining xarakterlari o'rtasida ma'lum bog'lanish bor. Ammo, C_d , n , S va $T(t)$ larning bir xil qiymatlarida $\Delta p(t)$ bog'lanish E_d ning turli qiymatlari uchun turlicha bo'ladi. Shuning uchun, agar sirtida E_d qiymati turli bo'lgan adsorbsiyalangan zarrachalar mavjud bo'lsa, desorbsiya temperaturaviy (vaqt) egriliklarining alohida sohalarida desorbsiya fazalari deb ataluvchi effektlar kuzatiladi.

TD metodi adsorbsiyalangan atomlar va molekulalarning bog'lanish energiyalarini (yoki adsorbsiyaning aktivlashtirish energiyasini); adsorbsiyalangan modda bilan absolyut qoplanish darajasini; adsorbsiya jarayoni kinetikasining tartibini aniqlashga imkon beradi.

TD metodini eng samarali qo'llanish sohaları adsorbsiya, oksidlanish va kataliz hisoblanadi.

2.7. Ekzoelektron emissiya metodi (EEE)

Ekzoelektron emissiya elektronlarning past temperaturalarda sodir bo'ladigan emissiya bo'lib, bu emissiya ko'pchilik metall va metall bo'lmagan kristallarga mexanik ishlov bergandan keyin yoki ularga rentgen, ultra binafsha

va ko'rinadigan sohadagi yorug'lik nuri ta'sir etgandan keyin sodir bo'ladi. Ayrim hollarda ekzoelektronlar emissiyasi juda sekinlik bilan so'nib, bir necha soat va sutkalab davom etadi. Ekzoelektron emissiyani tushuntirish uchun bir qator gipotezalar taklif etilgan. Bu gipotezalarga asosan, ekzoelektron emissiya hodisasi fazaviy o'tishlar, xemobsorbsiya, nuqsonlar hosil bo'lishi natijasida ro'y beradi. Lekin hozirgi vaqtda bu effektini tushuntiradigan yagona nazariya va uning mexanizmi ham to'liq ishlab chiqilmagan.

Past temperaturadagi elektronlarning emissiyasi elektronlarning butunlay yangi tipdagi chiqishi bo'lib, u termoemissiya, fotoemissiya va emissiyaning boshqa turlaridan tubdan farq qiladi. Ekzoelektron emissiya juda past tempraturalarda sodir bo'ladi. Ayrim hollarda uy temperaturasidan past temperaturalarda ham, emissiya sodir bo'lishi kuzatilgan. Elektronlarning energiya spektrini o'rganish asosida, kristallar sirtining fizikaviy va fiziko-kimyoviy xossalari haqida muhim ma'lumotlarni olish mumkin. Ekzoelektron emissiyada emissiya toki nihoyatda kichik bo'lganligi uchun (10^{-16} - 10^{-19} A), ekzoelektron emissiya effektini kuchaytirish maqsadida emitter qo'shimcha yorug'lik yoki vaqt bo'yicha chiziqli o'zgaruvchi issiqlik yordamida o'yg'otiladi. Rag'batlantiruvchi kvantlar energiyasi yoki qizdirishni maksimal temperaturasining qiymatlari shundan tanlanadiki, bunda qo'shimcha uyg'otish ta'minlanishi lozim, ammo uyg'onmagan namunadan emissiya yuaaga kelmasligi kerak.

Rag'batlantiruvchi ta'sir harakteriga qarab, ekzoelektron emissiya fotorag'batlantirilgan va termorag'batlantirilgan emissiyalarga ajratiladi. Amaliyotda, ko'pincha, yorug'lik va issiqlik ta'siri bir vaqtda qo'llaniladi. Qo'shimcha uyg'otish vositalarisiz yuzaga kelgan ekzoelektron emissiyasini "qorong'u" emissiya deb yuritiladi.

O'rganilayotgan namuna sirti doimiy temperaturada uyg'otilganda, ekzoelektron emissiya juda tez, odatda, giperbolik qonun bo'yicha so'nadi. $n_e \sim 1/t$, bu yerda n_e - bir sekundda emissiyalangan ekzoelektronlar soni; t - namuna uyg'otilganidan keyin utgan vaqt, sekund. Ba'zida murakkabroq vaqt bog'lanishlari ham kuzatiladi. Turli moddalar turli ko'rinishdagi so'nish egriliklarini beradi va bu egriliklarning ko'rinishi nafaqat materialga, balki material sirtiga yoki hajmiga qanday boshlang'ich ishlov berilganiga ham bog'liq.

Masalan, emissiyaning intensivligi va so'nish tezligi namunaning temperaturasiga jiddiy ravishda bog'liq. Bir qator hollarda uzluksiz qizdirishda bir nechta emissiya cho'qqilar kuzatiladi. Ularni tahlil qilish sirtida elektronlar mahalliy sathlarining energiya spektri tasvirini olishga imkon beradi. Doimiy

temperaturada ekzoelektron emissiya intensivligining vaqt bo'yicha o'zgarishini o'rganib, sirt jarayonining kinetikasini o'rganish mumkin.

Ekzoelektronlarning energiyasi ekzoelektron emissiyaning muhim xarakteristikasi bo'lib hisoblanadi. Odatda u unchalik katta emas va elektron voltning o'n ulushlaridan bir nechta 1 eV gacha bo'lgan oraligni qamrab oladi. Energiya spektrining xarakteristikalarini o'lchash emissiya markazlarining fizikaviy tabiatini oydinlashtirish va ekzoelektron emissiya mexanizmini tushunish uchun muhimdir. Maksvell taqsimoti bilan ifodalanadigan energiya spektrining yuqoriroq energiyalar sohasiga siljiganligi bu hodisaning o'ziga xos xususiyati hisoblanadi.

Sirtni uyg'otish natijasida (deformasiya, nurlantirish yoki adsorbsiya) emission faollikning ortishini tushuntiradigan zamonaviy nazariy modellar, fiziko-kimiyoviy hodisalarning murakkab majmuasi evaziga chiqish ishining pasayishi mexanizmlariga asoslangan. Bu xodisalar asosida strukturada nuqsonlar hosil bo'lishi, adsorbsion sirtiy birikmalarda fazaviy o'tishlar, rekombinatsiya va boshqa jarayonlar yotib, ular qattiq jismdagi elektronlar holati xarakterini, xususan, chiqish ishini, keskin o'zgartiradi.

Ekzoelektron emissiyaning yuqori strukturaviy sezgirlikka ega ekanligi, ekzoelektron emissiya metodini materiallar sirtida yuz berayotgan bir qator fizikaviy va fiziko-ximiyaviy hodisalarni o'rganish va buzmasdan nazorot qilish imkoniyatlari, xatto ekzoelektron emissiyaga olib keluvchi ko'pchilik hodisalarning mexanizmi yaxshi o'rganilmagan bo'lsada, juda ko'lamli ekanligini ko'rsatadi.

Ekzoelektron emissiya metodi qo'llanishining istiqbolli sohalari quyidagilar: ishqalanish, yeyilish, plastik deformasiya, charchashdan buzilish, adsorbsiya, desorbsiya, oksidlanish, korroziya, geterogen-katalitik reaksiyalar, radiasion buzilishlar, strukturaviy va fazaviy o'tishlar.

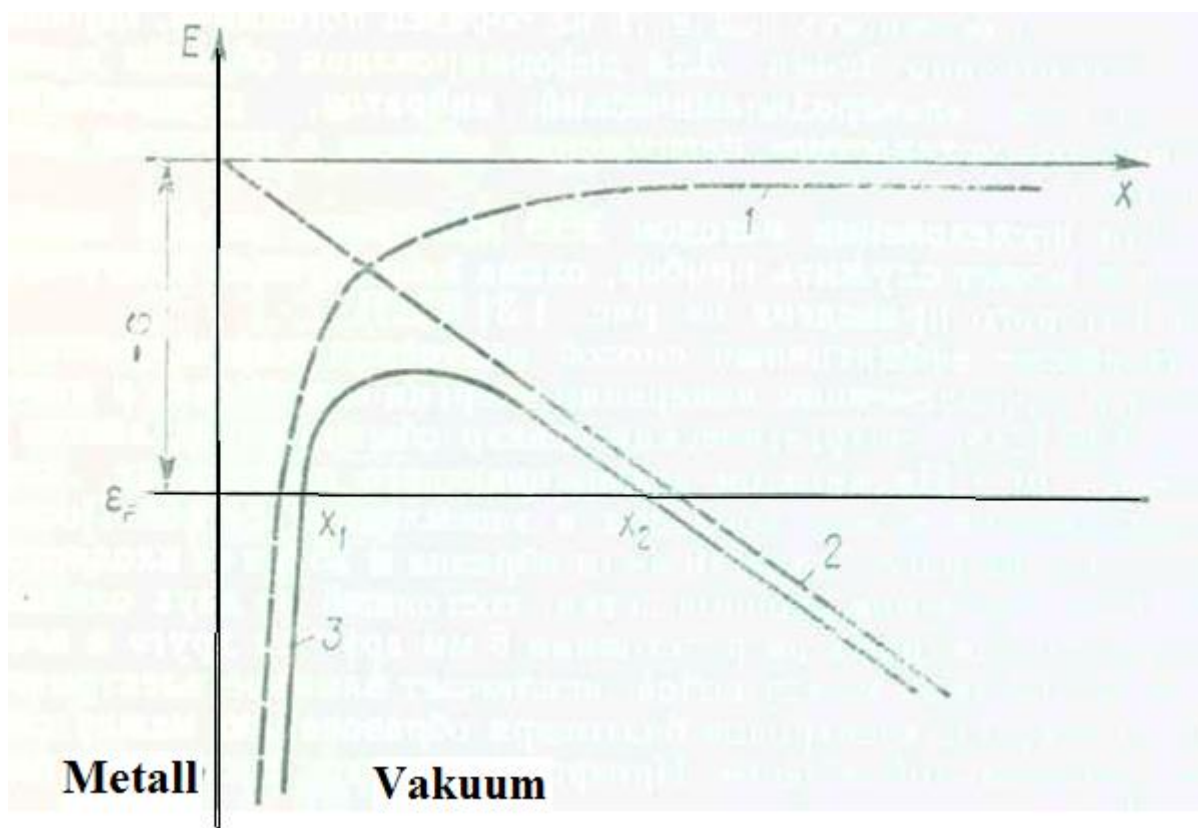
2.8. Avtoelektron emissiya metodlari (AEE)

Avtoelektron emissiya (AEE) o'tkazgich sirtida tashqi yuqori kuchlanganlikli elektr maydoni ($E = 10^7 \text{ V} \cdot \text{sm}^{-1}$) borligida yuzaga keladi. Bunday sharoitdagi elektronlar emissiyasi qattiq jism elektronlarining sirt-vakuum chegarasidagi potensial to'siqni tunnellanib o'tishi natijasida yuzaga keladi va energiya sarfi bilan amalga oshadigan boshqa tur elektron emissiyalariga nisbatan bunda emissiya energiya sarfisiz amalga oshadi. Tashqi maydon potensial to'siqqa ikki yoqlama ta'sir ko'rsatadi: birinchidan uning balandligini pasaytirib, bu bilan chiqish ishini kamaytiradi (Shottki effekti), ikkinchidan to'siq shaklini o'zgartirib uning shaffofligini oshiradi. AEE tok

zichligi j o'tkazgich ichidan to'siqqa kelayotgan n_e elektronlar oqimi zichligining bir qismi bo'lib, to'siqning shaffofligi D bilan aniqlanadi:

$$j = e \int_0^{\infty} n_e(\alpha) D(\alpha, E) d\alpha,$$

Bu yerda α - o'tkazgich sirtiga normal bo'lgan elektron impulsi komponentasi bilan bog'langan energiyasining ulushi; E - sirdagi elektr maydon kuchlanganligi. Keltirilgan formuladan, AEE tok zichligi o'tkazgichdagi elektronlar konsentratsiyasiga va ularning energiya bo'yicha taqsimotiga, hamda shaffoflikni belgilaydigan potensial to'siqning balandligi va shakliga bog'liqligi kelib chiqadi. (6.1-rasm)



6.1-Rasm. $T = 0$ K da, metall sirti oldida elektronni potensial energiyasining o'zgarishi. 1- elektr maydoni bo'lmaganda; 2-bir jinsli tashqi maydonda; 3- elektronning yig'indi potensial energiyasi; x -sirdan masofa; $(x_2 - x_1)$ - maydon mavjud bo'lgandagi potensial to'siq kengligi.

AEE intensivligini va uning energiya spektrini o'lchash orqali metall yoki yarimo'tkazgich sirtining elektron strukturasini aniqlanadi. Sirt diagnostikasi uchun quyidagi metodlar keng rivojlangan: avtoelektron chiqish ishi metodi, avtoelektron spektroskopiya va avtoelektron mikroskopiya.

Avtoelektron chiqish ishi metodida chiqish ishi φ ning qiymati emitter sirtida kuchli elektr maydoni hosil qilinganda, yuzaga keladigan tok orqali aniqlanadi. Fauler-Nordgeym nazariyasiga asosan, Shottki effektini hisobga olgan holda, emission tok zichligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$j = 1,55 \cdot 10^{-6} \frac{E^2}{\varphi} \exp \left[\frac{-6,86 \cdot 10^7 \varphi^{3/2} \theta(x)}{E} \right], \quad (6.1)$$

Bu yerda $\theta(x)$ -Nordgeymning jadvashtirilgan elliptik funksiyasi; $x=3,62 \cdot 10^{-4} Ye^{1/2}/\varphi$. (6.1) tenglamadagi chiqish ishi moddaning yagona doimiysidir. U $\lg(j/E^2)$ ning $1/E$ bog'lanishidagi $\frac{d \lg(\frac{j}{E^2})}{d(\frac{1}{E})} = -2,98 \cdot 10^7 \varphi^{\frac{3}{2}} S(x)$ ifoda bilan aniqlanadigan og'ish burchagidan topiladi. Bu yerda $S(x)$ funksiya jadvashtirilgan.

Amaliyotda o'lchanadigan parametrlar bo'lib, qo'yilgan kuchlanish va kollektordagi tok hisoblanadi. Bu miqdorlar mos ravishda maydon kuchlanganligi bilan $U=\beta E$ va tok zichligi bilan $i=sj$ bog'langan, bu yerda β -maydon faktori, s -emitter yuzasi. Real o'lchash $\lg(i/U^2)$ ning $1/U$ ga bog'liqlik egriligini beradi va uning og'ishi $\frac{d \lg(\frac{i}{U^2})}{d(\frac{1}{U})} = -2,98 \cdot 10^7 \frac{\varphi^{\frac{3}{2}} S(x)}{\beta}$ ga teng, chunki β va s , U ga bog'liq emas. Ushbu holda φ ni aniqlash, maydon faktori β ni baholash imkoniga bog'liq bo'ladi.

2.9. Avtoelektron mikroskopiya

Avtoelektron mikroskopiya (AEM) toza monokristall emitterning turli qirralaridagi chiqish ishi taqsimotini sifatli tasvirini olishga va qizdirish, begona atomlarni changlash yoki gazlar adsorbsiyasi va boshqa ta'sirlar natijasida chiqish ishining qiymati o'zgarishini o'rganishga imkon beradi.

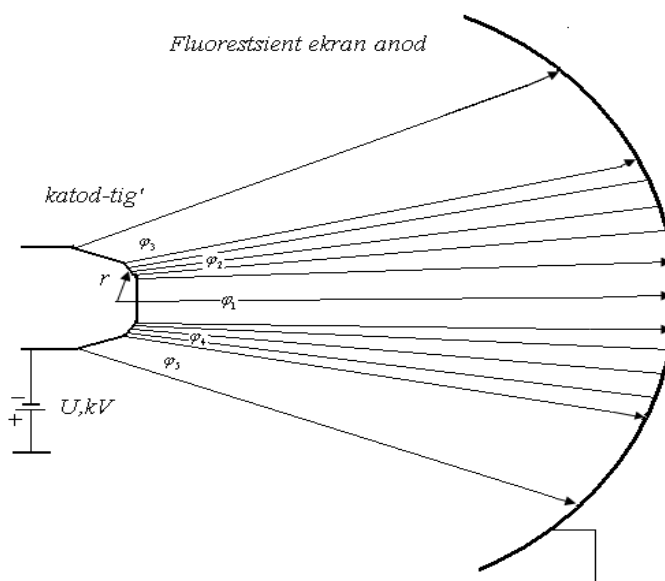
2.10. MYULLERNING ELEKTRON PROYEKTORI.

1. Myullerning elektron proyektori.

Avtoelektron emisiyani tadqiq qilishning muhim bosqichi 1936 yilda E.Myuller tomonidan avtoemission mikroskop-proyektorning ixtiro qilinishi bo'ldi. Bu asbob yordamida avtoelektron emissiyani beqaror keltirib chiqaruvchi jarayonlarning sabablari oydinlashtirildi, maydon, temperatura, begona atomlarning adsorbsiyasi, elektron va ion bombardirovkasi ta'sirida avtoemitterning shakli o'zgarishini tadqiq qilishga imkon yaratildi.

Yuqori kattalashtirish va ajrata olish qobiliyatiga ega ekanligi avtoemission (shu jumladan, avtoion) mikroskopni, adsorbsiya, desorbsiya, epitaksiya, sirt diffuziyasi, fazaviy o'zgarishlar va h.k ni o'rganishda uni tengi yo'q asbobga aylantirdi.

Avtoelektron mikroskopning prinsipi shundan iboratki, agar ingichka tig'dan emissiyalanayotgan elektronlar oqimi yo'liga fluoressensiyalovchi ekran (anod) o'rnatilsa, tig' cho'qqisining proyeksiyasi ekranda juda kattalashtirilgan tarzda (7.1-rasm) aks etadi. Avtoelektron mikroskopning boshqa mikroskoplardan farqi shundaki, unda fokuslovchi linzalar yo'q.



7.1-rasm

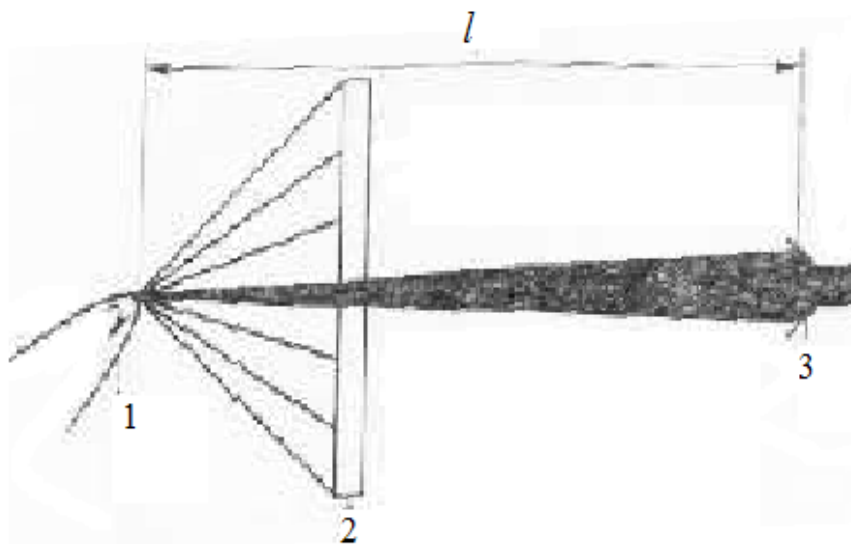
Tig' sirtidan emissiyalanayotgan elektronlar deyarli radial tarzda tarqaladi, shuning uchun, bunday mikroskop-proyektorlarning kattalashtirishi, tig'dan ekrangacha bo'lgan masofaning tig' cho'qqisi radiusiga nisbatiga teng. Aniqlashtirilsa, elektronlar trayektoriyasiga tig' asosi va u mahkamlangan elektrodlar ham ta'sir qiladi. Shu sababli elektronlar trayektoriyasi to'liq radial emas, ya'ni elektronlar qandaydir qiya parabola bo'yicha harakatlanadi, ekrandagi proyeksiya esa bir oz qisilgan bo'ladi. Bu holatni hisobga olgan holda, kattalashtirish oddiy formula orqali ifodalanadi:

$$M = 1/\gamma R/r$$

bu yerda γ - siqilish ko'effitsiyenti ($1.5 < \gamma < 2$), R - anod-katod orasidagi masofa, r - emitter tig'i radiusi. Tig'ning radiusi mikrometrning o'n yoki yuz ulushi tartibida, R - masofa esa 3-10 sm tartibida bo'lishi mumkinligi sababli, bunday qurilmaning kattalashtirishi juda yuqori va $10^5 \div 10^6$ martagacha yetishi mumkin.

2. Atom zondi metodi.

Atom zondi (AZ) metodining asosida material sirtining alohida atomlarini mass-spektral analiz qilish yotadi. Bu metodning eng muhim afzalliklaridan biri shundaki, elektr maydoni ta'sirida bug'lanayotgan har bir atom yoki atomlar kompleksini ximiyoviy identifikatsiya qilish mumkin. Ion proyektor bilan mass-spektrometrni o'z ichiga olgan asbob atom zondi deb ataladi. Atom zondining umumiy tuzilishi 7.2.-rasm da keltirilgan.



7.2.-rasm. Atom zondining umumiy tuzilishi: 1-namuna-tig'; 2-lyuminessent ekran; 3-ionlar kollektori.

Atom zondining sxemasi quyidagicha (7.2.-rasm): namuna –tig' 1 shunday o'rnatiladiki, sirtini analiz qilinayotgan qismining tasviri lyuminessent ekranning 2 markazidagi aperturani berkitadi. Ekrandagi zondli tirqish vaqt uchuv mass-spektrometrining kirishi hisoblanadi. Tig'ga yuqori kuchlanishli impuls berilganda, sirt atomlarining bug'lanishi (desorbsiya) yuz berib, bu desorbsiya ionlashish bilan kechadi. Ionlarning ekran yo'nalishi bo'yicha tezlashgan bir qismi, zond tirqishidan o'tib mass-spektrometrning dreyf trubkasiga tushadi. Trubkaning yakunida ionlar kollektori 3 o'rnatilgan. Yuqori kuchlanish impulsi ossillografda gorizontaal yoyilmaga (razvertkaga) olib keladi. Ion kollektorga yetib kelgan vaqtda, ossillografga ikkinchi impuls beriladi. Shunday qilib, ionlarning l masofani uchib o'tish vaqti t aniqlanadi. Emitterdan tig'ning bir necha egrilik radiusiga teng bo'lgan masofadayoq ionlar maksimal v tezlikka ega bo'lganligi uchun, zaryadning massaga nisbati m/q quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$\frac{1}{2}mv^2 = qeU \text{ va } v=l/t, \text{ bundan}$$

$$\frac{m}{q} = 2eUt^2/l^2,$$

Bu yerda U -bug'lanishda, impulsning o'zgarmas kuchlanish va tokida ekranda eng yaxshi tasvir bo'lgandagi kuchlanishlar amplitudasi yig'indisiga teng. Agar U ni kilovoltlarda, t -mikrosekundlarda, l -santimetrlarda ifodalansa, unda $m/q=KU^2$, bu yerda K -konstanta bo'lib, 1930 l^{-2} ga teng. Odatda l ning qiymati ekrandan tig'gacha bo'lgan masofadan o'n marta katta qilib olinadi.

3-BOB.

3.1.Uchqunli mass-spektrometriya

Uchqunli mass-spektrometriya (UMS) asosida vakuumda elektr uchqun razryadining ta'siri natijasida moddaning changishi va ionlashuvi hodisasi yotadi. Agar vakuumda ikki elektrod orasiga qori kuchlanish (25-100 kV) berilsa, unda katodning mikro notekisliklarida yuqori kuchlanganlikli mahalliy maydonlar yuzaga keladi. Masalan, ikki elektrod orasidagi tirqish kengligi 0,1 mm bo'lganda, 50 kV kuchlanish berilsa, maydon kuchlanganligi $5 \cdot 10^6 \text{ V/sm}$ ga erishishi mumkin. Katod sirtining tozaligi va sifatiga qarab, samarali maydon kuchlanganligi ikki tartibga ortishi mumkin. Natijada kuchli mahalliy maydonlar markazlaridan 10^9 A/sm^2 tok zichligiga yaqin avtoelektron emissiya yuzaga keladi. Kuchli elektron tok katodning alohida qismlarini elektrod materialining bug'lanish haroratigacha qizishiga va metallda adsorbsiyalangan hamda erigan gazlarning ajralib chiqishiga olib keladi. Temperatura hajm bo'yicha tarqalguncha, mahalliy sohalarda bug'ga aylangan moddaning gidrodinamik ottilib chiqishi ro'y beradi. Bu gazlar va bug'lar yetarli darajada katta mahalliy bosimli muhitni yuzaga keltirib, u yerda zarrachalar ionlashishi mumkin. Bug' va gaz molekulalarining intensiv bug'lanishi natijasida plazma yuzaga keladi va yoy razryadi boshlanib ketadi. Ko'chki 10^{-8} - 10^{-9} s (razryadning uchqunli bosqichi) vaqtda davom etib, razryadning yoy razryadiga o'tishi 10^{-7} s dan kam vaqtda amalga oshadi.

UMS unikal analitik xarakteristikalarini olishga imkon beradi: elementlarni aniqlashning absolyut sezgirligi 10^{-11} - 10^{-12} grammga erishishi mumkin; nisbiy sezgirligi 10^{-7} - 10^{-8} %; bitta analiz uchun bor-yo'g'i bir necha milligramm modda sarf bo'ladi; bir vaqtda fotoplastinkada 70 tagacha element qayd qilinishi mumkin. Shuning uchun UMS birinchi navbatta elementlar izini aniqlash uchun qo'llaniladi.

3.2. RASTRLI ELEKTRON MIKROSKOPIYA

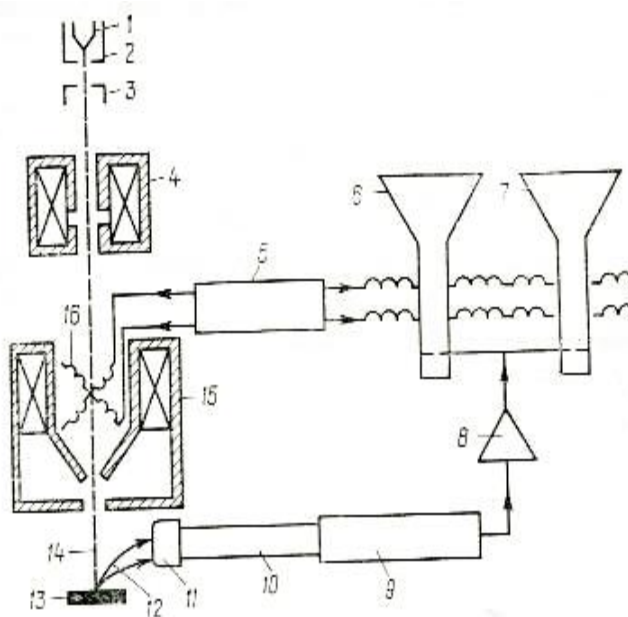
3.1. Rastrli elektron mikroskopiya (REM)

Tez elektronlar ($E_b > 10 \text{ keV}$) qattiq jism bilan ta'sirlashganda turli ikkilamchi hodisalar (ikkilamchi elektron emissiya, tormoz rentgen nuri, xarakteristik rentgen nuri, katodolyuminessensiya, elektronlarning sizib o'tishi va yutilishi, keltirilgan tok va b.) yuz berib, ular o'rganilayotgan material sirtining xossalari haqida ma'lumotga ega. Ikkilamchi zarrachalarning chiqish chuqurligi va energiyasi ularning tabiatiga, material xossalari va birlamchi elektronlarning energiyasiga bog'liq. Eng kichik energiyaga (50 eV ga yaqin) ikkilamchi elektronlar, ya'ni namunadan chiqish uchun yetarli energiyani birlamchi elektronlardan olgan modda elektronlari ega. Elastik sochilgan elektronlarning energiyasi E_b ga teng. Chiqish chuqurligi, masalan $E_b = 20 \text{ keV}$ da materialga qarab, $200\text{-}2000 \text{ nm}$ ni tashkil etadi.

REM da ikkilamchi zarrachalardagi sirtning tasviri fokuslangan elektronlar dastasini (zondni) o'rganilayotgan sirt bo'ylab yoydirish orqali yuzaga keltiriladi. Talab qilingan diametrli elektronlar dastasi namuna bo'ylab harakatlanib, rastrga yoyiladi. Rastr bir-biriga yaqin joylashgan chiziqlar majmuasi bo'lib, yoyilma vaqtida ular bo'ylab dasta namuna sirtining tanlangan sohasini yugurib chiqadi. Elektronlar dastasi bilan ta'sirlashish natijasida sirtning har bir nuqtasida ikkilamchi hodisalarga ko'ra, turli tabiatli ikkilamchi zarrachalar yuzaga keladi. Ular kollektorlarda qayd qilinadi va yuzaga kelgan signallar kuchaytirilgandan keyin, nur yoyilmasi birlamchi elektronlar dastasining namuna sirti bo'ylab skanlashuvi skanskanlashuvi bilan sinxronlashgan skanlashuvi bilan sinxronlashgan elektron nur trubkasining (ENT) mahalliy ravshanligini modulyasiyalash uchun xizmat qiladi. Shunday qilib, skanlanayotgan sirt sohasining har bir nuqtasiga ENT ekranida o'zining ravshanligi mos keladi. O'rganilayotgan xarakteristika mahalliy o'lchanayotganda, (masalan, tarkib yoki topografiya) ENT ga kelayotgan signal intensivligi proporsional o'zgaradi va uning ekranida ma'lum kontrast yuzaga keladi. Bunda tasvirning kattalashuvi namuna sirtining skanlanayotgan sohasi o'lchamining unga mos keladigan ENT ekranidagi kadr o'lchamiga nisbati bilan aniqlanadi. Olingan tasvir to'g'ridan to'g'ri komp'yuterga uzatiladi. REMning asosiy afzalligi – turli ikkilamchi zarrachalardan foydalanib, yuqori ma'lumotga ega bo'lgan tasvirni olish imkoniyatidir. REM yordamida 3 nm gacha ajrata olish qobiliyati bilan namuna sirtini kuzatish va ikkilamchi zarrachalarda 250000 gacha foydali kattalashtirish bilan tasvirni olish; qatma-qat yedirishda sirtning topografiyasini va sizib o'tishda strukturasini o'rganish mumkin; qatma-

qat analizda va ximiyoviy reaksiyalarda mahalliy sohalarning ximiyoviy tarkibini aniqlash, mikrokrystallarning o'sish kinetikasini, plastik va mo'rt deformasiyani, sublimasiyani va sirtida yuz berayotgan ko'pchilik boshqa ximiyoviy hamda fizikaviy jarayonlarni kuzatish; magnit maydonlari va sirt potentsiallari qiymatlarini, lminessensiya markazlari aktivligigini va yarim o'tkazgichlarning asosiy xarakteristikalarini (asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarning yashash vaqti, $p-n$ o'tish yotish chuqurligi va b.) o'lchash; elektronogrammlar va elektronlarning xarakterli energiya yo'qotish spektrlarini olish mumkin.

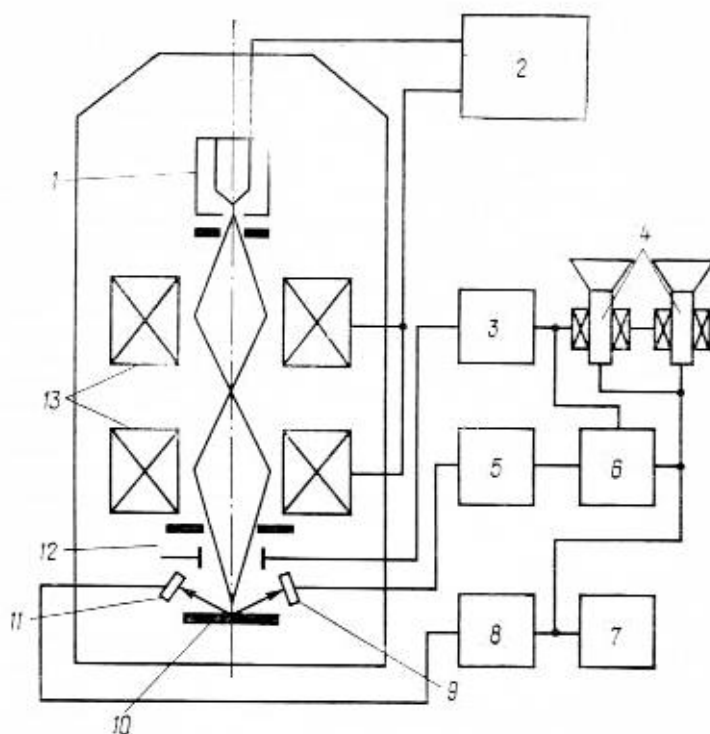
REMda sirt strukturasi tasvirini hosil qilish uchun ko'pincha elastik sochilgan birlamchi elektronlar yoki ikkilamchi elektronlar qayd qilinadi. REMning elektron-optik sistemasi (8.1.-rasm) elektron zambarakdan, elektromagnit linzlardan va og'diruvchi g'altaklardan tashkil topgan. Katoddan emissiyalangan elektronlar tezlashadi va dastaga shakllanadi. Fokuslangan dastaning diametri $50\text{ mkm} - 10\text{ nm}$ oralig'ida yotadi. Yuqori sifatli tasvir olish uchun kadrda satrlar soni 500-1000 ta, skanlash vaqti bir sekunddan (vizual kuzatuv) bir minutgacha (fotoga olish) bo'lishi kerak.



8.1.-rasm REMning umumiy tuzilishi: 1-termoelektron katod; 2-fokuslovchi elektrod; 3- anod; 4-kondensorli linza; 5- kattalashtirishni rostlagich; 6-kuzatish uchun ENT; 7-fotografiyani olish uchun ENT; 8-kuchaytirgich; 9-fotoelektron ko'paytirgich (FEK); 10-yorug'lik o'tkazgich; 11-ssintillyator; 12-signal; 13-namuna; 14-elektron dasta; 15-obyektiv linza; 16-og'diruvchi g'altaklar.

3.2. Rastrli elektron mikroskop –mikroanalizator (REMMA).

REMMA da namuna sirti elektronlar bilan zondlanganda yuzaga keladigan rentgen nurini qayd qilish orqali kompozision kontrastni kuzatish mumkin. U yoki bu xarakteristik nurni ajratib, analiz qilinayotgan sirt chegarasida ximiyoviy elementlarning taqsimoti tasvirini ENT ekranida kuzatish mumkin. Namunadan va etalondan rentgen nurlari intensivliklarini qayd qilish orqali sirt qatlamining ximiyoviy tarkibini miqdoriy va sifatiiy jihatdan analiz qilinadi. REMMA rentgen spektrometri bilan jihozlangan REM dan iborat bo'lib, Be dan U gacha elementlarni aniqlashga imkon beradi.

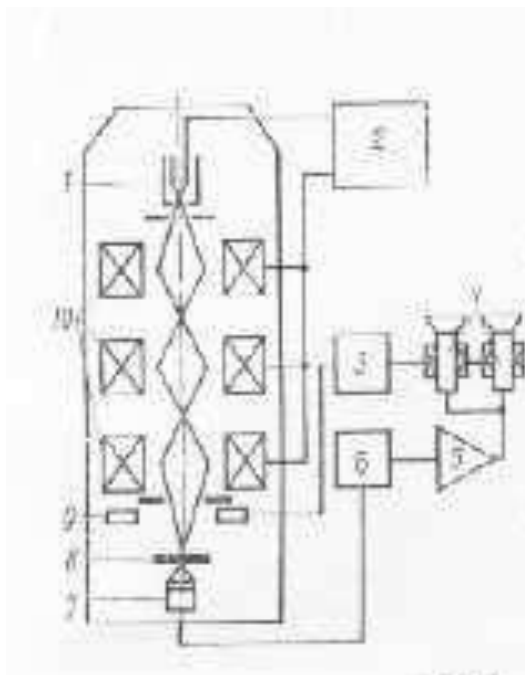


8.2.-rasm REMMAning blok sxemasi: 1-elektron zambarak; 2-ta'minlash manbasi; 3-elektron nurni yoyish generatori; 4-videonazorat qurilmasi; 5-dastlabki kuchaytirgich; 6,8-kuchaytirgichlar; 7-sanash apparaturasi; 9-kollektor; 10-namuna; 11- rentgen nuri kollektori; 12- og'diruvchi sistema; 13- elektron linzalar.

3.3. Sizib o'tuvchi rastrli elektron mikroskop

REMning nazariy ajrata olish qobiliyatiga yaqin qiymatni (0,1 nm) sizib o'tuvchi rastrli elektron mikroskop (SO'REM) amalga oshirishga imkon beradi. SO'REMda yupqa namunalarning (yupqa qatlamlar, qalinligi 0,2-0,1 mkm bo'lgan folgalar) tasviri namunadan o'tgan elektronlardan shakllanadi. SO'REM larning tezashtiruvchi kuchlanishi 100 kV gacha bo'lib, 0,2 nm gacha ajrata

olish qobiliyatiga ega. Energiyani 1 MeV gacha oshirish, 1-15 mkm qalinlikdagi obyektlarni 0,1 ajrata olish qobiliyati bilan o'rganishga imkon beradi. Energoanalizatorli SO'REMlarda, yetarli darajada katta elektron toki beradigan va dasta diametri 0,2-0,3 nm gacha bo'lgan avtoemission katodli elektron zambaraklar ishlatiladi.



8.3.-rasm. REM asosidagi SO'REMning blok-sxemasi: 1-elektron zambarak; 2-ta'minlash manbasi; 3-yoyish generatori; 4-videonazorat qurilmasi; 5-kuchaytirgich; 6-dastlabki kuchaytirgich; 7-kollektor; 8-namuna; 9-og'iruvchi sistema; 10-elektron-zond sistemasi.

3.4. TEZ ELEKTRONLAR DIFRAKSIYASI METODI.

1. Tez elektronlar difraktsiyasi metodi.

Elektronlar qattiqjismdan o'tganda to'lqin xossalarini namoyon qiladi. Modda atomlar bilan ta'sirlashib, ular elastik sochiladi va natijada alohida difraksion dastalar hosil bo'lib, pirovardida sochilgan to'lqinlarning interferensiyasi yuz beradi. Difraksion dastalarning intensivligi va fazodagi taqsimoti moddaning atom strukturasi, alohida kristallarning o'lchamiga va oriyentatsiyasiga hamda boshqa strukturaviy parametrlarga mos keladi. Modda bilan ta'sirlashgan elektronlarning bir qismi noelastik (energiya yo'qotib) sochiladi va difraksion tasvirning intensivligiga diffuzafiy ulush qo'shadi. Moddalarning strukturasi elektronlar difraktsiyasi asosida o'rganish metodi

elektronografiya deb ataladi. Sirtni o'rganish uchun elektronografiyaning ikki metodi- sekin elektronlar difraksiyasi metodi (SED) va tez elektronlar difraksiyasi metodi (TED) mavjud bo'lib, ular bir-biridan birlamchi elektronlar energiyasi intervali bilan farqlanadi. TED ni 30-50 dan 100 kV tezlashtiruchi kuchlanishda, SEDni esa bir necha voltdan bir necha yuz volt tezlashtiruvchi kuchlanishda o'rganiladi.

Difraksion tasvirning fizikaviy ma'nosi quyidagidan iborat. Elektronogramma- fazoning yassi kesimi bo'lib, unda namuna strukturasiga binoan qat'iy ravishda, namunadan o'tgan elektronlar taqsimlanadi. Deyarli kuchli yutilib, elektron nihoyatda kuchli sochilganligi sababli, elektronogrammadagi difraksion maksimumlarning intensivligi rentgenogrammadagidan ancha yuqori. Elektronlarning modda bilan kuchli ta'sirlashuvi namunadan maksimal sizib o'ta olish qalinligini mikrometrning bir necha o'n ulushi bilan chegaralaydi.

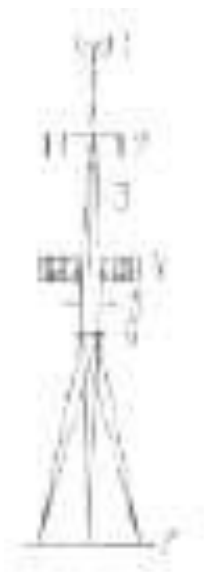
Olinayotgan elektronogrammalarning xarakteri o'rganilayotgan obyektlarning xossalriga va strukturalariga bog'liq. Masalan, yetarli darajada o'zaro aniq oriyentasiyali kristallardan tashkil topgan plenkalarining yoki yupqa monokristall plastinkalarning elektronogrammalari o'zaro to'g'ri joylashgan nuqtalardan yoki dog'lardan (reflekslar) iborat bo'ladi. Kristallar plenkalarda ma'lum qonuniyat bilan qisman oriyentasiyalanganda yoki tekstura bo'lsa, elektronogrammalar nuqtali yoy ko'rinishida olinadi. Tartibsiz joylashagan kristallardan (polikristall) iborat namunalarning elektronogrammalari bir tekis qoraygan doiralardan (rentgenografiyadagi debayegramma kabi) iborat bo'ladi. Keltirilgan elektronogramma turlari elastik, asosan bir karra sochilish hisobiga olinadi. Ko'p marotaba noelastik sochilishda (kristall atomlari bilan energiya almashuvi natijasida) difraksion dastalardan ikkilamchi difraksion tasvir hosil bo'ladi. Bunday elektronogrammalar kikuchi-elektronogrammalar deb ataladi.

TED metodi bilan kristall elementar yacheykasining parametrlarini aniqlash asosida elektronogrammadagi reflekslarning joylashuvini o'lchash yotadi. Kristalldagi tekisliklar orasidagi masofa d munosabatdan aniqlanadi: $d = l/r$, bu yerda l -namunadan plastinkagacha bo'lgan masofa; r -o'lchanayotgan interferensiyalarning radiusi, ya'ni birlamchi elektronlar hosil qilgan refleksdan markaziy dog'gacha bo'lgan masofa (odatda, halqaning radiusi emas, balki diametri o'lchanadi).

Elektronogrammalarni rasshifrovkalash uchun odatda, rentgen to'lqinlari difraksiyasining kinematik nazariyasidan foydalaniladi. Bunda faqat ba'zi koeffitsiyentlarga o'zgaradi xolos. Ammo ba'zi hollarda, masalan kristallar oriyentasiyasini aniqlashda, turli strukturaviy nuqsonlarni o'rganishda

elektronogrammalar rentgenostrukturaviy analiz nazariyasida rivojlantirilgan teskari panjara tassavuri asosida rasshifrovka qilinadi.

Oddiy yuqori vakuumli elektronograflarda (9.1.-rasm. Elektron zambarak katodidan 1 emissiyalangan elektronlar, kichik tirqishli anodga 2 tezlashadi va keyinchalik ozgina sochilish bilan dasta 3 bo'lib ketadi. Dasta magnit linza 4 fokuslangandan so'ng, diafragmani 5 o'tib namunaga 6 tushadi. Magnit linzaning fokusi ekran tekisligida (fotoplastinka) 7 joylashgan.



9.1.-rasm. Tez elektronlarning oddiy elektronografi:

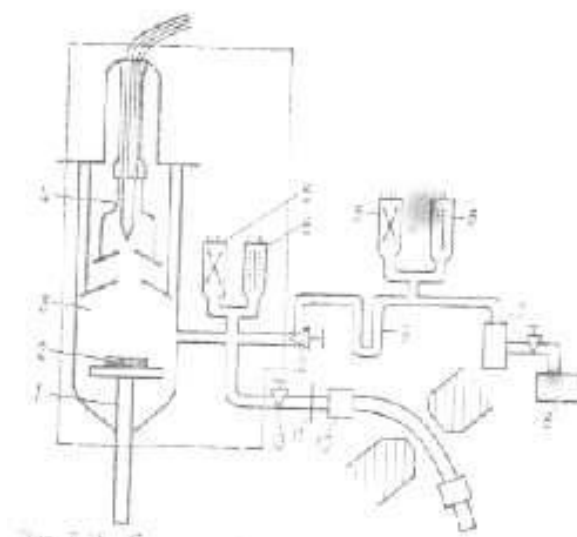
1-elektron zambarak; 2-anod; 3-elektron dasta; 4-magnit linza; 5-diafragma; 6-namuna; 7-ekran (fotoplastinka)

3.5. Elektron-zondli mass spektrometriya (EZMS)

Yetarli darajadagi quvvatli, fokuslangan elektronlar dastasi (zond) qattiq jism sirti bilan ta'sirlashganda, moddaning kuchli mahalliy qizishi va uning bug'lari va unda erigan gazlarning ajralib chiqishi yuz beradi. Bu bug'larni elektron zambarakli ion manbasiga yo'naltirish orqali ionlashtirib, mass-spektrometr yordamida moddani elektronlar dastasining diametri bilan aniqlanadigan sohasidagi ximiyoviy analizini o'tkazish mumkin. EZMS asosan metall va qotishmalardagi kiritilgan kirishmalarni xususan, payvand choklarini mahalliy analiz qilish uchun va metallar, dielektriklar hamda ba'zi tog' jinslarini ekspress umumiy analiz qilish uchun qo'llaniladi.

Gaz kirishmalarini mahalliy aniqlash uchun asbobda elektron zambarak katodiga berilgan davomiylikli (0,3-2 s), amplitudasi bir necha kilovolt bo'lgan yuqori kuchlanishli impuls berilganda elektronlar dastasi yuzaga keladi (28 kV da uning diametri 0,3 mm). Namuna sirtining ma'lum sohasi bilan dasta uchrashganda, elektronlar tormozlanadi va natijada ular kinetik energiyasining katta qismi issiqlik energiyasiga aylanadi. Bombardimon qilinayotgan soha birdan erish va bug'lanish temperaturasigacha qizib ketadi. Namunaning qolgan sohalarida esa, dastlabki temperatura saqlanib qoladi. Metallda erigan gazlar sirt tomon diffuziyalanadi va ishchi kameraning hajmiga ajralib chiqadi. Natijada ishchi kameradagi vakuum keskin pasayadi va mass-spektrometr bilan ishchi kamera orasida bosimlar farqi yuzaga keladi. Uchib chiqqan gazlar kiritish diafragmasi 11 orqali mass-spektrometr ion manbasining ionizasiya kamerasiga 10 oqib o'tadi. Agar impuls berishdan oldin mass-spektrometr berilgan massali atomlarning ion tokini o'lchashga rostdab qo'yilgan bo'lsa, impuls ta'sir etish vaqtida ionlar kollektorida mos signal yuzaga keladi. Asbob qotishmalarining alohida fazalaridagi u yoki bu gazning eruvchanligini va tarkibini, yirik donachalar kesimi bo'yicha kirishmalarining segregasiyasini, payvand choklari va chokka yaqin zonalaridagi dendritlarni, diffuzion pishishni va sh.k. larni aniqlashga imkon beradi.

Umumiy elementaviy analiz qilinganda, yuqori energiyali elektronlar dastasi mass-spektrometrning ion manbasining kirish tirqishi oldida joylashgan namunaga yo'naltiriladi. Bug'langan modda ion manbasida qizigan katoddan chiqayotgan elektronlar oqimi bilan ionlashtiriladi. Namunani elektron bombardirovka qilish butun analiz qilish vaqtida amalga oshiriladi (16÷200 atom massa birliklari oralig'ida bu vaqt 15 minutga yaqinni tashkil qiladi).



9.2.-rasm. Gaz kirishmalarini mahalliy aniqlash uchun mo'ljalangan asbobning sxemasi: 1-predmet stoli; 2-namuna; 3-ishchi kamera; 4- elektron zambarak; 5,6-manometrik lampalar; 7-diffuzion nasos; 8-forvakuum nasos; 9-muzlatuvchi tuzoq; 10-ionlashtirish kamerasi; 11-kiritish diafragmasi; 12,13 – ventillar.

3.6.Elektron-pozitron anniglyasiyasi metodi (EPA)

Epa metodi pozitron va moddaning elektroni ta'sirlashganda anniglyasiyalanish qobiliyatiga ega ekanligiga asoslangan. Moddaga tushgan pozitronlar, elektron-kovak juftligini ionlashtirish sababli deyarli to'liq tezligini yo'qotadi, ya'ni termallashadi. Pozitronning moddada yashash vaqti juda kam, masalan metallar uchun u $(1\div 2)\cdot 10^{-10}$ s ni tashkil qiladi. Metallarda EPA pozitronlarning o'tkazuvchanlik elektronlari bilan ham, ion qoldig'ining ichki elektronlari bilan ham ta'sirlashadi. Bir juft elektron-pozitron anniglyasiyalanganda, bitta, ikkita uchta va ko'proq bikrli γ kvantalar chiqadi. Ammo, qattiq jismlarda eng ehtimoli yuqori 2γ kvant anniglyasiyasi hisoblanadi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan, EPA dan so'ng, har bir γ kvantning energiyasi taxminan elektronning tinch energiyasini: $mc^2=0,51$ MeV, bu yerda m-elektron massasi, tashkil qiladi, ya'ni elektron-pozitron juftligi dastlabki energiyasining yarmiga teng. EPA natijasida hosil bo'lgan ikkita γ kvant $\theta\approx\pi$ burchak ostida qarama-qarshi tomonga uchib, anniglyasion juftlik impulsining saqlanish qonuni ta'minlanadi.

Amaliyotda, hajmni va sirtini analiz qilish uchun EPA jarayonining uchta xarakteristikasi qo'laniladi: γ kvantlarning burchak taqsimoti, EPAGA nisbatan pozitronlarning yashash vaqti va γ kvantlarning energiya bo'yicha taqsimoti. γ kvantlarning burchak taqsimotini o'rganish natijasida elektronlarning impuls taqsimotini, γ kvantlarning vaqt bo'yicha taqsimotini o'rganib sirtidagi effektiv elektron zichlik haqida ma'lumot olish mumkin. Eng keng tarqalgan tez pozitronlar manbasi bo'lib, ^{22}Na xizmat qiladi, chunki u eng katta yarim parchalanish davriga va samarador parchalanishga ega.

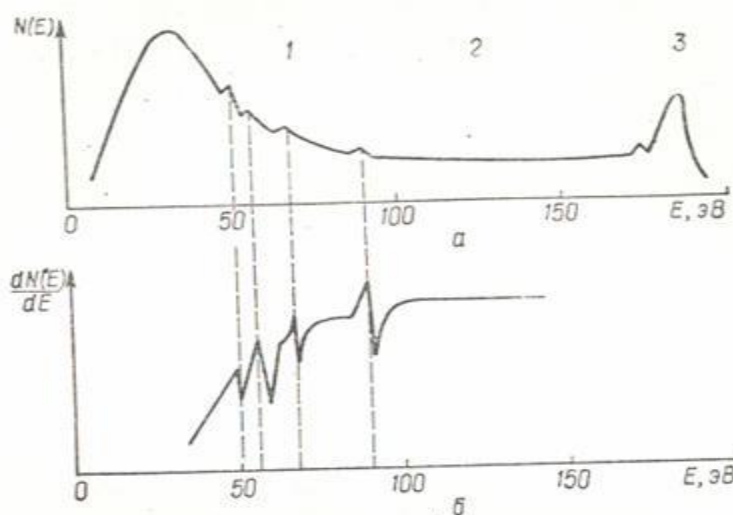
3.7. Sekin elektronlar difraksiyasi metodi.

1. Ikkilamchi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti.

Qattiq jismlar sirtini sekin elektronlar bilan zondlaganda ($E_b=10-10000$ eV) birlamchi elektronlarning yutilishi, ikkilamchi elektron emissiyasi, elektramagnit nurlanish, shu jumladan rentgen nurlanishi kabi jarayonlar sodir bo'ladi. Eng keng tarqalgan metodlar orasida yotgan ikkilamchi elektron emissiyasi vujudga kelishi turli elemantar jarayonlarning ustma-ust bo'lishi va

ta'sirlashishi sabablidir. Xususiyy ikkilamchi elektronlardan, ya'ni moddaning elektronlaridan tashqari ikkilamchi elektronlarning tarkibiga noelastik va elastik sogilgan birlamchi elektronlar ham kiradi. Energetik taqsimot egriligini (ikkilamchi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti) shartli tarzda uchta sohaga bo'lish mumkin. Maslan, $E_b = 200$ eV da 1 soha haqiqiy ikkilamchi elektronlarga mos kelib, sirt kengligi 10 eV ga yaqin bo'lgan katta cho'qqi bilan xarakterlanadi. 2 soha ko'p marotaba to'qnashishlar jarayonida o'z energiyasining bir qismini yo'qotgan noelastik sochilgan birlamchi elektronlarga mos keladi. Shuning uchun ular keng energetik oraliqda taqsimlangan. 3 sohada elastik sochilgan birlamchi elektrtonlarga mos keluvchi tor cho'qqi joylashgan. 3 sohadagi bu cho'qqidan 10-20 eV chaproq tarafdagi uncha katta bo'lmagan cho'qqi plazmon tebranishlar bilan bog'liq. Bu yerda sirt qatlamining atomlarini ionlashtirish uchun energiya yo'qotgan noelastik sochilgan birlamchi elektronlarga tegishli bo'lgan cho'qqilar ham kuzatiladi. Bunday energetik diskret qiymatlarga mos keluvchi cho'qqilar energiyani xarakterli yo'qotgan elektronlarning cho'qqilari deb ataladi. 1 sohadagi qo'shimcha cho'qqilarni (nozik struktura), oje jarayon natijasida ma'lum energiya patensiallarini olgan, haqiqiy ikkilamchi elektrtonlar yuzaga keltirgan.

Sirtning diagnostika qilish uchun quyidagi sekin elektronlar bilan qo'llanilmoqda va rivojlanmoqda: sekin elektronlar difraksiyasi metodi, elektron oje -spektroskopiyasi, energiyani xarakterli yo'qotish spektroskopiyasi, ikkilamchi elektron emissiyalarining integral metodlari va kvantlar emissiyasiya asoslangan bo'sag'a patensiallar metodi.



10.1- rasm. Ikkilamchi elektronlarning energetik taqsimot egriligi (a) va energetik taqsimot differensial (b).

3.8.Sekin elektronlar difraksiyasi metodi (SED)

Metod qiymati va yunalishi odatda sirtning bir yoki ikki atom qatlamining kristalik strukturasidan kelib chiqadigan elastik sochilgan birlamchi elektronlarning tokini o'lchashga asoslangan.

Elastik sochilgan elektronlarning nisbiy miqdori E_b ga bog'liq. Masalan, $E_b = 10$ eV da ularning ulishi ikkilamchi elektronlarning umumiy ishqorining 20-30 % ni tashkil qilsa, $E_b = 100$ eV da esa 1 % ga yaqin elastik sochilgan elektronlar difraksion tasvirini "dog'lar" reflekslar ko'rinishida difraksion dastalar intensevliklarining taqsimotiga mos keladi. Taqsimot esa o'z navbatida sirt atomlarining translyatsion simmetriyasi hamda elektronlarning to'lqin o'zunligi va atomlar orasidagi masofa bilan belgilanadi.

SED yordamida ma'lumot faqat kogorent sochilish shartidagina, ya'ni sirt atomlarining tartiblashgan strukturali holatidagina olinishi mumkin. Difraksion tasvirni kompleks analiz qilish ososida sirtning strukturaviy parametrlari haqida ma'lumot olinadi. Bunday analiz odatda o'z ichiga difraksion dastalarning fazodagi taqsimotini qayt qilish; reflekslar intensivligining birlamchi elektronlar energiyasiga va analiz qilinayotgan namuna haroratiga bog'liqligini o'lchash; reflekslar intensivligini adsorbsiyalangan moddaning turli kohsentratsiyalarida hamda elektronlarning o'zgarmas energiyasida ma'lum refleks intensivligining profilini aniqlash. Bir atom qatlamidan elastik sochilgan elektronlarning taqsimoti, yassi (ikki o'lchamli) atom panjarasi qatoridan sochilgan elektron to'lqinlarining interferinsiyasi yuzaga keladi.

Birlamchi elektronlar sirtga nisbatan normal bo'yicha tushganda va qatorlar orasidagi masofa d_{hk} bo'lsa, difraksion dasta yo'nalishi bilan normal orasidagi θ burchak Vulf-Bregg shartidan aniqlanadi.

$$d_{hk} \sin \theta = n\lambda$$

Bu yerda, n-difraksiya tartibi, $E_b=5\div150$ eV bo'lganda $\lambda= 0,1$ nm. elektronogrammlar teskari fazo tassavuri yordamida rasshifirofka qilinadi.

SED metodida atomlarning geometrik joylashishini aniqlash aniqligi $5\cdot10^{-3}\div2\cdot10^{-2}$ nm ni tashkil qiladi. SED metodining sezgirligi taxminan 10^{-4} sm² yuzadagi birlamchi elektronlarning tok zichligi 10^{-5} A·sm⁻² ga yaqin bo'lganda, monoqatlamning 1% tartibida. Ammo bu qiymat ko'pchilik faktorlar bilan vakuum sharoiti kristallning kristall fizik mukammallik darajasi, adsorbsiyalanmagan atomlarning tipi va shu kabilar bilan belgilanadi. Maksimal

sezgirlikga erishish uchun qoldiq gazlarning 10^{-8} Pa dan yuqori bo'lmagan bosim talab qilinadi.

Ayniqsa, SED metodini elementar sirt yachekasini identifikatsiyalashda va unung parametrlarini o'lchashda, panjaraning ichki potensialini, sirt qatlami atomlarining o'rtacha kvadratik amplitudasini, sirt plazmalari uchun dispersion munosabatlarni aniqlashda, sirdagi mikrodeffektlarni, adsorbsiya va desorbsiyaga mexanizimlarini sirtning rekonstruksiyaning hodisalarini, kristallar epetaksion o'sishining ilk bosqichlarini, atomlarning diffuziyasi va sirti migratsiyasini, metall sirtining oksidlanishi va qaytarilish mexanizimlarini, segnetoelektrik, ferromagnitizm va o'ta o'tkazuvchanlik hodisalarini o'rganishda qo'llash juda muhimdir.

Sekin elektironlarning elektronogiroflari SED metodini amalga oshirish uchun mo'ljallangan asboblarning quyidagi asosiy elementlarini o'z ichiga oladi: elektron zambarak, namuna ishlab turguchli manipulyator, energetik filter, elastik sochilgan elektronlar detektori, namunalarni tozalash va tayyorlash sistemasi difraksiya kamera va vakuum apparatura.

Yaxshi kollimirlangan monoenergetik elektronlar dastasini olish uchun mo'ljallangan elektron zambarak Venilt slindiri (modulyator) ichida joylashtirilgan bevosita yoki bilvosita qizdirgichli katoddan kollimerlashtiruvchi linzalar sistemasi va namuna potensialiga teng potensialga ega bo'lgan uchuv turubkasidan iborat.

Birlamchi elektronlar dastasining xarakteristiklari quyidagicha: $d=0.5 \div 0.1$ mm, $L_b = 10^{-6}$ A, $\Delta E_b = 2$ eV, $E_b = 10 \div 600$ eV. (d -dasta diametri, ΔE_b -energiatarqoqlik).

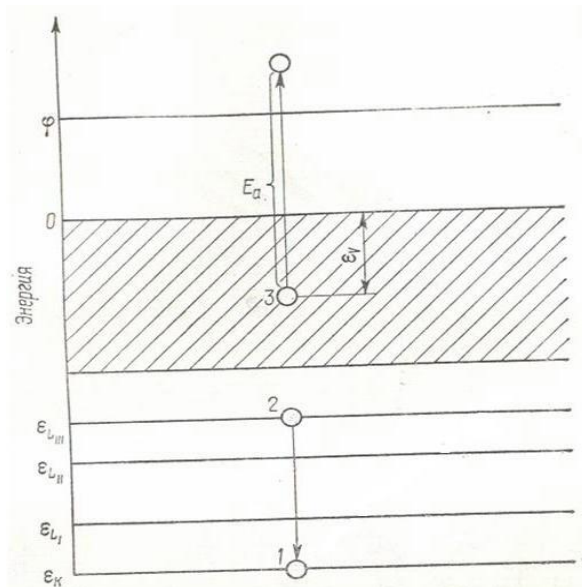
Namunani o'z atrofida bo'rush va uni gorizantal va vertikal yo'nalishlarda siljitishga imkon beradigan manipulyator namunani birlamchi elektronlar dastasiga nisbatan qat'iy ma'lum burchakda o'rnatish uchun xizmat qiladi. Odatda birlamchi elektronlar dastasining tushish burchagini o'zgartirish sohasi 0° - 30° ni tashkil qiladi. Barcha manipulyatorlarda namunani yuqori haroratlargacha qizdirish imkoniyati ba'zilarida esa sovutish imkoniyati (suyuq azod yoki geliy bilan) ko'zda tutulgan.

Difraksiya kamera, tozalash, yuborish va changitish sistemalari sirtni atomlar toza holatigacha tushishni, nazorat qiluvchi qatlamlarni kristall sirtiga o'tkazishni taminlash lozim.

3.9. Elektron oje-spektroskopiyasi.

EOS asosida qattiq jismlar sirti elektronlar dastasi bilan bombordimon qilinganda yuzaga keladigan oje-elektronlarning energiyasi va miqdorini o'lchash yotadi. Material sirti atomning biron bir ichki qobig'ini ionlashtirish uchun etarli bo'lgan energiyali elektronlar bilan bombordiman qilinsa, birlamchi vakansiya yuzaga keladi. Bu vakansiya juda tez (10^{-14} - 10^{-16} s da) atomning tashqi qobig'idan o'tgan elektron bilan egallanadi. Buning natijasida ikkinchi vakansiya yuzaga keladi. Yuzaga kelgan ortiqcha energiya xarakteristik rentgen nuri kvanti chiqarishga (radiatsion utish) yoki atomning tashqi qobig'idagi elektron ga uzatilishi (nurlanishsiz yoki oje-o'tish) orqali sarf bo'lishi mumkin. Bu elektronlar vakuumga emissiyalanadi va oje-elektron sifatida qayt qilinadi. Uning chiqish ehtimoliyati o'rganilayotgan namuna atomlarining tartib nomeri Z ga bog'liq. (5-rasm) Radiatsion o'tishning ehtimoliyati Z oshgan sari ortganligi uchun (Z^4 ga proporsional) oje utishning yuzaga kelish ehtimoliyati kamayadi. Masalan, engil elementlar uchun u taxminan 95% ni tashkil etsa, $Z > 70$ elementlar uchun 10% dan ortmaydi.

Oje o'tishlarni birlamchi va ikkilamchi vakansiyalar o'rniga qarab quyidagicha belgilanadi. Birinchi bo'lib dastlabki ionlashgan qobiq keyin esa vakansiani to'ldirishga mos keluvchi o'tish amalga oshgan qobiq, keyingi esa vakuumga emissiyalangan qobiq yoziladi. Masalan K-qobiqdagi vakansiyaning L_{III} – qobiq elektroni o'tib to'ldirishi va keyin metall valent zonasidan elektronning vakuumga emissiyalanishi $KL_{III}V$ kabi belgilanadi. E_a oje-elektronning energiyasi esa taxminan $E = E_k - E_{L_{III}} - E_v$ formuladan aniqlanadi, bu erda $(E_k - E_{L_{III}})$ – K- qobiqdagi vakansiyaning L_{III} qobiqdagi elektron egallangandagi ajralib chiqqan energiya (10.2-rasm)



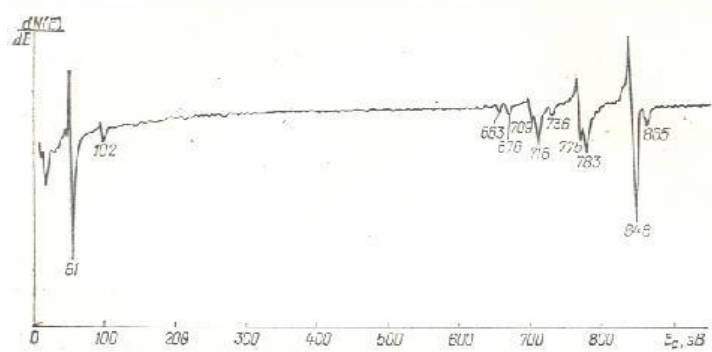
10.2. Rasm. Metalldagi energitik sathlarning diagrammasi va oje o'tishlar

Birlamchi vakansiyalar hosil bo'lganda ajralib chiqqan energiya nafaqat valent zonadagi elektronga, ba'lk i birlamchi vakansiya to'ldirish amalga oshgan qobiqdagi elektronga ham uzatilishi mumkin. Bu holda *KLL*, *LMM*, *NOO* va x.k belgilanadi. Agar oje o'tishda ishtirok etayotgan uch elektrondan ikkitasi valent zonada biri esa K-qobiqda jamlangan bo'lsa, unda bunday oje o'tish *KVV* kabi belgilanadi. $3 < Z < 14$ elementlar uchun *KLL* o'tishlar, $14 < Z < 40$ elementlar uchun *LMM*, $40 < Z < 79$ elementlar uchun esa *MNN* o'tishlar xarakterlidir.

Umumiy holda oje elektronlar energiyasi E_a emperik formula yordamida hisoblab topilishi mumkin.

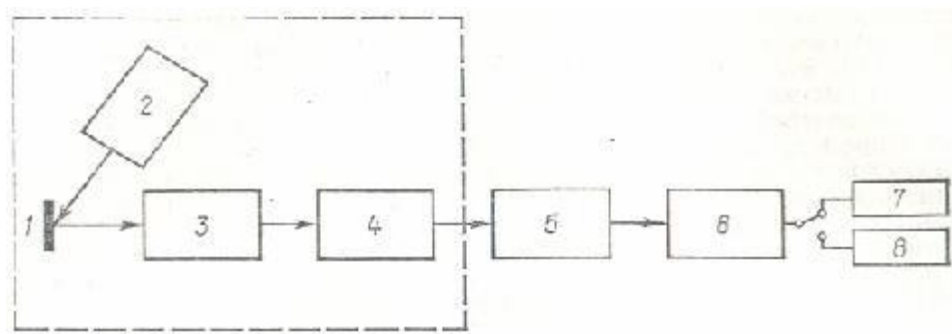
$$E_a = \varepsilon_w(Z) - \varepsilon_x(Z) - \varepsilon_y(Z + \Delta) - \varphi$$

Bu yerda *W*, *X*, *Y* – birlamchi (*W*) va ikkilamchi (*X*, *Y*) vakansiyalar hosil bo'ladigan qobiqlarning shartli belgilanishi. φ -spektrometr materialining chiqish ishi Δ -ikki marotaba ionlashgan qobiq energiyasi bilan alohida qobiqlar ionlashish energiyalari yig'indisi orasidagi farq. Bog'lanish energiyalari rentgent nurlanish energiyalari jadvalidan aniqlanadi. Δ ning tajribaviy qiymati $\frac{1}{2} \div \frac{3}{4}$ orasida yotadi. Oje elektronlar barcha energiyaning hisoblangan qiymatlarida qayt qilinmaydi, hozirgi davrgacha aniqlanmagan tanlash qoidasi mavjud. EOS ning sirt holatiga nihoyat darajada sezgirligi past energiyani oje-elektronlarning o'rtacha erkin chopish yo'li kichik ekanligi bilan bog'langan. Xozirgi vaqtda $\lambda_a(E_a)$ ni hisoblashni ta'minlaydigan qat'iy nazariya yo'q. Chiqish chuqurligini odatda tajriba yo'li bilan aniqlashadi buning uchun metal taglikka nazorat qilinadigan qilinadigan boshqa toza moddaning qatlami o'tkaziladi va oje-elektronlarning taglikdan emissiyasi susayishi qayt qilinadi. Shunday qilib λ_a ning E_a ga bog'liqligi aniqlanadi.



10.3. Rasm. Nikel uchun oji-elektronlar spektri.

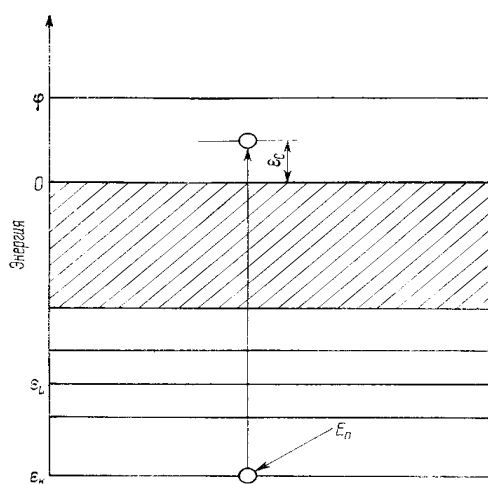
Oje – elektronlar ikkilamchi elektronlarning energetik taqsimot egriligiga uncha katta bo'lmagan oje cho'qqilar ko'rinishida energiyaning qat'iy qiymatlarida namayon bo'ladi. Ammo faqat juda kam hollarda bu cho'qqilarning amplitudasi ularni ishonchli o'lchash ushun etarli bo'ladi. Shuning uchun odatda barcha oje-spektrometrlarida oje cho'qqilarni energetik taqsimot egriligida qayd qilib o'lchanilmaydi, ba'lk i energetik taqsimot egriligini differensiallash yordamida o'rganilib, unda oje cho'qqilar juda yaxshi namoyon bo'ladi.



10.4. Rasm. Oji-spektrometrning blok sxemasi: 1-namuna, 2-elektronlar zambaragi, 3-energoanalizator, 4-UEK, 5-kuchaytirgich, 6-sinxron detektor, 7-ossilograf, 8-o'ziday qiluvchi asbob.

3.10. Energiyani xarakterli yo'qotish spektroskopiyasi.

Elektronlar dastasining qattiq jism bilan ta'sirlashuvi birlamchi elektronlarning energiyasi o'zgarishi (noelastik to'qnashuv) bilan kechadi. Energiyani xarakterli yo'qotish spektroskopiyasining metodlari sochilish natijasida $\Delta E_b = E_b - E_s$ eneriyaning qandaydir diskret qiymatini yo'qotgan (bu yerda E_s – noelastik sochilgan elektronlarning energiyasi) birlamchi elektronlarnigina energiyasini va miqdorini o'lchashga asoslangan.



11.1-rasm. Energetik sathlar diagrammasi va ionlashish jarayonidagi elektron o'tishlar

Energetik taqsimot egriligidagi bu elektronlarga tegishli bo'lgan cho'qqini boshqa cho'qqilardan farq qilish uchun, E_b ni etalon energiya sifatida qo'llashadi. Birlamchi elektronlarning energiyani xarakterli yo'qotishi bilan bohlangan cho'qqilar, E_b ning qiymatidan ma'lum masofada joylashgan. E_b ni ΔE ga o'zgartirsak, bu cho'qqilar ham ham ΔE ga siljiydi. Haqiqiy ikkilamchi elektronlar va Oje-elektronlarga tegishli bo'lgan cho'qqilar esa bu holda o'z o'rnini o'zgartirmaydi, faqat shakli o'zgaradi xolos. Birlamchi elektronlarning energiyani xarakterli yo'qotishining quyidagi turlari mavjud bo'lib, ular energiyani xarakterli yo'qotish spektroskopiyasi metodlarini belgilaydi:

- atomlarni ionlashtirishga yo'qotilgan (sarf bo'lgan) energiya;
- bir zarrali qo'zg'atishga yo'qotilgan energiya;
- elektron gaz tebranishlarini qo'zg'atishga yo'qotilgan energiya;
- kristall panjara atomlari tebranishlarini qo'zg'atishga yo'qotilgan energiya.

3.11.Energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi

Sirt atomining biron bir elektron qobig'idagi elektronning bog'lanish energiyasiga teng yoki undan kattaroq bo'lgan birlamchi elektronlar energiyasida E_b , shu elektron birlamchi elektron bilan to'qnashishi natijasida atomni tark etishi, ya'ni atom ionlashishi mumkin va buning natijasida ma'lum energiya yo'qotgan birlamchi elektron endi E_b dan kichik kinetik energiya bilan sochiladi. Agar bu energiya sirt potensial to'sig'ini yengib o'tish uchun yetarli bo'lsa, unda elektron vakuumga chiqadi. Elektronni qo'zg'atishda yo'qotilgan energiya miqdori, masalan, (11.1-rasm) atomning K - qobig'idagi elektronni qo'zg'atishi quyidagicha yoziladi:

$$\Delta E_b = E_b - E_s = \varepsilon_k - \varepsilon_s,$$

bu yerda ε_k - K qobig'dagi elektronning bog'lanish energiyasi, ε_s - elektronning valent zonadagi yakuniy energiyasi. K qobig'dagi elektron bilan to'qnashgandan keyin, noelastik sochilgan elektron $E_s = E_b - \varepsilon_k - \varepsilon_s$ energiyaga ega bo'ladi. Demak, o'tishlar uchun elektronlarning ikkita boshlang'ich (E_b va ε_k) va ikkita yakuniy (E_s va ε_s) holati bor.

E_b va E_s ning qiymatlari 1 eV aniqlikda o'lchanadi, ε_s esa 0 dan 10 eV oraliqdagi ixtiyoriy qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

Ionizasion energiyani xarakterli yo'qotishlar spektri bo'yicha ximiyoviy elementlarni aniqlashni energiyani xarakterli yo'qotishlarning qiymati minimal bo'lganda (ya'ni $\varepsilon_s \rightarrow 0$ bo'lganda) o'tkazish kerak. Dielektriklar va yarim

o'tkazgichlar uchun bu qiymat atomning n -qobig'idagi elektronning ε_n bog'lanish energiyasidan taqiqlangan zona kengligi qiymatiga farq qiladi. $\Delta E_b = \varepsilon_n - \varepsilon_g$.

Energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasida energiyani xarakterli yo'qotish spektrlari energiyalarning keng ko'lamida o'lchanadi ($100 \leq \Delta E_b \leq 2000$ eV).

Energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi material sirtining ximiyoviy tarkibini aniqlashda va sirt atomlarining ta'sirlashish tabiatini o'rganishda qo'llaniladi. Energiyani xarakterli yo'qotish cho'qqilarini energetik taqsimotda E_b ni o'zgartirish orqali osongina topiladi. Ionlashishda Oje-jarayonga nisbatan elektron o'tishlar soni kam bo'lganligi sababli, energiyani xarakterli yo'qotish spektrlari Oje-spektrlarga nisbatan ancha sodda, bu esa analizni, ayniqsa og'ir elementlar analizini osonlashtiradi. Ionlashishda energiyani xarakterli yo'qotish cho'qqilarining kengligi Oje-cho'qqilarga kengligiga nisbatan ancha kichik. Ammo, ionizasiyada energiyani xarakterli yo'qotish cho'qqilarining amplitudasi juda ham kichik ekanligi energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasini keng qo'llanilishiga asosiy to'siq hisoblanadi. Bir xil sharoitda bu metod uchun signal/shovqin nisbati elektron Oje-spektroskopiyasidagiga nisbatan bir tartibga kichik. Ma'lum o'lchashlarga mos keladigan Oje-cho'qqilarning bir-birini qoplab qolishi, ularni rasshifrovka qilishda, ya'ni u yoki bu element sirtida borligini ishonchli tarzda aniqlashda xalaqit beradi. Mana shunday hollarda, energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi yordamida olingan spektrlar elementlar borligi yoki yo'qligini tasdiqlashi mumkin. Bundan tashqari energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi yordamida, oje-elektronlar hosil qilmaydigan vodorod va geliy elementlarini ham aniqlash imkoni mavjud. Shu sababli bu ikkala metod ximiyoviy analiz metodlari sifatida bir-birini to'ldiradi.

3.12. ENERGIYANI XARAKTERLI YO'QOTISHNING PAST ENERGETIK SPEKTROSKOPIYASI.

1. Energiyani xarakterli yo'qotishning past energetik spektroskopiyasi.

Bu usulda qo'llanildigan elektronlarning birlachi energiyasi bir necha o'n yoki yuz elektronvolti tashkil qiladi. Bunday sharoitlarda valent zonaga yaqin elektron qobig'larning ionizasiyasi amalga oshadi. Energetik taqsimotda birlamchi elektronlarning energiyani xarakterli yo'qotishi bilan yuzaga kelgan

cho'qqilarning shakli qattiq jismdagi elektronlarning energetik taqsimoti bilan bog'langan. Shuning uchun energiyani xarakterli yo'qotishning past energetik spektroskopiyasi sirt atomlarining elektron holatini o'rganishda qo'llaniladi. Birlamchi elektronlar bilan to'qnashishda bir zarrali qo'zg'alishlarni valent zona elektronlari ham namoyon qiladi. Ularning energetik sathlari ko'tariladi va shu tufayli elektronlar boshqa zonaga o'tishi mumkin (zonalar aro o'tish). Agar energiyaning o'sishi juda kam bo'lsa, elektronlar valent zonada qoladi (zona ichida o'tish). Bunday o'tishlardagi energiyani xarakterli yo'qotish valent elektronlarning to'lgan va bo'sh holatlari zichligi bilan bog'langan. Qo'shimcha o'tishlar imkoniyati va energiyani xarakterli yo'qotishlarning yangi cho'qqilari paydo bo'lishi begona atomlarning sirtida xemosorbsiyasida yuzaga keladi. Sanab o'tilgan o'tishlarda energiyani xarakterli yo'qotish 3-20 eV larni tashkil qiladi. Valent elektronlarni bir zarrali qo'zg'atish bilan energiyani xarakterli yo'qotishdagi noelastik sochilgan birlamchi elektronlarni kichik moddiy burchaklarda analiz qilishga asoslangan energiyani xarakterli yo'qotishning past energetik spektroskopiyasi qattiq jismlarning optik doimiylarini o'rganishda qo'llanilishi mumkin.

2.Energiyani xarakterli yo'qotishning plazmon spektroskopiyasi yordamida yupqa qatlamlar qalinligini o'lchash.

Elektron gaz tebranishlarini kollektiv qo'zg'atish bilan bog'langan energiyani xarakterli yo'qotishlar bu gaz tebranishlarini qattiq jism hajmida qo'zg'atish uchun energiyani xarakterli yo'qotishlarni va sirtida bu tebranishlarni yuzaga keltirish uchun energiyani xarakterli yo'qotishlarni o'z ichiga oladi. Elektron gazning sirtidagi tebranishlar chastotasi ω_s elektron gazning hajmdagi tebranishlar chastotasidan ω_v kichik. Mos ravishda sirtiy va hajmiy plazmonlar deb ataluvchi bu elektron gaz tebranishlarining kvantlari Boze-Eynshteyn statistikasiga bo'ysunuvchi kvazi zarracha sifatida ko'riladi. Hajmiy plazmonlarni qo'zg'atishga mos keladigan cho'qqilar nisbatan tor (1-10 eV). O'rganilgan ko'pchilik moddalar uchun hajmiy plazmonlarning $\hbar\omega_v$ energiyasi 3-30 eV chegarasida yotadi, masalan *Al* uchun $\hbar\omega_v=14,7$ eV, *Mg* uchun $\hbar\omega_v=10,6$ eV, *Ag* uchun $\hbar\omega_v=4,1$ eV.

Qattiq jism diagnostikasi sirt plazmonlari yuzaga keltirgan energiyani xarakterli yo'qotishlar bo'yicha amalga oshiriladi. Sirt plazmonlarini qo'zg'atish tufayli energiyaning diskret qiymatlarini yo'qotgan birlamchi elektronlar energiyani xarakterli yo'qotish spektrlarini analiz qilinganda, odatda qayd qilingan ikkilamchi elektronlar energetik taqsimot egriligidagi elastik sochilgan elektronlar cho'qqisi yonida kuzatiladi. Energiyani xarakterli yo'qotishning

plazmon spektroskopiyasi past energetik hisoblanadi, chunki birlamchi elektronlarning faqat past energiyalarida (bir, o'n va yuz elektronvoltlarda) sirt plazmonlarini qo'zg'atish kesimi yetarli darajada katta bo'ladi.

Sirt plazmonlarini qo'zg'alishi sirt oldidagi elektron gazning taqsimot zichligiga bog'liq. Elektron gaz zichligining tebranishlari chastotasi, va demak sirt plazmonlarining energiyalari, qattiq jism bilan kontaktlashuvchi muhitning dielektrik singdiruvchanligiga ε bog'liq:

$$\hbar\omega_s = \frac{\hbar\omega_p}{\sqrt{1+\varepsilon}} \quad (12.1)$$

Vakuumda toza sirt uchun ($\varepsilon=1$) $\hbar\omega_s = \frac{\hbar\omega_p}{\sqrt{2}}$. Sirt plazmonlarining energiyasi berilgan material sirtidagi begona qatlamning qalinligiga sezgir. Masalan, metall oksidlanganda, ya'ni uning sirtida dielektrik qatlam yuzaga kelayotganda, sirt plazmonlarining energiyasi $\hbar\omega_s$ asta sekin $\frac{\hbar\omega_p}{\sqrt{2}}$ energiyadan (12.1) tenglamani qoniqlashtiradigan energiya qiymatigacha o'zgarishi kerak. Demak, $\hbar\omega_s(d)$ bog'lanishni metall sirtidagi oksid plyonkaning qalinligini o'lchash uchun qo'llash mumkin. Qoplamaning qalinligi bir monoatomdan katta bo'lganda, $\hbar\omega_s$ quyidagi tenglama yordamida hisoblanadi:

$$\hbar\omega_s = \hbar\omega_p [\varepsilon_1 + th(kd/2\varepsilon_1) + (1 + \varepsilon^2)th kd]^{1/2}$$

Bu yerda ε_1 –qoplama moddaning dielektrik singdiruvchanligi, k - sirt plazmonlarining to'lqin vektori, undan osongina qatlamning qalinligini aniqlash mumkin.

Sirtida monoqatlam yoki submonoqatlam qoplamalar olinganda, sirt plazmonlarining energiyasi kamayadi. Bu kamayish qiymatini o'lchab, (12.1) tenglama orqali adsorbsiyalangan atomlarning qutblanishini belgilaydigan ε ni aniqlash mumkin. ε va φ ni birgalikda bir vaqtda o'lchash orqali, sirtiy qo'sh elektr qatlam adsorbsiyasi bilan bog'langan, adsorbsiyalangan atomlarning effektiv zaryadi va dipol yelkasini aniqlashadi.

Energiyani xarakterli yo'qotishning plazmon spektroskopiyasini qattiq jismlar sirtida turli elementlarning adsorbsiyasini va desorbsiyasini hamda tozalash jarayonlarini o'rganishda qo'llashadi.

3.13. Energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasi.

Qattiq jismlar sirti kichik energiyali ($5 \leq E_b \leq 50$ eV) elektronlar bilan bombardimon qilinganda, kristall panjara atomlari va adsorbsiyalangan molekulalar evaziga sodir bo'ladigan energiyani xarakterli yo'qotishlar yuzaga keladi. Elektronlar sirt fononlarini qo'zg'atib energiya yo'qotadi, natijada o'ta kichik energiyani xarakterli yo'qotishlar (elektronvoltning yuzdan yoki o'ndan biri tartibida) amalga oshadi, shuning uchun ham energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasi past energetik hisoblanadi. Energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasida elektronlarning sochilishi ancha katta bo'lganligi uchun, uni kvazielastik deb atashadi. Sirt fononlari evaziga sodir bo'lgan kichik energiyali elektronlarning kvazielastik sochilishi quyidagi sochilishlardan tashkil topadi: sirt tebranishlarining dipol maydoni evaziga sochilish; qattiq jism sirt atomlarining issiqliq tebranishlari evaziga sochilish.

Energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasida faqat birinchi (dipol sochilish deb ataluvchi) qayd qilinadi. Ikkinchisi esa termik diffuzion sochilish SED metodi bilan o'rganilganda tahlil qilinadi. Energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasi yuqori sezgirliги bilan xarakterlanadi. Masalan, kremniy sirtida adsorbsiyalangan kislorod atomlari uchun fononlar energiyasi 1 sm^2 da $10^{-11} \div 10^{-12}$ adsorbsiyalangan zarrachalardan boshlab aniqlanadi. Biroq energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasidan foydalanish uchun yuqori ajrata olish qobiliyatiga ega bo'lgan apparaturalardan, xususan birlamchi elektronlar uchun elektron monoxromatorlardan foydalanish talab qilinadi.

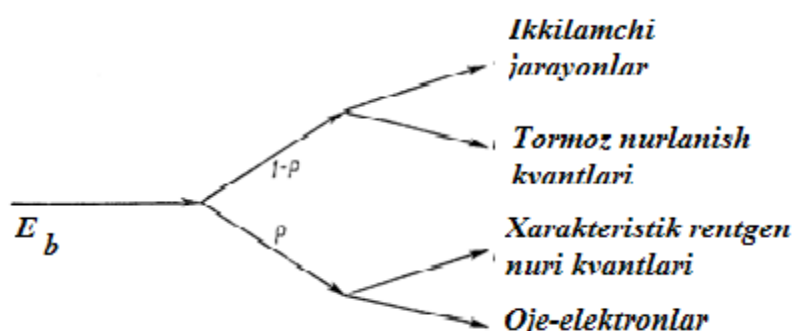
3.14. BO'SAG'A POTENSIALLARI SPEKTROSKOPIYASI.

1. Bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasi

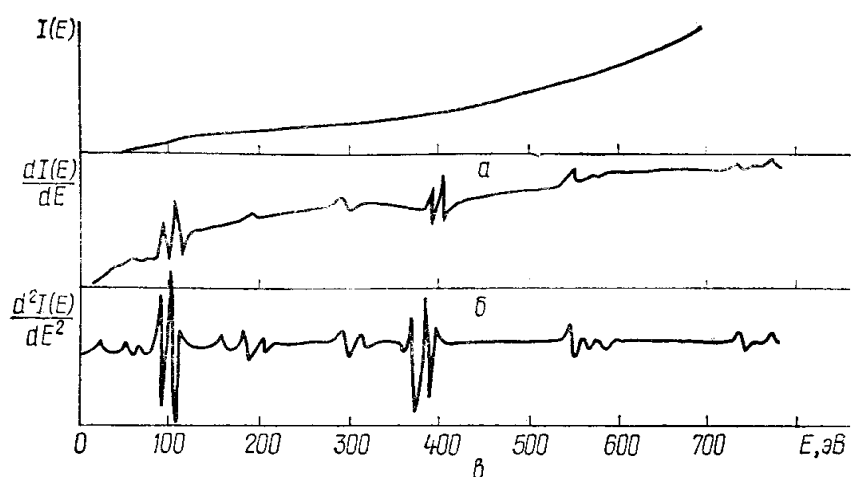
Qattiq jism sekin elektronlar dastasi bilan bombardimon qilinganda atomlarning ichki elektron qobig'larida vakansiyalar hosil bo'ladi, ya'ni atomlar uyg'onadi. Bu uyg'onishlar (qo'zg'alishlar) oje-o'tishlar yoki xarakteristik rentgen nuri emissiyasi evaziga o'z holatiga qaytadi. Birlamchi elektronlarning $E_b = 100 \div 1000$ eV energiyalarida bu jarayonlarda faqat bir necha sirt qatlamlarining ($0,5 \div 1$ nm) atomlarigina ishtirok etadi. Birlamchi elektronlarning energiyasi E_b bir tekis oshirib borilganda va birlamchi elektronlar energiyasining qiymati q qobiqdagi elektronning bog'lanish energiyasi qiymatiga ε_q teng bo'lgan vaziyatda rentgen nuri intensivligining ortishi kuzatiladi. ε_q bilan bog'langan bo'sag'a energiyasi bo'sag'a potensialiga

mos keladi va atomlarni xarakterlash uchun qo'llaniladi. Ushbu hodisa bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasi asosida yotadi. Bu metod yumshoq rentgen nurlari hosil bo'lishi potentsiallari spektroskopiyasi deb ham ataladi.

Rentgen nuriga olib keluvchi birlamchi elektronlarning energiya yo'qotishi ikki asosiy guruhga bo'linadi. Birinchi guruh (13.1-rasm) yadro maydonida va valent zonadagi elektron-elektron to'qnashuvlarda yo'qotilgan energiyalarga mos kelib, tormoz rentgen nurining yuzaga kelishiga sababchi bo'ladi. Ikkinchisi atomning ichki elektron qobig'iqalarida vakansiya yuzaga kelishi bilan bog'langan energiya yo'qotishlarga mos kelib, xarakteristik rentgen nuri hosil bo'lishiga sababchi bo'ladi va rentgen nurining umumiy oqimini oshiradi.



13.1-rasm. Elektronlarning qattiq jism bilan ta'sirlashuvining energetik sxemasi



13.2-rasm. Kvantlarning yig'indi chiqish egriligi (a), uran uchun birinchi va ikkinchi (b va v) hosilalar

Bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasining umumiy sxemasi quyidagicha: namuna energiyasi vaqt bo'yicha bir tekis ortib borayotgan elektronlar bilan bombardimon qilinadi. Bunda namuna yonida joylashgan kvantlar detektori intensivligi ZE_b ga proporsional ravishda ortib borayotgan yumshoq rentgen nurini qayd qiladi. $E_b = \varepsilon_q$ da xarakteristik rentgen nuri yuzaga keladi va kvantlar detektori yig'indi nurni qayd qiladi. Shu vaqtda $I(E)$ bog'lanish egriligida uncha katta bo'lmagan va amplitudasini tormoz rentgen nuri fonida o'lchash ancha qiyin bo'lgan uchli cho'qqilar paydo bo'ladi. Shu sababli amaliyotda, intensivlik emas, signal/shovqin nisbatni ancha kattalashtirishga imkon beradigan, intensivlikning E bo'yicha birinchi hosilasi o'lchanadi. Buning uchun elektron oje-spektroskopiyasida qabul qilingan elektr differentsiallashtirish usulidan foydalaniladi.

Bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasi yordamida sirtning ximiyoviy tarkibini aniqlash bo'sag'a potentsiallari spektrida xarakteristik rentgen nuriga mos keluvchi cho'qqilar paydo bo'lishiga asoslangan. Bo'sag'a potentsiallari qiymatlari bo'yicha atom ichki qobig'idagi elektronlarning bog'lanish energiyasi aniqlanadi va ular bo'yicha qalinligi $0,5 \div 1$ nm bo'lgan sirt qatlamlarining ximiyoviy tarkibi o'rnatiladi. Elektron oje-spektroskopiyasiga nisbatan bu metodning asosiy farqi shundaki, bunda katta atom nomerli elementlarni aniqlash va atom nomeri bir-biriga yaqin bo'lgan elementlarni identifikatsiya qilish mumkin. Ammo bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasi oltingugurt, kislorod va uglerodga nisbatan elektron oje-spektroskopiyasiga qaraganda kichik sezgirlikka ega. 3d qobig'i to'lgan elementlarni amalda bo'sag'a potentsiallari spektrlaridan aniqlab bo'lmaydi.

4.BOB.

4.1.Ikkilamchi elektronlar emissiyasi ko'effitsiyentini o'lchashga asoslangan metodlar

Moddalarning eng muhim ikkilamchi-emission xossalariidan biri ikkilamchi elektronlar emissiyasi ko'effitsiyentining birlamchi elektronlar energiyasiga E_b bog'liqligi hisoblanadi. To'liq ikkilamchi elektronlar emissiyasi ko'effitsiyenti σ barcha emissiyalangan elektronlar tokining birlamchi elektronlar tokiga i_b nisbatiga teng. Birlamchi elektronlar tarkibiga uch guruh elektronlari kirganligi uchun ikkilamchi elektronlar emissiyasi ko'effitsiyenti uchtaga ajratiladi: haqiqiy ikkilamchi elektronlar emissiya ko'effitsiyenti δ , noelastik sochilish ko'effitsiyenti η va elastik sochilish ko'effitsiyenti R . Ular quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$\delta = i_1 / i_b;$$

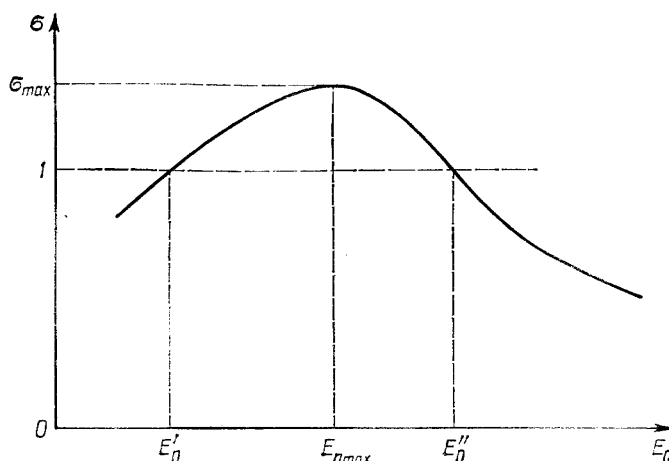
$$\eta = i_2 / i_b;$$

$$R = i_3 / i_b.$$

Yaqqolki, $\sigma = \delta + \eta + R$.

Ikkilamchi elektron emissiya koeffitsiyenti birlamchi elektronlar energiyasiga, birlamchi elektronlarning tushish burchagiga va o'rganilayotgan materialning xossalriga bog'liq.

Sirtning ikkilamchi-emission xossalari o'ta yuqori vakuumda, yaxshi fokuslangan birlamchi elektronlar dastasidan foydalanib o'rganiladi. Odatda birlamchi elektronlarning energiyasi yoki ularning tushish burchagi o'zgartiriladi. Moddalar o'rganilganda birinchi navbatda barcha ikkilamchi elektron emissiya koeffitsiyentlarining birlamchi elektronlar energiyasiga bog'liqligi o'rganiladi. Bu bog'lanishlardagi xarakterli nuqtalarning siljishiga qarab ($\sigma_{\max}$, $\eta_{\max}$, $\delta_{\max}$ va ularga mos keluvchi $E_{b\max}$, E_b^1 , E_b^{11}) sirt xossalari o'zgarishini aniqlash mumkin. (13.3-rasm)



13.3-rasm Ikkilamchi elektronlar emissiya koeffitsiyentining birlamchi elektronlar energiyasiga bog'liqligi

Monokristall materiallarning ikkilamchi–elektron xossalari turli kristallografik yo'nalishlarda anizotrop. Bu materiallar uchun $\sigma(E_b)$, $\delta(E_b)$, $\eta(E_b)$ va $R(E_b)$ bog'lanishlarda turli tipdagi ekstremumlar kuzatilib, ular birlamchi elektronlarning kogerent difraksiya sochilishi va kanallashuvi jarayonlari tufayli kelib chiqadi. Monokristallardagi panjaraning davriy maydoni ikkilamchi elektronlar emissiya koeffitsiyentlarining birlamchi elektronlarning tushish burchagiga bog'liqliklariga ham ta'sir etadi. Polikristall materiallar uchun monoton o'zgaruvchi bu bog'lanishlar monokristallarda olinganda ekstremumlarga ega bo'ladi. Bu ekstremumlar panjaradagi atomlarning zich joylashgan yo'nalishlariga mos keladi. Ikkilamchi elektronlarning uchib chiqish burchagi bo'yicha taqsimoti ham poli- va monokristall namunalari uchun farq

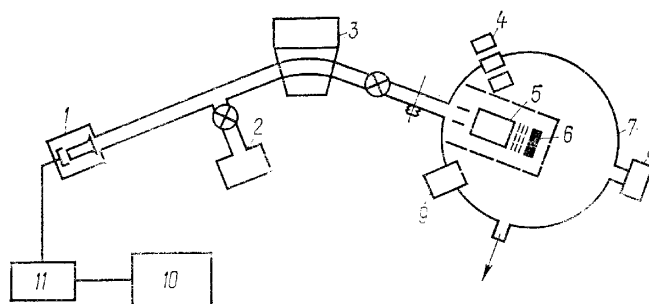
qiladi: birinchi holda, bu egriliklar $\cos\theta$ ga proporsional bo'lsa, ikkinchi holda atomlar zich joylashgan yo'nalishlariga mos keladigan burchaklarda ekstremumlarga ega bo'ladi

4.2.Elektronlar jadallashtirgan desorbsiya metodi

Atomar toza holatda bo'lgan qattiq jism sirti sekin elektronlar (10-1000 eV) bilan bombardimon qilinishi sirt qatlamining atom strukturasi o'zgartirmaydi, chunki bu holda yuz beradigan elektron o'tishlar metallidagi atomlar orasidagi bog'larni uzilishiga olib kelmaydi va demak atomlar yoki ionlar emissiyasi kuzatilmaydi. Ammo, sekin elektronlarning energiyasi sirt atomlari bilan sirtida adsorbsiyalangan zarrachalar (atomlar, molekulalar) orasidagi bog'larni uzish uchun yetarlidir. Sekin elektronlar ta'sirida materiallar sirtidan desorbsiyalangan zarrachalarning tarkibini va miqdorini o'lchash elektronlar jadallashtirgan desorbsiya metodining asosida yotadi.

Elektronlar jadallashtirgan desorbsiyada sirtni tark etayotgan zarrachalarning miqdori va zaryadi birlamchi elektronlarning energiyasiga, sirtning atom va elektron strukturasi hamda adsorbsiyalangan atomlar va molekulalar tabiatiga bog'liq. Elektronlar va yadrolarning massalari orasidagi juda katta farq bo'lganligi sababli elastik ta'sirlashuvdagi to'g'ridan to'g'ri energiya uzatishlar neytral zarrachalarning yoki ionlarning desorbsiyasiga olib kelmaydi. Elektronlar jadallashtirgan desorbsiya jarayonlarida birlamchi elektronlar bilan adsorbsiyalangan zarrachalar o'rtasidagi noelastik ta'sirlashuvda yuzaga kelgan elektron o'tishlar eng muhim rolni o'ynaydi. Energiyasi 70-100 eV bo'lgan birlamchi elektronlar adsorbsiyalangan zarrachalarda kesimi ancha katta bo'lgan qo'zg'atishlar bilan barcha mumkin bo'lgan elektron o'tishlarni keltirib chiqara oladi. Bunda yuz beradigan jarayonlar elektronlar gaz fazasi bilan ta'sirlashgandagi jarayonlarga o'xshash: molekulalarning uyg'onishi, ularning dissosiasiyasi, ionizasiya va dissosiasiyali ionizasiya. Biroq qattiq jismlarda turli o'tishlar uchun zarur bo'lgan energiya gaz fazasidagi shunday o'tishlarni keltirib chiqaradigan energiyaga nisbatan ancha kichik. Ammo, adsorbsiyalangan molekulaning uyg'ongan yoki ionlashgan holatga o'tishi hamma vaqt ham desorbsiyaga olib kelmaydi: faqat molekula dissosiasiyalanganda, uni tashkil etuvchi zarrachalardan bir qismi yetarli darajada kinetik energiya olishi va sirtni tark etishi mumkin. Desorbsiyalangan zarrachalarning umumiy miqdorini sirtni tark etayotgan zarrachaning elektron holatlarning yuqori zichligi bilan xarakterlanuvchi taglik sirti bilan ikkilamchi ta'sirlashuvi ham belgilaydi. Masalan, ion desorbsiyasida ion sirtidan ma'lum masofada bo'lganda, qattiq

jismning elektroni tunnellanib, ionning to'lmagan sathiga o'tishi mumkin. Bu masofaga bog'liq ravishda ion neytrallasishi mumkin, lekin sirtni tark eta oladi yoki qayta asosiy holatga tutib olinishi ham mumkin.



13.4-rasm. Elektronlar jadallashtirgan desorbsiyasi metodi uchun magnit mass-spektrometrli asbobning blok-sxemasi: 1-ikkilamchi elektron ko'paytirgich; 2-ion nasosi; 3-magnit mass-spektrometr; 4-ion zambaragi; 5-ionizasion kamera; 6-namuna; 7-ishchi kamera; 8-qoliq atmosferani analiz qilish uchun mass-spektrometr; 9- elektron zambarak; 10- ikki koordinatali o'zi yozar asbob; 11-elektrometrik kuchaytirgich.

Elektronlar jadallashtirgan desorbsiyasi metodida desorbsiyalangan musbat va manfiy ionlarning miqdori o'lchanadi. Shu bilan birga desorbsiyalangan zarrachalarning mass-spektri qayd qilinib, adsorbsiyalangan fazaning tarkibi o'rnatiladi. Elektronlar jadallashtirgan desorbsiyasi metodi yordamida adsorbsiyalangan zarrachalarning energetik strukturasini; adsorbsiyalangan holatdagi moddaning fiziko-ximiyoviy xossalarini; adsorbent atomlari bilan adsorbsiyalangan atomlar orasidagi elektron o'tishlarni; sirtning ximiyoviy tarkibini va boshqalarni aniqlash mumkin.

5.BOB. Sirtni elektromagnit nur bilan zondlash.

5.1.Fotoelektron emissiyasi metodi (FEE).

FEE metodi elektromagnit, tashqi fotoeffekt, hodisasidan foydalanib elektronning chiqish nur ta'siridan qattiq jismlardan elektronlar emissiyasidan iborat bo'lgan ishini o'lchashga asoslangan kvantlar yutilgan valent elektronlarining energiyasi o'zgaradi va bu energiya sirdagi potensial to'siqni ochib o'tish uchun etarli bo'lishi va natijada elektronlar vakuumga chiqishi mumkin. Yoritilgan namuna (fotokatod) va anod orasida fotoelektronlarni tezlatuvchi elektr maydoni hosil qilinsa, fototok yuzaga keladi. Ma'lum

qiymatda agar barcha elektronlar anodga etib kelsa fototok maksimal bo'ladi (to'yinish toki).

Ko'rinadigan yoki ultrabinafsha nur yuzaga keltrgan fotoeffekt uchun V_{mak} boshlang'ich tezlik bakuumdagi yoruzlik tezligidan ancha kichik, ularning maksimal energiyasi esa quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$E_{\text{max}} = \frac{m g_{\text{max}}^2}{2} \quad (1)$$

$T=0$ K dagi tashqi fotoeffekt uchun energiyaning saqlanish qonuniga mos ravishda Eynshteyn tenglamasi bajariladi.

$$h\nu = E_{\text{max}} + \varphi \quad (2)$$

FEE da V_{max} elektromagnit nur chastotasiga bog'liq va uning intensivligiga bog'liq emas, chiqarilayotgan elektronlarning miqdori nurning intensivligiga prororsional. Har bir modda uchun 0 K da fotoeffektning qizil chegarasi (fotoeffekt busag'asi), fotoeffekt bo'lishi mumkin bo'lgan minimal chastota $\nu_{\text{min}} = \frac{\varphi}{h}$ mavjud.

Metallar uchun λ_{min} spektrning ultira binafsha qismida joylashgan FEE ning miqdoriy harakteristikasi bo'lib, bir tushayotgan kvantga to'g'ri keluvchi fotoelektronlar soni γ kvant chiqishi hisoblanadi.

Chiqish ishini quyidagi tenglamadan aniqlanadi.

$$E_{\text{max}} = h(\nu - \nu_{\text{min}}) - \varphi \quad (3)$$

Agar fotokatodan emissiyani to'qtatish uchun etarli bo'lgan, tutib qoluvchu $U_{t,q}$ kuchlanish fotokatod va anod orasiga berilsa, unda

$$eU_{tq} = h\nu - \varphi \quad (4)$$

Ammo $T>0$ K da elektronlarning kinetik energiyasi E_{max} dan katta shuning uchun bunday o'lchov usuli φ ning aniq qiymatini belgilaydi.

I fototokning qiymati tushayotgan nurning chastotasiga ν bog'lanishdan ya'ni aniqroq aniqlash, bu bog'lanish Fauler formulasi orqali ifodalanadi.

$$\lg\left(\frac{i}{T^2}\right) = k + \Phi[(h\nu - \varphi)/kT] \quad (5)$$

Bu yerda k -tushayotgan nurning yutilishi bilan elektronlar chiqish ehtimoliyatini baholaydigan koeffisint.

F – jadvashtirilgan funksiya.

5.2.Fotoelektron spektroskopiya metodi (FES)

FES metodlri fotoelektronlar spektrlarini olishdan iborat. Elektromagnit nur energiyasiga qarab FES ikkita turga ajratiladi.

a) rentgent fotoelektron spektroskopiyasi (RFES) , ($E_b=1,2\div1,5\text{ keV}$);

b) ultra binafsha fotoelektron spektroskopiyasi (UBES) ($E=40\div50\text{ eV}$);

a) RFES qattiq jismga ta'sir etayotgan rentgen nurining energiyasi uning atomlari elektronlarini o'yg'otishga va ularga sirt potentsiali to'sig'ini otish uchun etarli bo'lgan kinetik energiya berish uchun sarf bo'ladi. Jarayonda ikki guruh elektronlarining energetik holati, ya'ni diskret energetik sathlari E_n sistemasi atom nomeri Z bilan belgilanadi va erkin atomlar qattiq jism bo'lib, birlashganda sezilarli ravishda o'zgarishlar sodir qilmaydi. Erkin atomda diskret bo'lgan valent elektronlarning spektri esa qattiq jismda kvazi uzluksiz (valent zona) bo'ladi. Valent elektronlarning energetik strukturasi qattiq jismlarning ko'pchilik fizikaviy va ximiyaviy hossalarni belgilaydi. Atomlar ichki qobiqlarining elektronlari, odatda, faqat rentgent nuri bilan ta'sirlashgandagina o'yg'anadi. Bu elektronlarning spektri diskret bo'lib, va har bir chiziq n -energetik sathli ma'lum qobiq elektronlarini o'yg'otish bilan bog'langan.

Vakuum energetik sathi $E=0$ dan hisoblangan biron bir qobiqni ionlashtirish natijasida yuzaga keladigan elektronlarning kinetik energiyasi E ning quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$E_{kin} = h\nu - \varepsilon_{vn}^v = h\nu - \varepsilon_{vn}^F - \varphi$$

Bu yerda, E_{vn}^v – vakuum sathidan hisoblangan, n -sathdagi elektronlarning bog'lanish energiyasi (absolyut bog'lanish energiyasi).

E_{vn}^F – Fermi sathidan hisoblangan, n -sathdagi elektronning bog'lanish energiyasi.

φ – namuna materialining chiqish ishi.

Ichki qobiqlarning birida vakansiya hosil bo'lganda, Oje – o'tish natijasida elektronning emissiyasi yoki rentgent fluoressensiyasi yuz berishi mumkin. Rentgent nuri ta'sirida barcha elektronlar uyg'onadi. Bu elektronlarning ilk energetik holati, fotoelektron spektr ko'rinishini belgilab, bu spektr valent zonadagi elektronlar zichligi taqsimotini o'zida aks etadi.

Elektronlari o'yg'onadigan qatlam qalinligi rentgen kvantlari kirib boradigan chuqurlikka d_{pk} teng va u rentgent energiyasiga $h\nu$ ga bog'liq. $h\nu=1,2\div1,5\text{ keV}$ bo'lganda $d_{pr}=10^5\text{ mm}$.

Sirtidagi to'siqni oshib o'tadigan energiyaga ega bolish uchun fotoelektronlar harakatini $d_e \ll d_{pr}$ chuqurlikdan boshlashlari lozim.

Fotoelektronlarning energiyani yuqotmasdan sirtga yaqin qatlamdan qalinligi taxminan taxminan noelastik sochilishgacha bo'lgan elektronlarning o'rtacha erkin chopish uzunligi λ ga teng qalinlikdan chiqadi. Demak,

elektronlarning kinetik energiyasining qiymatiga bog'liq bo'lgan λ ning qiymati analiz qilinayotgan qatlam qalinligini belgilaydi.

Fotoelektronlarning kinetik energiyasi RFES da asosiy tajribaviy parametr hisoblanadi, chunki fotoelektron spektrlardagi cho'qqilarning o'rni, amplitudasi va shakli unga bog'liq bo'ladi. RFES yordamida sirt atomlari ichki qobiqlari elektronlarining bog'lanish energiyasini o'lchash mumkin. Metallardagi bog'lanish energiyasi Fermi sathiga nisbatan aniqlanadi:

$$\varepsilon_{bn}^F = h\nu - E_{kin} - \varphi_{es}$$

Bu yerda, φ_{es} – energoanalizator materialinig chiqish ishi.

Vakuum energetik sathga nisbatan bog'lanish energiyasi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\varepsilon_{bn}^V = \varepsilon_{bn}^F + \varphi$$

Bog'lanish energiyasini o'lchash aniqligi 0,1 eV ni tashkil qiladi.

Kimyoviy analiz. Sirt va sirt oldi qatlamlarining analiz qilish metodi sifatida RFES, analiz qilinayotgan modda elektronlarining bog'lanish energiyasini aniqlash va uni toza elementlar uchun ma'lum bo'lgan bog'lanish energiyalarining qiymatlari bilan taqqoslashga asoslangan. Fotoelektron spektrdagi cho'qqilar amplitudasini yoki cho'qqilar tagidagi yuzani o'lchash orqali miqdoriy analiz o'tkaziladi. RFES kimyoviy analiz metodi sifatida 1% ga yaqin sezgirlikni ta'minlaydi, absolyut sezgirligi ($10^{-6} \div 10^{-8}$) va aniqligi ($5 \div 10\%$).

RFES ni qattiq moddalarning sirt qatlamlari tarkibini, adsorbsiyalangan atomlar va molekulalarning adsorbsion holatini aniqlashda, adsorbsiya dinamikasini, elektron strukturasini, oksidlanish jarayonlarini o'rganishda, sirt tozaligini nazorat qilishda va boshqalarda qo'llashadi.

Rentgen nurlarining yutilish spektroskopiyasi (PNYUS) fotoeffekt hodisasi tufayli yuzaga kelgan fotoelektronlarning umumiy chiqishini rentgen nuri yutilishini ham hisobga olgan holda o'lchashga asoslangan.

UBES da ($40 \div 50$ eV) energiyali nurdan foydalaniladi. Bu energiyali nur odatda atomning ichki qobig'i elektronlarini ionlashtirish uchun etarli emas. UFES da faqat valent elektronlar uyg'onadi.

5.3. Fotodesorbsiya metodi (FD).

FD metodi 300 nm to'liq uzunlikdan kichik bo'lgan sohali ultra binafsha nur bilan qattiq jism nurlantrilganda, qattiq jism sirtidan atom zarralarining (atomlar va ionlar) desorbsiyalanishi hodisasiga asoslangan.

Neytral zarralarning FD si asosan yarim o'tgazgichlar sirtidan yuz beradi, metal sirtidan FD esa faqat ularning sirti yarim o'tkazgich tipli oksid qatlami bilan qoplangandagina yuz beradi. Xemosorbsiyada elektromanfiy adsorbat taqiqlangan zonasi keng bo'lgan n-yarim o'tgazgichning o'tkazuvchanlik zonasidan elektronni tutub olish mumkin. Buning natijasida sirt kirishmalari tomonidan olingan qo'shimcha zaryad qattiq jism hajmidagi qo'zg'almas ionlashgan donorlar bilan kompensasiyalanadi. Agar nur energiyasi taqiqlangan zona kengligidan kattaroq bo'lsa, unda sirt oldida erkin elektrtonlar va vakansiyalarning effektiv generatsiyasi yuz beradi. Hajmdagi zaryad bu vakansiyalarni sirt-gaz chegarasiga harakatlinishiga moyillik qiladi. Sirt-gaz chegarasida ular qo'shimcha sirt zaryadi bilan rekombinatsiyalashadi, bu esa ko'pincha xemosorbsiyani yuzaga keltirgan bog'larning uzilishiga va gazning atom yoki ion ko'rinishda desorbsiyalanishiga olib keladi.

Metallar sirti ultra binafsha nur bilan nurlantrilganda atom yoki ionlar desorbsiyasi kuzatilmaydi, ammo nurlantirilayotgan sirtga mo'ayan elektr maydoni qo'yilsa, etarli darajada intensiv musbat ionlar toki yuzaga keladi. Sirt tadqiq qilinayotganda FD intensiyiligini o'lchash uchun mass-spektrometrik metodikadan foydalaniladi.

5.4. Lazerli mass-spektrometriya (LMS)

LMS da namuna sirti fokuslangan lazer bilan zondlanadi. Nurning energiyasi etarli darajada katta bo'lsa, moddaning kuchli mahalliy qizishi natijasida uning bug'lanishi va plazmaning hosil bo'lishi ruy beradi. Bu plazma ionlarining tarkibini, miqdorini va zaryadini mass-spektrometrik usulda aniqlash, moddaning mahalliy kimyoviy tarkibini aniqlashga imkon beradi. Nurning modda bilan ta'sirlashish xaraktyeri nur oqimining zijligi D va nur impulsining davomiyligiga bog'liq bo'lib, ular lazerning ish maromi bilan belgilanadi. LMS da asosan lazerning ikki ish maromi qo'llaniladi: erkin generatsiya va gigant impuls.

Erkin gereratsiya maromida ishlayotgan lazer nuri impulslarining davomiyligi 10^{-4} s tartibida ($D=10^6\div10^8\text{ Bt/sm}^{-2}$) bo'lib, davomiyligi 10^{-6} s gacha bo'lgan ketma-ket nurlar porsiyasidan iborat.

Metall sirtidan qaytmagan lazer nuri amalda ($10^{-6} \div 10^{-5}$) nm qalinlikdagi qatlamda to'liq yutiladi va uning energiyasi valent elektronlarni uyg'otadi. Elektronlar bilan kristall panjara orasidagi energiyalar almashuvi hisobiga modda taxminan 10^{10} K/s tezlikda qiziydi. Metallning bir necha ming kel'vin haroratga mahalliy qizishi, uning erishiga va bug'lanishiga olib keladi. Ionlashish darajasi, ya'ni ionlashgan atomlarning umumiy bug'langan atomlar soniga nisbati 1 % dan oshmaydi va materialga qarab ikki tartib orasida o'zgarishi mumkin. Ionlar asosan termoion emissiyasi natijasida hosil bo'ladi. Ionlar mass-spektrida klasterlarga, ya'ni bug'da suyuq tomchi va erimagan mikrozarralar borligi sababli yuzaga keladigan poliatomli bir zaryadli ionlarga mos keladigan cho'qqilar ham qayd qilinadi.

Laserning erkin generatsiyali ish maromi materiallardagi gaz kirishmalarini mahalliy analiz qilish uchun qo'llaniladi.

Gigant impul's maromida ishlaydigan lazerning nurlanish energiyasi, yuqorida zikr etilgan maromdagidek, ammo impul'slarning davomiyligi 10^{-8} s tashkil qiladi. Shuning uchun nurning quvvati bir necha tartibga ortiq bo'ladi. Impul's vaqtida issiqlikning metall ichkarisiga olib ketilish tezligi kichik bo'lganligi uchun, yutilgan nurning energiyasi, asosan sublimasiyaga va plazma hosil bo'lishiga sarf bo'ladi.

Kirishma atomlarini sezish sezgirliigi (10^{-3} - 10^{-7})% sohada yotadi va u material tabiatiga hamda qo'lanilayotgan mass- spektrometr tipiga bog'liq.

5.6.Sirtni ion va molekulyar dastalar bilan zondlash.

1. Ikkilamchi ionlar mass-spektrometriyasi metodi (IIMS)

Qattiq jism sirtini birlamchi ionlar dastasi bilan bombardimon qilish turli tipli ikkilamchi zarralar emissiyasiga va elektromagnit nurlanishga olib keladi. Emissiyalangan zarrachalar miqdorini, ularning energitik taqsimotini, massasini va burchak taqsimotini, hamda nurlanish xarakteristikalarini o'lchash orqali materiallar sirtining tarkibini, elektron va atom strukturasi o'rganish mumkin.

IIMS metodi $1 \div 20$ keV energiyali birlamchi elektronlar dastasi bilan bombardimon qilinayotgan namuna materiyali tarkibiga kiruvchi atomlarga tegishli bo'lgan ikkilamchi ionlar xarakteristikalarini o'lchashga asoslangan. Birlamchi musbat yoki manfiy ion qattiq jism sirti bilan ta'sirlashganda elastik yoki noelastik sochilishi, qayta zaryadlanishi, adsorbsiyalanishi yoki qattiq jism ichiga kirib ketishi mumkin.

Oxirgi holda ion qattiq jism atomlari bilan ko'p marotaba to'qnashishi natijasida (to'qnashuvlar kaskadi) energiyasini yuqotadi, neytirallashadi va panjaraga implantasiyalanishi yoki sochilish natijasida vakumga uchib chiqishi mumkin. Bunda sirt oldida joylashgan atomlarning bir qismi, panjaradagi atomlar aro bog'lanish energiyasidan kattaroq energiya oladi va sirt tamon harakatlanib, uni tark etish mumkin. Bu esa katod changishiga (neytral atomlar emissiyasi) va IIE ga (ikkilamchi musbat va manfiy ionlar emissiyasi) olib keladi. IIE yuzaga kelishi uchun, birlamchi ionlarning energiyasi, birlamchi ion tipi va namuna materialiga bog'liq bo'lgan bo'sag'a energiyasi qiymatidan kattaroq bo'lishi kerak. Masalan: Ar^+ ionlari bilan polikristall molibden bombardimon qilinganda, bo'sag'a energiyasi qiymati 80 eV ga teng, tantal uchun esa 60 eV. Geliy ionlari bilan qo'rg'oshin bombardimon qilinganda esa bo'sag'a energiyasi qiymati 30 eV. IIMS da quyidagi IIE ning miqdoriy xarakteristiklari o'lchanadi: Mass-spektral tarkib va ikkilamchi ionlar zaryadi (m/q nisbat bo'yicha);

$$k^{\pm} = \frac{n^{\pm}}{n_T^{\pm}}, \quad k_i^{\pm} = \frac{n^{\pm}}{n_T^{\pm}} \quad \text{va} \quad k_{nis}^{\pm} = \frac{k_i^{\pm}}{k_{et}^{\pm}}$$

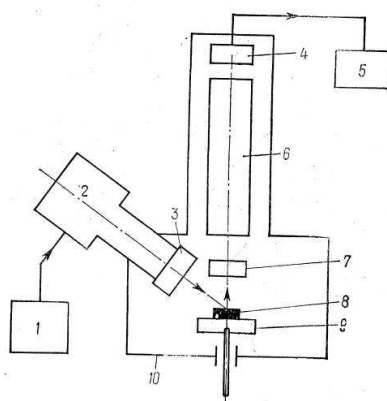
koeffisientlari, bu yerda $k_{et}^{\pm}$ - etalon elementning differensial IIE koeffisienti, $k_i^{\pm}$ - ikkilamchi ionlarning differensial chiqishi;

$$\gamma_i^{\pm} = \frac{k_i^{\pm}}{C_i} \quad (\text{bu yerda } C_i - i \text{ elementning namunadagi konsentratsiyasi})$$

$$S = \frac{n^0}{n_T^{\pm}} \quad \text{-changitish koeffisienti, } \alpha^{\pm} = \frac{K^{\pm}}{S} \quad \text{va} \quad \alpha_i^{\pm} = \frac{K_i^{\pm}}{S} \quad \text{- ionlanish darajasi,}$$

ikkilamchi ionlarning energetik taqsimoti va IIE koeffisientni birlamchi ionlar dastasining tushish burchagiga va ikkilamchi ionlarning chiqish burchagiya bog'liqligi.

Energetik taqsimot, burchak taqsimoti va IIE koeffisientlari ko'pchilik



tajriba parametrlari bilan belgilanadi: birlamchi ionlar tipi, energiyasi va tok zichligi; namuna materiyali tabiyati; uning harorati; atom va elektron strukturasini; ishchi kameradagi qoldiq gazlarning tarkibi va bosimi;

15.1.-rasm. IIMS uchun namunaviy asbobning sxemasi; 1-ion manbasining elektr ta'minoti; 2- ionlar manbasi; 3-birlamchi dasta optikasi; 4- ionlar kollektori; 5-qayd qilish sistemasi; 6-mass-analizator; 7-ikkilamchi dasta optikasi; 8-namuna; 9-manipulyator; 10- vakuum kamerasi.

Shuning uchun IIE xarakteristikalarini ixtiyoriy tajribaviy parametrga bog'liq ravishda o'lchab, qolgan parametrlarni o'zgarmas holda saqlab turiladi. O'lchash murakkabligi asosan ularning absolyut qiymatlari kichikligida ($10^{-1} \div 10^{-4}$) va material tabiati hamda uning sirtidagi kimyoviy holatning bu miqdorlarga kuchli ta'siridandir.

Umumiy holda ikkilamchi ionlarning masspektral tarkibi turli tipdagi ionlarni o'z ichiga oladi: asosiy materialning bir atomli ($q=1$ yoki $q>1$) ionlari; ko'p atomli klasterlarning ikki, uch va undan ko'p zaryadli ionlari; namuna hajmida va sirtida joylashgan kirishma atomlarning ionlari; kimyoviy birikmalar, shu jumladan asosiy materialning kislorod bilan, azot bilan, vodorod bilan va boshqa kirishmalar bilan hosil qilgan birikmalarining ionlari.

Demak, mass spektrdagi cho'qqilarning soni va joylashuvi, ularning amplitudasi materialning hajmdagi va sirt qatlamidagi kimyoviy holatiga juda ham bog'liq. Masspektrdagi dublet va tripletlarga mos keladigan cho'qqilarni ajrata olish uchun yuqori ajrata olish qobiliyatiga ega bo'lgan ($m/\Delta m > 1000$) mass analizatorlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Past va o'rta ajrata olish qobiliyatiga ega bo'lgan mass analizatorlarda ($m/\Delta m = 100 \div 400$) olingan masspektrlarni rasshifrofk qilishning murakkabligi shundaki, masspektrlar alohida elementlar masspektrlarining chiziqli superpozitsiyasi emas, chunki $k_i^{\pm}$ o'zaro kuchli farqlanadi. Bundan tashqari masspektr xarakteriga turli tipdagi ikkilamchi ionlarning energetik taqsimotdagi farqlari va namuna materialining strukturasini ham ta'sir qiladi.

IIMS ni birinchi navbatda metallar, yarim o'tgazgichlar va izolyatorlarning sirtini kimyoviy va izotop analiz qilish uchun qo'llashadi.

Analiz qilinayotgan element konsentratsiyasi bilan masspektrdagi cho'qqining orasidagi bog'lanish $\gamma_i^{\pm}$ orqali ifodalanadi. $k_i^{\pm}$ va C_i orasidagi chiziqli bog'lanishni to'g'ridan-to'g'ri analiz qilinayotgan elementni aniqlash uchun qo'llash mumkin.

Analiz qilinayotgan elementga qarab IIMS ning sezgirligi $10^{-3} \div 10^{-7} \%$ chegarasida yotadi. Eng kichik ionlashuv potensialiga ega bo'lgan elementlar uchun (K, Na, Li, Ca) u taxminan $10^{-9} \%$ gacha etishi mumkin.

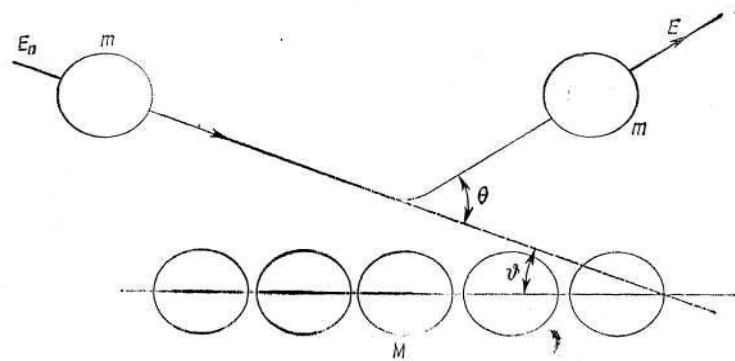
Ion bombardirovkasi natijasida sirtning asta-sekin emirilishi, IIMS ni qatma-qat analiz o'tkazish uchun, ya'ni sirtoldi qatlamlaridagi yoki yupqa plyonkalardagi kimyoviy elementlarning yoki birikmalarning qalinlik bo'yicha qanday taqsimlanganligini o'rganishda qo'llashga imkon beradi. Sirtoldi qatlamlari yoki yupqa plyonkalarga kimyoviy elementlar diffuziya, changlash, ion bilan legirlash yordamida kiritilgan bo'lish mumkin. IIMS yordamida to'g'ridan-to'g'ri sirtida kechayotgan jarayonlarni, masalan adsorbsiyani, katalizni, oksidlanishni tadqiq qilish zaruriyati tug'ilganda, sirtning ionlar ta'sirida buzilishini kamaytirish va birlamchi ionlarning o'rganilayotgan jarayonga ta'sirini susaytirish choralarini ko'rish kerak. Buning uchun kimyoviy neytral ionlar tanlanadi, ularning tok zichli ($10^{-8} \div 10^{-9} \text{ A/sm}^2$ gacha) va energiyasi ($1 \div 5 \text{ keV}$) past qilib olinadi, tajriba esa 10^{-7} Pa bosimdan yuqori bo'lmagan sharoitlarda o'tkaziladi. Bunday sharoitlarda IIMS metodi yordamida monoqatlam qoplamalarning yuzdan bir ulishini ham analiz qilish imkoniyati tug'iladi.

5.7. Sekin ionlarning sochilish spektroskopiyasi (SISS)

SISS metodi asosida monoenergetik birlamchi ionlar dastasining (energiyasi $0,1 \div 10 \text{ keV}$ oraliqda) qattiq jism sirti bilan ta'sirlashganda sochilishi hodisasi yotadi. Sochilgan ionlarning energetik taqsimotini o'lchash orqali, birlamchi ionlarning sirt qatlamidagi alohida atomlar bilan bir karra yoki ketma-ket juft to'qnashishdan kelib chiqadigan ularning energetik spektrini olish mumkin. Bir karra juft to'qnashishdagi sochilgan ionlarning energiyasi (rasm) quyidagi formula orqali hisoblanadi:

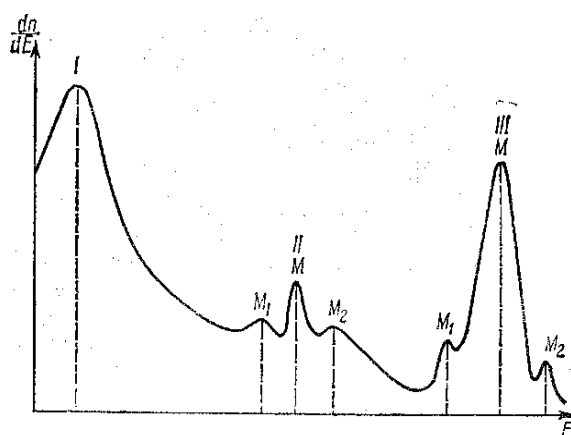
$$E = E_b \left(1 + \frac{M}{m}\right)^{-2} \left\{ \cos \theta + \left(\frac{M^2}{m^2} - \sin^2 \theta \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^2$$

Bu yerda M – namuna atomlarining atom massasi; m – birlamchi ionlarning massasi. Bu formula $M/m > 1$ bo'lganda, ya'ni energiya E sochilish burchagi θ va ta'sirlashuvchi massalar nisbati bilan aniqlanganda hamda ta'sirlashish potensialiga bog'liq bo'lmaganda o'rinli bo'ladi. Ko'pincha amaliyotda qo'llaniladigan $\theta = 90^\circ$ da, $E = E_b(M-m)/(M+m)$.



15-rasm. Bir karrali juft to'qnashish sxemasi: φ -sirpanish burchagi; θ -sochilish burchagi; m , E_p - mos ravishda birlamchi ionlarning massasi va energiyasi; E -sochilgan ionning energiyasi.

Shunday qilib, m , E_b , θ qiymatlarni bilib va E ni o'lchab, M ning qiymatini osongina hisoblab topish orqali sirt atomini identifikatsiyalash mumkin. Murakkab tarkibli materialni (mareial M massali atomlardan tashkil topgan, uning sirtida $M_1 < M$ va $M_2 > M$ massali kirishma atomlari bor) ionlar bilan bombardirovka qilishda qayd etilgan, sochilgan ionlarning energetik spektri bir karra elastik juft to'qnashishlar natijasida ionlarning sochilishiga mos keladi. Uchunchi sohadagi M cho'qqi birlamchi ionlarning M massali atomlaridan, M_1 va M_2 cho'qqilar ionlarning kirishma atomlaridan sochilishidan yuzaga kelgan. Ikkinchi sohadagi barcha cho'qqilar ionlashgan turtki atomlariga mos keladi. Cho'qqilarning amplitudasi sirdagi atomlarning miqdoriga va boshqa faktorlarga ham, xususan birlamchi ionlarning netrallashish ehtimoliyatiga ham bog'liq. $\theta > 90^\circ$ bo'lganda ionlashgan turtki atomlarining cho'qqilari energetik spektrni murakkablashtirmaydi. Eng yaxshi energetik ajrata olish holi M_1 , M_2 ga nisbatan bir necha barobar katta bo'lganda bo'ladi.



15.3.-rasm. Sochilgan ionlarning nazariy (----) va real (-) energetik spektrlari: I – sekin ionlar; II – ionlashgan turtki atomlar; III – sochilgan birlamchi ionlar.

Yaqin joylashgan atomlarda ketma-ket juft to'qnashganda sochilgan ionning E energiyasi nafaqat m , E_n θ larning, balki ta'sirlashish potensialining ham funksiyasi bo'ladi. Atom strukturasi tartiblashmagan materialni ionlar bilan bombardimon qilish natijasida ionlar sochilganda turli tuman atomlar juftligining konfiguratsiyalari ishtirok etadi. Shuning uchun elastik sochilgan ionlarning cho'qqilari past energiyali tarafga ham, yuqori energiyali tarafga ham yoyiladi hamda $E \rightarrow 0$ yo'nalishda fon yuzaga keladi.

Energetik spektrlarni analiz qilish natijasida to'g'tidan-to'g'ri material sirtining tarkibi haqida, ionlarning (kichik sochilish burchaklarida) burchak taqsimotlarini analiz qilish asosida esa sirt qatlamlarining strukturasi haqida ma'lumot olish mumkin.

Analiz qilinayotgan sirtning birinchi atom qatlamida u yoki bu element borligini va uning konsentratsiyasini SESS yordamida aniqlash hamda qatma-qat analiz o'tkazish mumkin.

Elementaviy analiz o'tkazilganda katta burchakka sochilgan ($\theta > 90^\circ$) inert gazlar ionlarining spektrlari olinadi. Engilroq gazlar bilan (He^+), ion bombardirovkasi amalga oshirilganda, analiz jarayonida sirt nisbatan kamroq buziladi. Birlamchi ionlarning energiyasi orttirilganda esa ularning neytrallashish ehtimoli pasayadi. Shuning uchun sirt tarkibini aniqlashda optimal $2 \div 3$ keV energiyali inert gazning ionlaridan foydalaniladi. Ajrata olish qobiliyatini oshirish maqsadida analiz qilinayotgan atom massasidan kam farq qiladigan massali ionlar qo'llaniladi. Sirt strukturasini analiz qilish uchun sochilgan ionlarda namoyon bo'ladigan barcha orintatsion effektlardan foydalaniladi.

Ekranlashish effektidan foydalanib, SISS ni begona atomlarning sirdagi joylashishini aniqlash uchun qo'llash mumkin.

Taglik atomlaridan va taglikdagi bir monoatomdan ko'p bo'lmagan miqdordagi begona zarralardan sochilgan ion cho'qqilari intensivliklarining nisbati sochilish burchagiga bog'liq, berilgan sochilish burchagida esa birlamchi va sochilgan ionlar dastalariga nisbatan sirtning orientatsiyasiga bog'liq.

5.7. Rezerfordning orqaga sochilish spektroskopiyasi.

1. Rezerfordning orqaga sochilish metodi (ROS)

ROS metodi birlamchi tez ionlar (energiyasi $0,1 \div 5$ MeV oraliqda) dastasining qattiq jism bilan ta'sirlashib orqaga sochilish hodisasiga asoslangan. Bu metodda sochilgan ionlarning energetik spektri olinadi. Rezerfordning sochilish nazariyasiga asosan M massali tez ionlarning orqaga sochilishi quyidagi shartlarda bajariladi:

$$\frac{b}{a} \ll 1 \quad \text{va} \quad b \gg \frac{\hbar}{\mu g} \quad \text{bu yerda} \quad a = \frac{a_0}{\left(Z_1^{\frac{2}{3}} + Z_2^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

E_R -Ridberg energiyasi (vodorod uchun 13.68 eV), E_d -atomni panjaradagi normal holatidan siljitish energiyasi (metallar uchun $E_d=20 \div 25$ eV). ROS metodida qo'llaniladigan energiyalar oralig'i $0,1 \div 5$ MeV ni tashkil etadi.

Energiyaning va impulsning saqlanish qonuniga binoan, $m < M$ bo'lganda, elasik to'qnashib θ burchakka sochilgan zarrachaning energiyasi quyidagi tenglama orqali hisoblanadi.

$$E = \left(m \cos \alpha + \sqrt{M^2 - m^2 \sin^2 \theta} \right)^2 (m + M)^{-2} E_b = k^2 E_b$$

ROS ning differensial kesimi quyidagi munosabat yordamida aniqlanadi:

$$\frac{\partial \delta}{\partial \Omega} = \frac{\left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2E_b} \right)^2 \left\{ \cos \theta + \left[1 - \left(\frac{m \sin \theta}{M} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^2}{\left[1 - \left(\frac{m \sin \theta}{M} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Bu yerda, $\partial \Omega = 2\pi \sin \theta d\theta$

Shunday qilib, analiz qilinayotgan material atomlaridan orqaga sochilgan ionlarning energetik spektrida to'qnashishlar yuzaga kelgan atomning massasi haqida ma'lumot bor. Orqaga sochilgan ionlar energiyasining to'qnashgan atom massasiga bog'liqligi, ROS metodi yordamida sirt qatlamlarini kimyoviy analiz qilishning asosida yotadi. ROS metodi yupqa plyonkalar qalinligini aniqlash imkonini ham beradi. Plyonkaning tashqi sirtidan sochilgan ionlarning

energiyasi maksimal $E_{\max}$, taglikda sochilgan ionlarniki esa minimal qiymatga $E_{\min}$ ega. Birlamchi ionlarning etarli darajada katta energiyalarida ROS yadrolarning bir karra kulon itarishidan amalga oshadi. Bunda ROS ning kesimi

$$\sigma \approx E_s^2, E_{\max} = k^2 E_b$$

Minimal energiya quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$E_{\min} = \left\{ \frac{E_b - dS(E_b)}{\cos \nu} \right\} k^2 - \frac{dS(E)}{\cos \theta}$$

Bu erda $S(E_b)$ va $S(E) - E_b$ va E energiyali ionlar uchun plyonka moddasining mos ravishda effektiv tormozlash qobiliyatlari. k – koeffisient, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$E = \left(m \cos \theta + \sqrt{M^2 - m^2 \sin^2 \theta} \right)^2 (m + M)^{-2} E_b = k^2 E_b$$

Plyonkadan sochilgan ionlarga mos keluvchi energetik spektr sohasining kengligi:

$$\Delta E = E_{\max} - E_{\min} = d \left\{ \frac{S(E_b)k^2}{\cos \nu} + \frac{S(E)}{\cos \theta} \right\}$$

Masalan, $d < 0,5$ mkm bo'lganda, $E_b = 2$ eV energiyali α -zarrachalar uchun 5% aniqlik bilan $\Delta E = S(E)d$. Agar plyonkaning effektiv tormozlash qobiliyati $S(E)$ ma'lum bo'lsa, unda ΔE -kenglikni o'lchab plyonkaning qalinligini aniqlash mumkin. Krishmalarning chuqurlik bo'yicha joylashishini identifikatsiyalash uchun barcha hollarda birlamchi va sochilgan α -zarrachalarning o'tish vaqtidagi ionizatsion yo'qotishlari hisoblanadi. Chuqurlik bo'yicha ajrata olish qobiliyati Δd , m ga va E_b ga, material atomi Z ga va apparaturaning energetik ajrata olishiga bog'liq. $E_b = 1 \div 2$ MeV va kollektorning energetik ajrata olishi $15 \div 20$ meV bo'lganda, $\Delta d = 10 \div 30$ nm. ROS metodi bilan monokristall ob'ektlar analiz qilinganda albatta ionlarning kanalashish, blokirovka va soyalar effektlarini hisobga olish kerak.

5.8. Ion-elektron emissiyasi metodlari.

Qattiq jism sirti bir necha eV dan 10 keV energiyali birlamchi ionlar dastasi bilan bombardimon qilinganda elektronlarning potensial emissiyasi ham, kinetik emissiyasi ham yuzaga keladi. Bu IEE turlari nafaqat energiyani uzatish

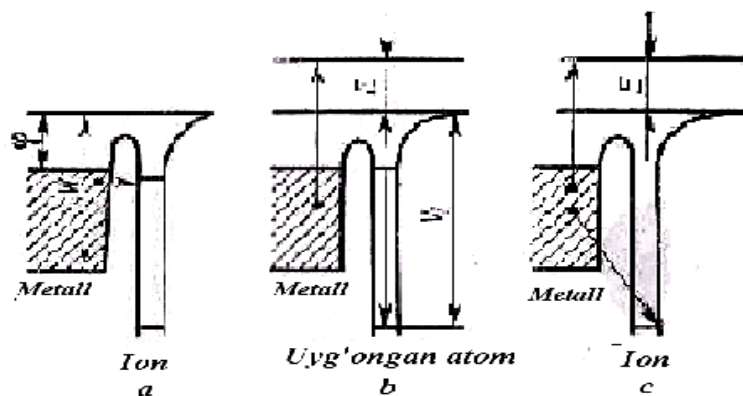
mexanizmlari bilan, balki uning manbalari hamda etarli darajada energiyali birlamchi ionlar (1 keV va undan yuqori) holida va energiyasi 0 ga yaqin bo'lgan birlamchi ionlar holida ham taxminan bir xil samaradorlik bilan kechadigan elektronlar kategoriyasi bilan ham farq qiladi. Potensial emissiya bo'lishi sharti:

$$eV_i > 2\phi$$

bu yerda V_i -birlamchi ionning ionizatsiya potentsiyali, ϕ - namuna materialining chiqish ishi. Potensial emissiyadan farqli kinetik emissiya qattiq jismni turli tabiatli ionlar bilan bombardirovka qilishda kuzatiladi va ionlarning zaryadiga bog'liq bo'lmaydi. Bundan tashqari bu emissiya turi faqat yuqoriroq energiyali ionlarda ($E > 1\text{ keV}$) yuz berib, ionlar energiyasi oshirilganda sezilarli ortadi. IEE ning miqdoriy xarakteristikasi γ (u birlamchi ionga to'g'ri keladigan urib chiqarilgan elektronlar sonini xarakterlaydi) va urib chiqarilgan elektronlarning energetik spektridir. γ potensial emissiya koeffisienti γ_{pot} bilan kinetik emissiya koeffisientining γ_{kin} yig'indisiga teng.

$$\gamma = \gamma_{pot} + \gamma_{kin}$$

Ko'rsatilgan parametrlar aniqlanadigan metodlarga ion-neytralizasion spektroskopiyasi (INS), ion Oje-spektroskopiyasi (IOS) va IEE koeffisientlarini o'lchashga asoslangan metodlar kiradi.



Rasm Birlamchi ion-metall sistemasidagi elektron o'tishlar sxemasi:

a-rezonans o'tish; b-uyg'ongan atomning Oje-relaksasiyasi; s-ionning Oje-neytralizasiyasi;

5.9.Changlatilgan zarralarning optik spektroskopiyasi.

Qattiq jism sirtini tez ionlar bilan bombardimon qilganda zarrachalar bir qismi sirtini o'yg'otgan atomlar, malekulalar hamda ionlar ko'rinishida tark etadi. Bu zarralar tarkibiga oldindan namunaga kirib olgan birlamchi ionlar

ham kiradi. O'yg'ongan zarralar sekin ($E \approx 10-100$ eV) va tez (energiyasi birlamchi ionlar energiyasiga yaqin) zarrachalardan iborad. Sekin ionlar birlamchi ionlarning bir marotaba to'qnashuvi natijasida, tezlari esa qattiq jism sirtidagi atomlar bilan birlamchi ionlarning bir marotaba tuqnashuvi natijasida paydo bo'ladi. Sirt bilan endi ta'sirlashmayotgan zarrachalar miqdori ularni hosil bo'lish ehtimoli sirtidan atom o'lchamlari tartibidagi masofa yuz beradigan yirli noradioatsion jarayonlar bo'lish ehtimoliga (rezonansli ionezatsiya bo'lib keyinchalik rezonans yoki oksi-relaksiya bo'lishi) orqali belgilanadi.

Sirtidan bir masofada uyg'angan zarrachaning bo'lish ehtimolligi p quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$p = \exp \int_0^E \lambda(l) \frac{dl}{v_{\perp}}$$

$\lambda(l)$ -nopadiotsion jarayonlar bo'lish ehtimolligi, $v_{\perp}$ - emissiyalangan zarracha tezligining normal tashkil etuvchisi. Uyg'ongan zarrachaning energiya yuqotish jarayoning ening ehtimolligi rezonans jarayonidir. Radiatsion o'tosh natijasida bo'nday qoyish odatda harakteristk rentgen nurlanishi bo'lgan elektromagnit nurlanishda hosil bo'lishga olib keladi. Uning spektri ultrabinafshadan infraqizil sohalarni qamrab oladi. Uyg'ongan atom (atom ionlari) energiya yuqotganda chiziqli spepektr, uyg'ongan molekula (molekula ioni) bo'lsa, tasmali spektr yuzaga keladi. Chiziqli spektrdagi ehg intensiv chiziqlar odatda modda atomi (atom ioni) va birlamchi ionlar rezonans chiziqlariga to'g'ri keladi. Bitta tanlab olingan material uchun nurlanishning spektral tarkibi va intensiyligi birlamchi ionlar zaryadiga bog'liq emas.

Birlamchi ionlar energiyasi o'zgarmas bo'lganda nurlanish intensivligi ion atom nomiri oshib borgan sari (agar ion kimyoviy aktev bo'lmasa) oshadi. Birlamchi ionlarning kimyoviy aktevligi nurlanish intensivligiga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Ba'zida esa uning spektral tarkibiga ham ta'sir ko'rsatish mumkin. Nurlanish intensivligi sirt holati, namuna yonidagi qoldiq gazlar va bosimga juda sezgir.

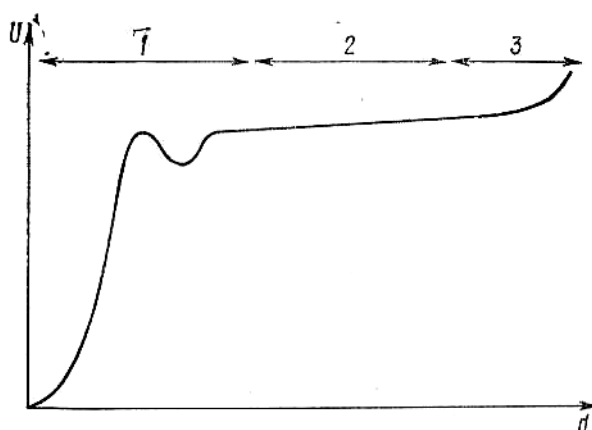
Bu metod asosan to'g'ridan-to'g'ri moddaning kimyoviy tarkibini aniqlashda, aralashmalarning chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini o'rganishda, sirt kimyoviy tarkibini nazorat qilishda, oksidlanish, diffuziya gazlar adsorbsiyasini tadqiq qilishda qo'llaniladi.

Kirishmalarni aniqlash sezgirligi bo'yicha esa ikkilamchi ionlar masspektrometriyasi metodi sezgirligiga yaqinlashadi.

6.BOB. Ion Oje-spektroskopiyasi.

6.1. Miltillama razryad mass-spektrometriyasi.

Katodni changitish uchun ionlarni manbasi sifatida, inert gaz muhitidagi miltillama razryadda yuzaga keladigan plazma bo'lishi mumkin. Miltillama razryad gazlardagi turg'un elektr razryadining bir ko'rinishi bo'lib, u katod va anod oralig'iga bir necha yuz volt kuchlanishlar farqi berilganda va gaz bosimi atmosfera bosimidan to bir necha Paskallar oralig'ida bo'lganda yuzaga keladi.



2-rasm Fazoviy zaryadlarining joylashuviga qarab, yelektrodlar oralig'iga berilgan kuchlanishning taqsimlanishi: 1-katod tushuvi sohasi; 2-musbat ustun; 3-anod tushuvi sohasi.

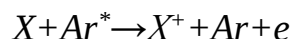
Berilgan kuchlanishning asosiy qismi qorong'i katod fazosida tushadi, katod va anod fazolari oralig'idagi sohada (musbat ustun) esa kuchlanishning tushuvi hisobga olmas darajada. Elektrodlar orasidagi kuchlanish kritik kuchlanishga etganda gaz fazosi teshiladi va buning natijasida avtoelektronlar oqimi yuzaga keladi. Avtoelektronlar katoddan anodga qarab harakatlanishida, katod oldi fazosi sohasida ularning energiyasi ortadi va fazoning chegarasida gaz molekulalarini ionlashtirish hamda miltillama razryad yuz berishi uchun etarli energiyaga erishadi. Bu esa katod va anod oralig'idagi turg'un o'tkazuvchanlikka olib keladi.

Katod va anod oralig'idagi elektronlar va ionlar diffuziya tufayli harakatlanadi. Qorong'i katod fazosiga etib kelgan ionlar juda tez tezlashadi va katod bilan to'qnashadi. Buning natijasida ion elektron emissiyasi va katodning changishi (katod material atomlarning emissiyasi) ro'y beradi. Elektronlar emissiyasi bir xil sonli musbat va manfiy zarrali miltillama razryadni tutub

turish uchun zarur. Elektrodlar orasidagi kuchlanish (yonish kuchlanishi) asosan uch parametrga bog'liq: p -bosim, d -elektrodlar orasidagi masofa va j -tok zijligi. Pd ko'paytma va j oshirilganda miltillama razryadning ikki turi vujudga kelishi mumkin: normal va anomal (zich). Ularning birinchisida elektronlar faqat katod sirtining bir qismidan emissiyalanadi, bunda U va j o'zgarmas qolib, emissiyaning toki ortishi elektronlar emissiyalanayotgan katod yuzasining kengayishi hisobiga yuz beradi. Anomal miltillama zaryadda esa emissiya tokining ortishi U va j ning ortishiga olib keladi. Birlik vaqtda ishchi gaz ionlari changitgan katod moddasining miqdori θ quyidagi munosabat yordamida aniqlanadi:

$$\theta = \frac{kUI}{Pd}$$

Bu yerda k -const, I -miltillama razryad toki. Changitilgan zarralarning asosiy qismi neytral holda bo'ladi. Miltillama razryadga tushgan neytral zarrachalar Penning mexanizmi bo'yicha ionlashadi, ya'ni ular gazning uyg'ongan atomlaridan energiya uzatilishi hisobiga ionlashadi. Masalan, argon Ar metaturg'un holatda bo'lsa, qo'yidagi sxema bo'yicha:



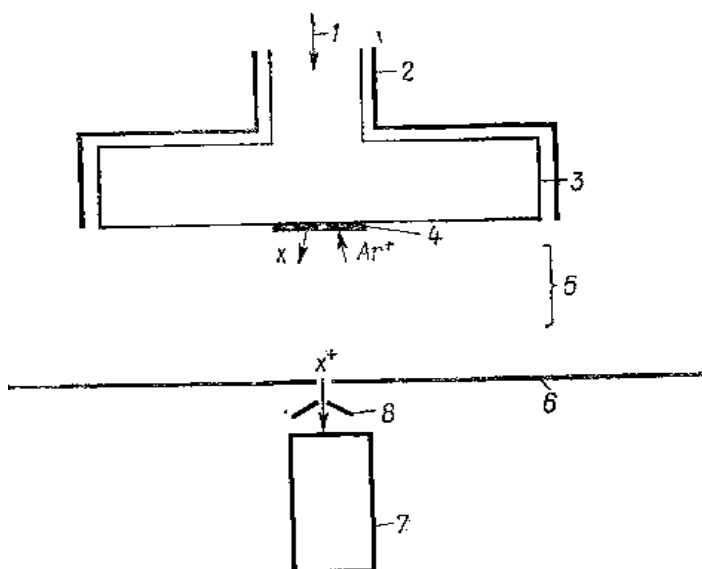
Bu yerda X -changitilgan atom. Changitilgan atomlarning ionlanishi bir necha foizga etishi mumkin. MRMS ni qalinligi 100 nm tartibida bo'lgan yupqa metal, yarim o'tgazgich va oksid plyonkalarni qatma-qat analiz qilish uchun qo'llaniladi. Analiz sezgirligi $0,04 \%$ ni tashkil etadi. Qatma-qat ajrata olish analiz qilinayotgan plenka qalinligining $2 \div 7 \%$ chegarasida yotadi. MRMSning konkret element bo'yicha

sezgirligi elementning fiziko-ximiyoviy holatiga va namunadagi konsentrasiyasiga sust bog'liq. MRMSning analitik metod sifatida qo'llanishiga qarshi asosiy cheklovlar fazoviy ajrata olishning yo'qligi (namuna sirtining butun yuzasi bir vaqtda changiydi)

va na faqat namuna balki namuna o'rnatilgan material changishi hamda qoldiq gaz molekulalari ionlanishi tufayli olingan masspektrlarni rasshifrovka qilish murakkabligidir.

MRMS yordamida sirtni analiz qilish uchun asbobning sxemasi:

- 1 – yuqori chastotali quvvatni kiritgich.
- 2 – yerga ulangan ekran.
- 3 – namunani ushlab turish.
- 4 – namuna.
- 5 – razryad sohasi.
- 6 – anod.
- 7 – kvadropol masspektrometri.
- 8 – masspektrometriya yunaltruvchi ionlar dastasini shakillantiruvchi



elektrod.

2-BOB. Noelektrik kattaliklarni elektr o'lchash usullarida niqlash

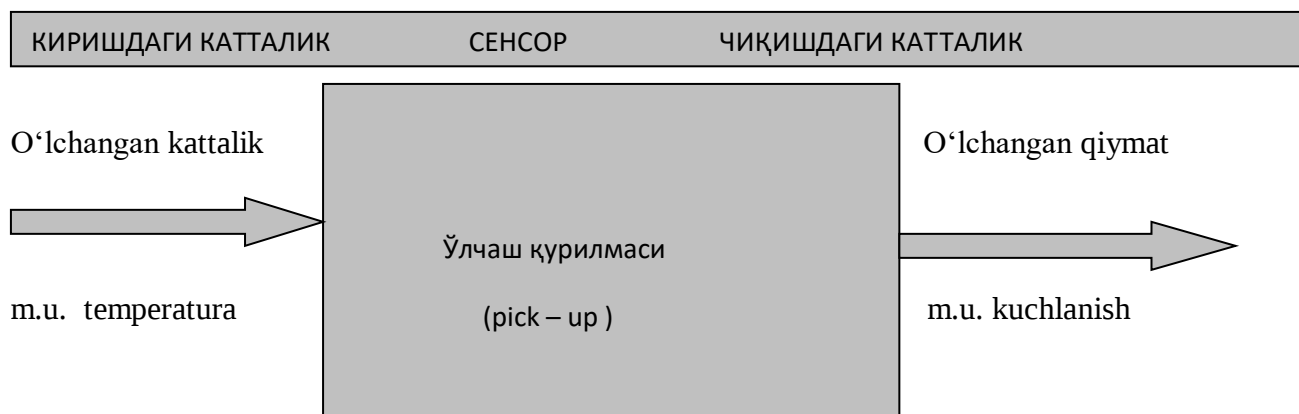
2.1 Umumiy tushinchalar

2.1.1 Sensor texnologiyalariga kirish

Sensor texnologiyalari iborasi o'lchashlar va o'lchangan kattalik qiymatlarini o'zgartirishlarga nisbatan, ko'p hollarda kodlangan signallarga bog'langan holda, ishlatiladi. Noelektr va elektr kattaliklarni aniqlash vositalari "pick – up" (olib uzatish) – "sensor" deb ataladi. "Sensor" tushunchasi o'lchash qurilmasining o'lchanadigan kattalikning qiymatini sezib olib, o'lchash qurilmasining kirishiga uzatadigan alohida va mustaqil qismini bildiradi.

Biz sensor bu sezgir element bo'lib, fizik kattalikni bevosita sezib, elektr kattalikka o'zgartirib beradigan qurilma, o'lchash sensori deb bilardik. Integral

elektronikaning jadalli rivojlanishi o'lchash sensori va o'lchangan kattalik qiymatlarini qayta ishlash qurilmasi orasidagi chegarani o'rnatishni ancha mushkullashtirib qo'ydi. Shu kundagi tushunchada sensor bu o'lchash sensori, interfeys elektronikasi bo'lishi doyim talab etilmaydigan, displeydan tashkil topgan yagona o'lchash qurilmasi deb tushiniladi. Sensorlar turli fizik kattaliklarni sezish uchun yaratilgan. Ularda fizik kattalik qiymatining vaqt mobaynida o'zgarishi elektr kattalikning o'zgarishiga o'zgartiriladi. Ko'p hollarda, sensorning chiqish kattaligi kuchlanish yoki tok bo'ladi. Lekin, sensorning chiqishidan kuchlanish chastotasi yoki qarshilikning o'zgarishlarini ham olishimiz mumkin. Sensorning ishlash prinsipi 1.2 – rasmda keltirilgan.



2.1 – rasm Sensorning ishlash prinsipi

Agar sensor o'lchash sensori bilan birga , olingan signal xatoliklarini to'g'rilash, linearizatsiya qilish , o'lchash natijasini hisoblash va tashqi ta'sir natijalarini olib tashlash amallarini bajaradigan , mikrokontroller bilan butlangan bo'lsa, bunday sensor” aqilli sensor”, ”intelegent sensor” yoki “smart sensor – uddaburon sensor” deb ataladi. 2.2 – rasm “sensor” iborasini rivojlanishini ko'rsatadi.

Noelektr ►noelektr konversiyasi	=	sensor iborasining tor ma'nodagi tushunchasi
Noelektr ►elektr konversiyasi	=	pick up (olib uzatuvchi , datchik)
Signilni muvofiqlashtirish, uni olib, displeyga chiqarish tushunchasi	=	sensor iborasining keng ma'nodagi
Sensor + analog/raqam o'zgartgichi	=	raqamli sensor
Raqamli sensor + mikrokontroller	=	intelegent sensor (uddaburon sensor)

2.2 – rasm “Sensor” tushunchasining rivojlanishi

Mexanik kattaliklarni elektr usullarda o'lchashning quyidagi afzalliklari bor:

- Kattalikning o'lchangan qiymatlari uzoq masofaga uzatilishi mumkin
- O'lchash yeri bilan natijani nazorat qilish joylari boshqa bo'lishi mumkin

- Ko‘p sonli sensorlardan olingan o‘lchash natijalari markazlashgan holda qayta ishlanishi mumkin (kompyuterda)
- O‘lchash usullari sodda va qimmat emas
- O‘lchangan kattalik qiymatlari elektron sxemalarda muvofiqlantirilishi mumkin

O‘lchangan kattaliklar elektron sxemalarda muvofiqlashtirilishi bilan birga boshqa - akustik yoki mexanik kattaliklarga qayta o‘zgartirilishi mumkin. Zamonaviy o‘zgargich qurilmalari *aktor* deb ataladi. Sanoatdagi texnik jarayonni nazorat qilish uchun sensor, signallarni muvofiqlashtirish sxemalari va aktorlar kerak bo‘ladi (2.3 – rasm).



1.3 – rasm Texnik jarayonning ifodasi

2.1.2 Ideal sensor

Tashqaridan sensorga kelgan, tabiati mexanik, elektrik, kimyoviy yoki issiqlik bo‘lgan energiya unda elektrik energiyaga o‘zgartiriladi. “Ideal” sensor o‘zgartirishni yoqotishlarsiz bajaradi. Bosimni o‘lchash uchun ishlatiladigan sensorning o‘zi xech deformatsiya bo‘lmasligi va bukilmasligi kerak va buni ta’minlash uchun cheksiz qattiq bo‘lishi kerak yoki vibratsiyani o‘lchash uchun ishlatiladigan sensor yoqotishlarsiz ishlashi uchun cheksiz elastiklikka ega bo‘lishi kerak. Bu talablar, albatta, sensor yaratilishida doyim nazarda tutiladigan maqsad bo‘lib, deyarli barcha fizikaviy hodisa sensorni yaratishga asos bo‘lishi mumkin. Turli masalalar o‘lchash natijalariga turlicha talab qo‘ygani sababli texnikada sensorlarning juda ko‘p turlari mavjud.

2.1.3 Aktiv va passiv sensorlar

Barcha sensorlar aktiv va passiv kategoriyaga bo‘linishi mumkin. *Aktiv* sensorlarda o‘lchanadigan kattalik, qo‘shimcha energiya sarflanmasdan, elektr kattaligiga o‘zgartiriladi. Termojuftlar, elektrodinamik sistemalar (generatorlar), fotoelementlar va p`yezoelementlar shu kategoriyaning keng tarqalgan sensorlarini tashkil qiladi.

Aksincha, sensor fizik kattalikning bir turini elektr kattalikka o‘zgartirishi uchun qo‘shimcha energiya manbayi talab bo‘lsa, biz *passiv* sensor bilan

ishlagan bo‘lamiz. Rezistiv sensor (potensiometr, NTC/PTC rezistorlar, tenzorezistorlar) , fotorezistor, sig‘im sensorlari (o‘zgaruvchan sig‘im va yassi sig‘imlar), induktiv sensorlar (o‘zakli induktiv g‘altak) va magnit sensorlar (magnit rezistor) passiv sensorlar kategoriyasini tashkil qiladi.

Metrologiyada qo‘llaniladigan sensorlarda o‘z ifodasini topgan eng muhim fizikaviy effektlar (xodisalar) ro‘yxati 2.4 – rasmda keltirilgan.

2.4- rasm

Fizikaviy effekt	Effektning ishlatish soxalari
Qarshilikni o‘zgarishi	potensiometrdan proporsional olish ; rezistiv materialning uzunligini o‘zgartirish ; rezistiv materialning diametrini o‘zgartirish; magnit maydonini ta’sirida o‘zgartirish; isitish ta’sirida o‘zgarishi; umumiy radiatsiya ta’sirida o‘zgarish; radioaktiv nurlar ta’sirida o‘zgarish.
Sig‘imni o‘zgarishi	plastinalar orasidagi masofani o‘zgartirish bilan; plastinalar yuzasining maydonini o‘zgartirish bilan; dielektrik ta’sirida.
P`yezo- elektrik effekt	uzunlikni o‘zgarishi; shaklni o‘zgarishi.
Induktivlikning o‘zgarishi	induktiv g‘altakning magnit o‘zagining o‘rni o‘zgarishi; magnit o‘zakdagi nomagnit qirtish kengligining o‘zgarishi .
Magnitostriksiya effekti	uzunlikni o‘zgarishi
Maydon effekti; Xoll effekti	magnit maydonning o‘zgarishi
Elektrodinamik effekt	xarakat; maydon o‘zgarishi.
Termo-elektrik effekt	temperaturaning o‘zgarishi
Foto – elektrik effekt	umumiy radiatsiya

Sensorlarning ishlash prinsipiga asos bo‘lgan fizikaviy hodisa bilan birga aniq sensor qanday kattalikni o‘lchash uchun ishlatilishi ham ahamiyatga ega. 2.5 – rasmda passiv sensorlar va 2.6 – rasmda aktiv sensorlar va muvofiq o‘lchanadigan kattaliklar ro‘yxati keltirilgan.

Passiv sensorlar	O‘lchanadigan kattalik
Rezistiv sensorlar: Potensiometrlar	siljish; burchak; qalinlik

Tenzorezistorlar	kuch; bosim; choʻzilish; buralish darajasi va burchagi; aylantiruvchi moment
Qarshilik termometrlari (Pt -100; NTC /PTC rezistorlari)	temperatura; issiqlik miqdori; oqim
Fotorezistor; fotodiod; fototranzistor; fototiristor	optik kattaliklar (yorugʻlik kuchi); siljish; tutun zichligi; loyqalik darajasi; namlik
Doyimiy magnit; magnitli diod; magnitli tranzistor; Xoll generatori	magnit kattaliklar (magnit oqim; magnit oqim zichligi; magnit maydonining kuchi; magnit kuchlanish)
Pitran tranzistori	akustik kattaliklar (tovushning bosimi; tovushning balandligi)
Yarimoʻtkazgichli radiatsiya detektorlari	radioaktivlik kattaliklari
Ionizatsion tutun detektorlari Gaz sensorlari	tutun zichligi SO ₂ miqdori, va x.k.
Induktiv sensorlar: Xarakatlanadigan magnit oʻzakli induktiv gʻaltak Induktiv proksimal sensor	
	siljish; burchak aylanish tezligi; aylantiruvchi moment; buyumlar soni
Sigʻimli sensorlar : Oʻzgaruvchan sigʻim Sigʻimli proksimal sensorlar	
	siljish; burchak aylanish tezligi; toʻldirilish sathi; bosimlar farqi
Magnitli sensorlar: Doyimiy magnit; Xoll generatori	
	siljish; burchak; aylanish tezligi
Fotoelektrik sensorlar : Inkremental sensorlar (odimli sensorlar), mutlaq sensorlar (raqam va burchak enkoderlari)	
	siljish; burchak
Boshqa sensorlar: Transformatorli sensorlar Radiaktiv sensorlar	
	siljish; burchak; buralish siljish; zichlik; qalinlik; namlik

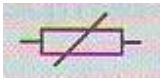
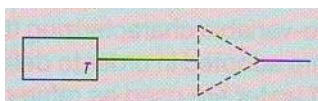
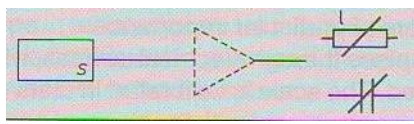
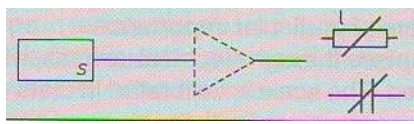
2.5– rasm Passiv sensorlar

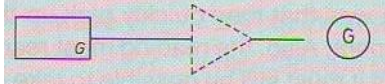
Funksional va blok – sxemalarda sensorlar oʻrnatilgan shartli belgilar vositasida koʻrsatiladi. Bu belgilar shakli, ichiga funksional vazifasini ifodalovchi xarf yozilgan, toʻrtburchakdan iborat. Misol uchun, T – temperatura, S- uzunlik, xolat yoki masofa / qirtishni oʻlchaydigan sensor belgilari. Grafik simvol va belgilar sensorni turini ham koʻrsatadi. 2.7- rasmda sensorlarni blok –

sxemalarda ifodalash uchun ishlatiladigan shartli belgilardan namunalar keltirilgan. Jadvalning ohirgi ustunida sensorning ta'rfi berilgan.

Aktiv sensorlar	o'lchanadigan kattalik
Termojuft	temperatura radiatsiya
Fotoelement	yorug'lik kattaliklari temperatura siljish va burchak
Kvarsli sensorlar (p`yezoelektrik sensorlar)	kuch bosim tezlanish tebranishlar
Induktiv elektromagnit sensorlar	aylanish tezligi tezlanish tebranishlar oqim
Elektroximik elektrodlar	rN – ko'rsatgichi redoks potensial

2.6– rasm Aktiv sensorlar

Fizik kattalik	Sensor	Ta'rif
Temperatura		rezistiv termometr
		Pt – 100 DIN Qarshiligi100
		Termojuft Temir / konstantan termojufti
		Bimetal termometri
Masofa / qirtish; uzunlik; pozitsiya		rezistor turidagi sensor
		sig'imli enkoder

Tezlik;	
aylanish tezligi;	
	taxogenerator chastota

2.7–rasm Asosiy sensorlarning shartli belgilari

Sensorlarning kommutatsiya qilish yoki o‘lchash chegaralarini ko‘rsatish kabi qo‘shimcha funksiyalari ham grafik belgilarida ifodalanishi mumkin. Ba’zi sxemalarda sensorlarning funksional vazifasini aniqroq aks etish uchun, ular o‘zgartgich belgilari bilan ham ko‘rsatiladi (2.8 – rasm).



Temperatura /
kuchlanish
chastota

Bosim /
kuchlanish

Chastota /
kuchlanish

Kuchlanish /
tok

Aylanish
tezligi /

2.8 – rasm Kattalik o‘zgartgichlarining shartli belgilari

Shartli belgilardagi diagonal chiziq ma’lum noelektr kattalikni elektr kattalikka va, aksincha, elektr kattalikni noelektr kattalikka hamda analog signalni raqamli va raqamli signalni analog signalga o‘zgartirilishini ko‘rsatadi.

Barcha sensor turlari va ularning ishlash prinsiplarini ko‘rsatish vazifasi ushbu kitobning maqsadlariga kirmagan.

2.3. Temperaturani o‘lchash

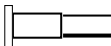
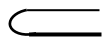
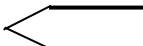
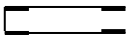
Temperatura termodinamik o‘zgaruvchi kattalik bo‘lib, jismlarning issiqlik xolatini aks etadi. Reproduktiv (qayta tiklanuvchi) jarayonlar uning qiymatini belgilashga asos bo‘lgan. Suvning muzlash va qaynash nuqtalari “°S” selsiy temperatura shkalasini yaratishga asos bo‘lgan. Suvning muzlash nuqtasi 0 °S, qaynash nuqtasi esa 100 °S etib belgilab olingan. Bu shkala yuz gradusli temperatura shkalasi yoki selsiy shkalasi deb ataladi.

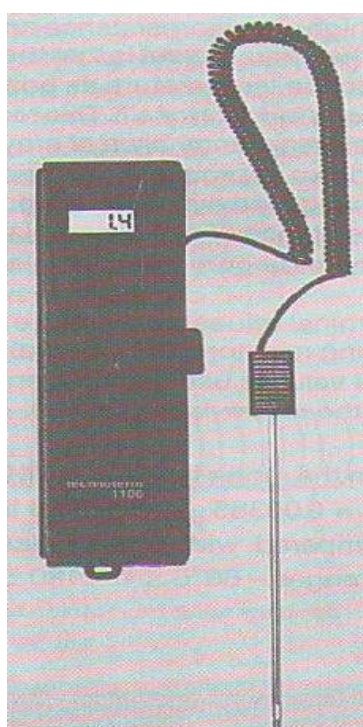
Jismlarning temperaturaga bog‘liq bo‘lgan xususiyatlari temperaturani o‘lchash uchun ishlatiladi. Jismlarning issiqlikdan kengayishi suyuqlik va bimetal termometrlarining ishlashiga, elektr qarshiligining temperaturaga bog‘liqligi elektr termometrlarning, radiatsiya esa pirometrlarning ishlashiga asos qilib olingan.

Metal yoki yarimoʻtkazgich materialidan yaratilgan qarshilik sensorlari va termojuftlar ishlash prinsipi temperaturani elektr kattalikka oʻzgartirishga asoslangan sensorlarning eng keng tarqalgani va muhimidir.

Temperaturani oʻlchash uchun ishlatiladigan asboblarning elektron blok va sensordan iborat boʻladi. Uning shkalasi temperatura birliklarida kalibrlangan boʻladi. Temperaturani oʻlchash uchun asbobni ishga tushirib, sensorni temperaturani oʻlchash yeriga kiritilsa bas, natija asbobning displeyida paydo boʻladi. Sensor temperaturasi boshqa boʻlgan yerga kiritilishi bilan asbob displeyida natija oʻzgara boshlaydi. Bu asbobning sezgirligiga bogʻliq. 2.9 – rasmda shunday temperaturani oʻlchash asboblardan biri keltirilgan.

t_{gg} : natija qiymatining 99 % ni aks etishiga ketgan

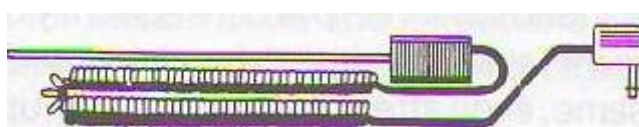
Sensor belgisi	Turi	t_{gg} (s)
	Yuzaki sensor	57
	Botiriladigan sensor	6
	Kiritiladigan sensor	10
	Xavoda oʻlchaydigan sensor	70



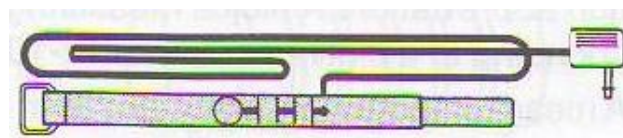
Kalta elektrodli bevosita ulanadigan sensor



Uzun sim (1,5 m) yordamida ulanadigan sensor



Uzun sim bilan ulanadigan dastakli sensor



Sensorni fisatsiya qilish vositasi

2.2.1 Qarshilikni o‘lchash sensorlari (qarshilik termometrlari) bilan temperaturani o‘lchash

Temperaturani o‘lchash uchun ishlatiladigan qarshilik sensorlarining (qarshilik termometrlari) ishlash prinsipi metallarning elektr qarshiligining temperaturaga bog‘liqligiga asoslangan. Metallar elektr qarshiligining temperaturani o‘zgarishiga nisbatan o‘zgarishi har bir metall uchun aniq va o‘zgarmas qiymatga ega bo‘lgani sababli, uni “ α – temperatura koeffitsienti” deb atashgan. Bu temperatura koeffitsienti 0°S va 100°S oralig‘i uchun o‘rnatiladi. Metallni elektr qarshiligining temperaturaga bog‘liqligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \text{ bunda } R_{\theta} - \text{temperatura } \theta \text{ bo‘lgandagi qarshiligi, } \Omega$$
$$R_0 - \text{temperatura } \theta = 0^{\circ}\text{C bo‘lgandagi qarshiligi, } \Omega$$
$$\alpha - \text{temperatura koeffitsienti, } \frac{1}{K}$$
$$\Delta T - \text{temperaturalar farqi, } K$$

Temperatura koeffitsienti va solishtirma qarshiligi katta bo‘lgan materiallar qarshilik termometrlarini yaratishga yaraydi. Materiallarga qo‘yiladigan keyingi talab bu uning temperatura koeffitsienti temperaturaga iloji boricha kam bog‘liq bo‘lishi, qarshilikning temperatura xarakteristikasi $R_{\theta} = f(\Delta T)$ temperaturani o‘lchash diapazonida chiziqli bo‘lishi. Bunday talablarga eng yaxshi javob bergan metallar bu nikel va platina. Bu metallarning qarshiligi, temperaturasini qancha marotaba ko‘tarib, tushirsa ham, ma‘lum temperaturalarda ma‘lum aniq qiymatlarga ega bo‘lib turaveradi, ya‘ni ularning temperatura xarakteristikalari mo‘tadilligi bilan ajralib turadi. Bu metallarning nisbatan katta solishtirma qarshiligi ulardan sensor yaratishda kam sim ketishini ta‘minlaydi va sensorning o‘lchamlari kichik bo‘ladi. Qarshilik termometrlari mis simidan ham yaratiladi.

Qarshilik termometrlari standart xarakteristikalariga ega bo‘lishi shart, chunki ular ishdan chiqqanda, boshqasi bilan almashtirilish imkoni bo‘lishi kerak. Shuning uchun ularning nominal qarshiliklari standart qiymatlarga ega bo‘ladi. Nikel va platinali qarshilik termometrlarning temperaturasi 0°S nominal qarshiligi $R_0 = 100 \Omega$ bo‘ladi. Qarshilik termometrlarining nominal qarshiligi ularni belgisida yoziladi. Nikelli qarshilik termometri Ni – 100, platinaligisi esa – Pt – 100 belgisi bilan belgilanadi.

Nikelning temperatura koeffitsientining o‘rtacha qiymati temperatura 0°S dan 100°S gacha $\alpha = 0,00618 \frac{1}{K}$ ga teng. 2.10 – rasmda Ni -100 va Pt – 100 qarshilik termometrlarining ishlash temperatura $-60^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 180^{\circ}\text{C}$ (Ni-100) va $-200^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 850^{\circ}\text{C}$ (Pt – 100) diapazonlarida $R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$ formulasi bo‘yicha hisoblangan qarshilik qiymatlari keltirilgan.

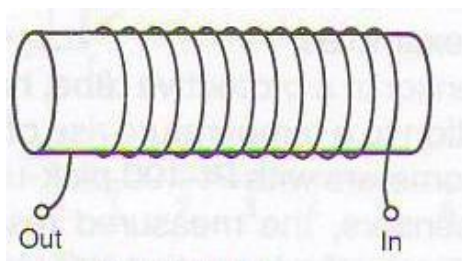
Pt – 100 platinali qarshilik termometrlarining ikki aniqlik sinfdagi A va V turlari mavjud. V sinfiga mansub qarshilik termometrlari amaliy oʻlchashlarni bajarish uchun ishlatiladi. Aniq oʻlchashlarni bajarish uchun aniqligi yuqori boʻlgan A sinfdagi qarshilik termometrlari ishlatiladi, lekin ularning ishlash temperaturalari 650 °S bilan chegaralanadi. DIN 43 760 standartida platinali qarshilik termometrlari uchun temperaturalarga muvofiq qarshilik qiymatlari jadval shaklida keltirilgan. Texnikada, baʼzi xollarda, nominal qarshiligi yuqori boʻlgan qarshilik termometrlari ham ishlatiladi.

Nominal qarshiligi 100 Ω li nikelli qarshilik termometri (begisi: Ni – 100)				
Oʻrtacha temperatura				
koeffitsienti α		$\alpha = 0,00618 \frac{1}{K}$		
(0 °S dan 100 °S gacha)				
Temperaturani oʻlchash diapazoni :		- 60 °S dan + 150 °S gacha		
Asosiy qiymatlari:				
Oʻlchangan temperatura	- 60 °S	0 °S	100 °S	
Qarshiligi	69,5 ± 1,0 Ω	100,0 ± 0,2 Ω	161,8 ± 0,8 Ω	
Nominal qarshiligi 100 Ω li platinali qarshilik termometri (belgisi: Pt- 100)				
Oʻrtacha temperatura				
koeffitsienti α		$\alpha = 0,00358 \frac{1}{K}$		
(0°S dan 100 °S gacha)				
Temperaturani oʻlchash diapazoni		- 200 °S dan 650 °S gacha (A –sinf); 850 °S gacha (V – sinf)		
Asosiy qiymatlari:				
Oʻlchangan temperatura	- 200°S	0 °S	200 °S	400°S
Qarshiligi				
(A – sinfi)	18,49 ± 0,24 Ω	100,00 ± 0,13 Ω	175,84 ± 0,20 Ω	247 ± 0,33 Ω
(V – sinfi)	18,49 ± 0,56 Ω	100,00 ± 0,30 Ω	175,84 ± 0,48 Ω	247,04 ± 0,79Ω

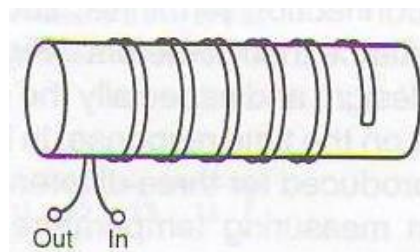
2.10 – rasm Ni – 100 va Pt – 100 qarshilik termometrlarining qarshiliklari va ruhsat etilgan chekinishlari

Qarshilik termometrlarining rezistiv elementi juda ingichka nikel va platina simlaridan ishlab chiqariladi. Simlarning diametrlari 0,05 dan 0,3 mm gacha

bo'ladi. Sim dielektrik karkas ustiga to'g'ri va bifilyar usulida o'raladi. Ularning farqi 2.11 – rasmda ko'rsatilgan.



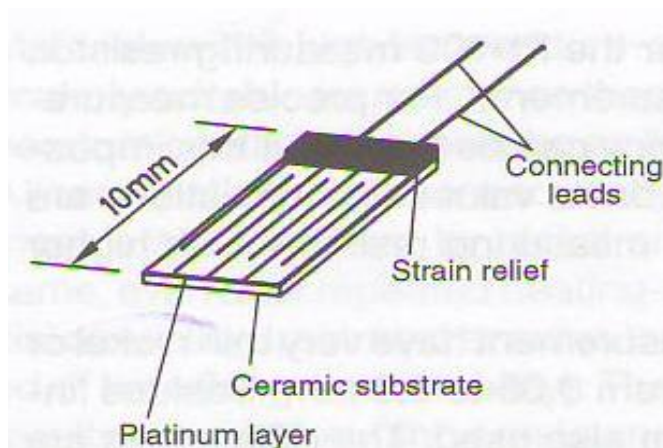
a) To'g'ri o'ram



v) Bifilyar o'ram

2.11 – rasm To'g'ri va bifilyar o'ramlar

Bifilyar yo'li bilan o'ralgan simlarning induktivligi bo'lmaydi va shuning uchun uni o'zgaruvchan tokda ham ishlatish mumkin. Plata shaklida ishlab chiqarilgan platinali qarshilik termometri 2.12 – rasmda ko'rsatilgan. Ba'zi hollarda nikel simli qarshilik termometrlarining simi shisha yoki slyuda tasma-siga o'raladi va slyuda bilan sensorning ikki yuzasi qoplanadi. Slyuda qoplami adgeziv suyuqlik bilan qotiriladi. Qarshilik termometrlarining boshqa turlarida sim shisha asosga o'ralib, usti ximoyalovchi metall qobiq bilan qoplanadi. Yuqori temperaturalarda ishlatiladigan platinali qarshilik termometrlarida sim keramika asosga o'ralib uning ustiga keramika qoplanadi. Yuqorida qayd etilgan qarshilik termometrlarining yakka o'ramli turlari bilan birga ikki o'ramli turlari ham bo'ladi. Ular ikkita, biri biriga bog'liq bo'lmagan, qarshilik termometrlaridan iborat va bir yerdagi temperaturani mustaqil o'lchashga imkon beradi. Bular nazorat o'lchashlar uchun juda muhim. Ikki o'ramli qarshiliklardan biri sensorning temperatura xarakteristikasini chiziqli qilish, o'lchangan qiymatlarni kompensatsiya qilish uchun ham ishlatiladi. Texnologik jarayonlarda o'lchamlari kichik bo'lgan qarshilik termometrlariga extiyoj bo'ladi. Bunday sensorlarning qarshilik elementi mikroelektronika texnologiyalari yordamida yaratiladi. Misol uchun yuzasiga metall qoplangan yassi yoki silindr shaklidagi dielektrikning yuzasida lazer nuri bilan metall spiral yaratiladi (lazer ortiqcha metallni eritib, olib tashlaydi). Bunday usulda yaratilgan sensorning xarakteristikalari yuqori aniqlikka ega bo'lib, o'zining o'lchamlari kichik bo'ladi. Bu esa ularning inersionligini keskin kamaytiradi. 2.12 – rasmda shunday sensorning konstruksiyasi ko'rsatilgan.

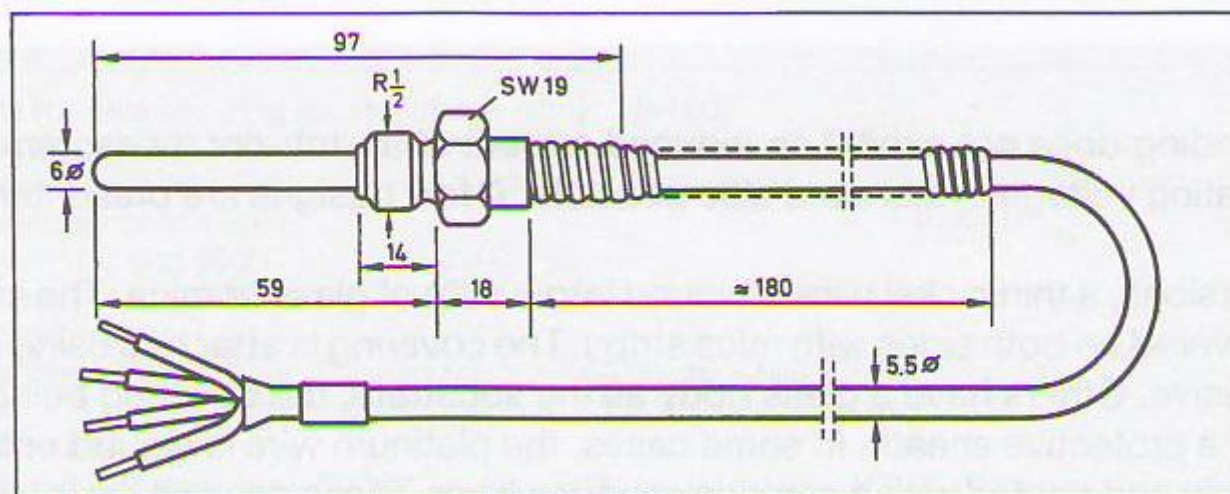


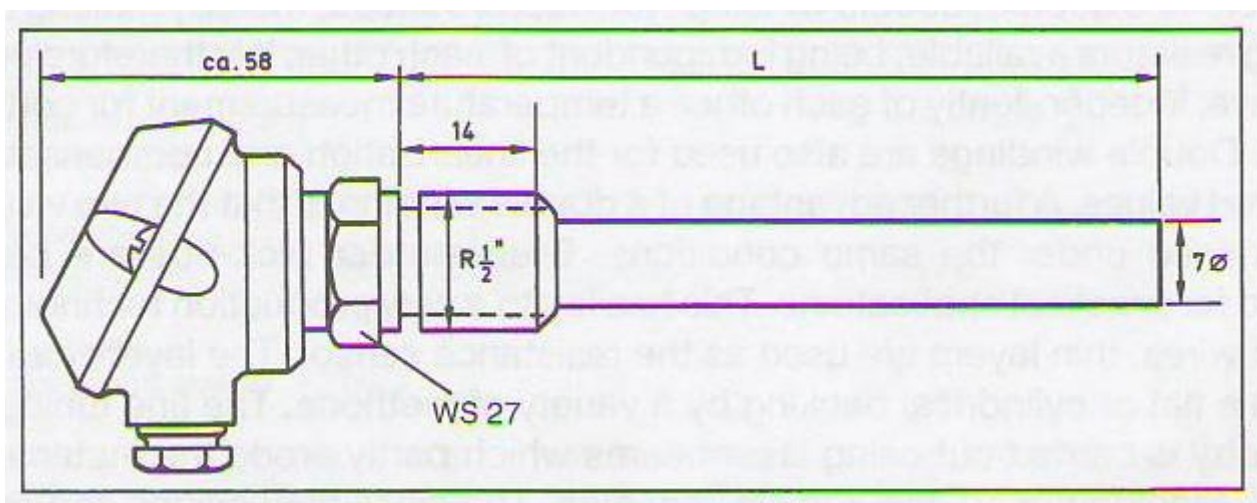
2.12 – rasm Platina yotqizilgan qarshilik termometrining konstruksiyasi

O'lchash rezistori himoyalovchi qobiq bilan qoplangan va uchlari alohida kommutatsiya terminaliga chiqarilgan sensorlar *qarshilik termometri* deb ataladi va ular standart o'lchash vositasi sifatida sotiladi. 2.13 rasmda shunday sensorlarning ikki namunasi keltirilgan.

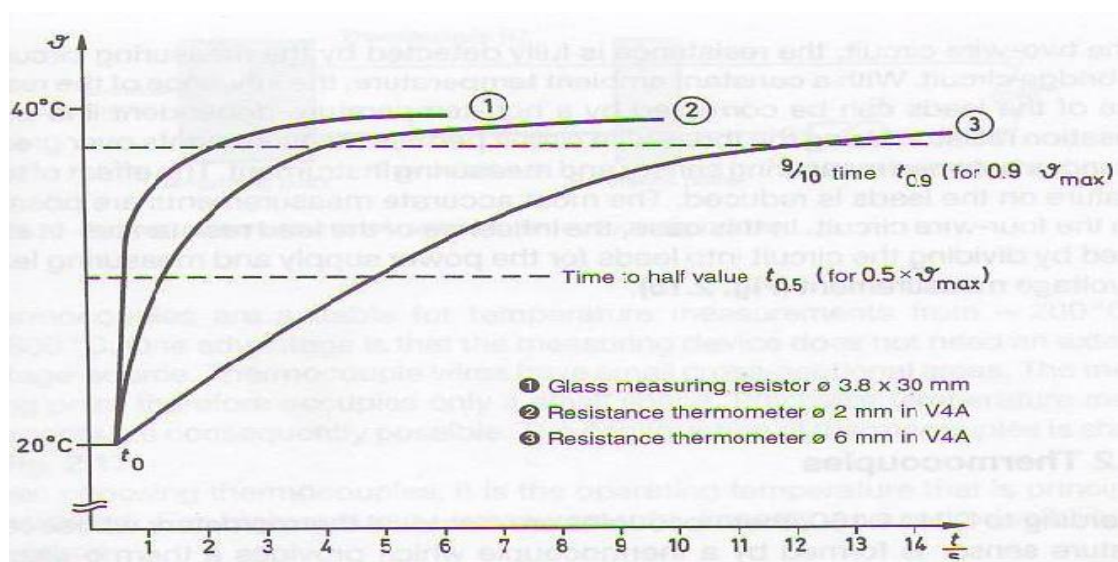
Ustida himoyalovchi qobig'i bo'lgan qarshilik termometrlarining qarshiligini o'zgarishi vaqtga bog'liq bo'ladi. 2.14 – rasmda uchta platinali qarshilik termometrlarining temperatura 20 K ga o'zgarishiga, qarshiligining o'zgarishi ko'rsatilgan.

Qarshilik termometrlari bilan temperatura o'lchanganda, ularni o'lchash qurilmasiga ulash simlari va kontaktlarining qarshiliklari ham o'lchashlarga xatolik kiritishi mumkin. Ularning ta'sirini kamaytirish maqsadida turli ulash sxemalari ishlatiladi.

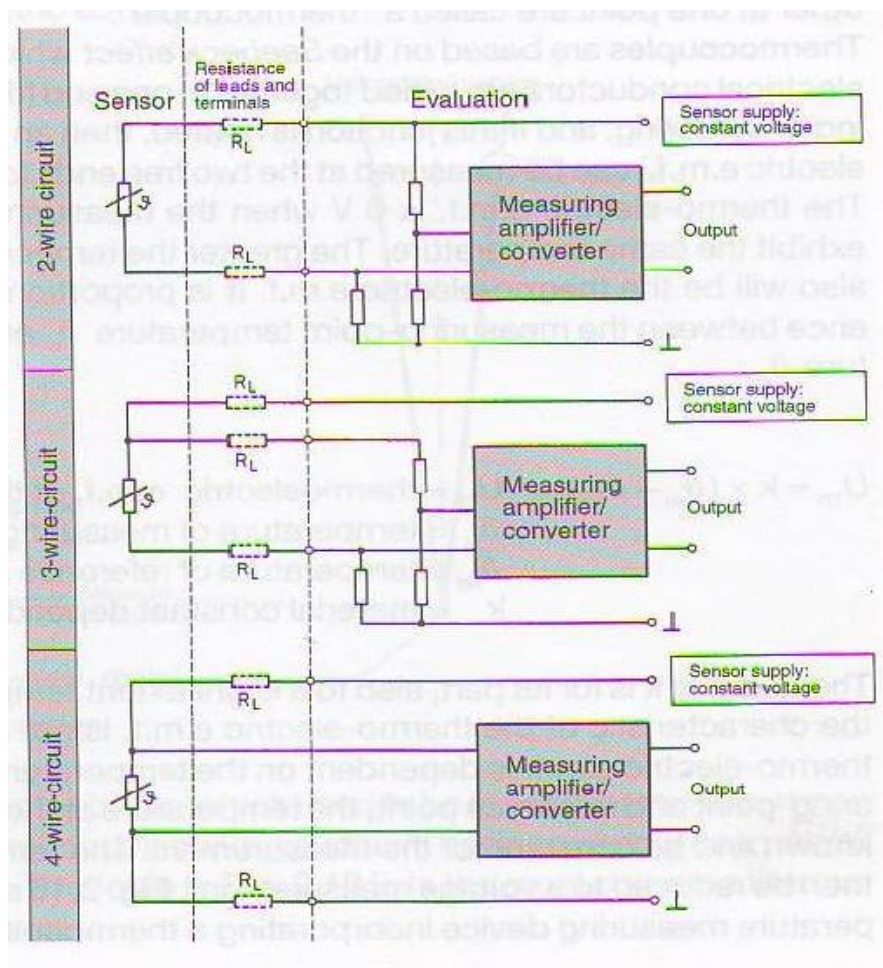




2.13 – rasm Qarshilik termometrlarining sanoat ishlab chiqargan namunalari
a) ikki rezistorli qarshilik termometri
v) kichik himoyalovchi qobig‘li qarshilik termometri



2.14 –rasm Qarshilik termometrlarining vaqt xarakteristikasi



2.15 – rasm Qarshilik termometrlarini ulash sxemalari

Ikki simli ulash sxemasida sensorning qarshiligi to‘liq ko‘priqli o‘lchash sxemasi bilan o‘lchanadi. Atrof muhit temperaturasi mo‘tadil bo‘lganda, uning ulash simlarining qarshiligiga ko‘rsatgan ta’sirini, qarshiligi temperaturaga bog‘liq bo‘lmagan, rezistorlar bilan kompensatsiya qilinishi mumkin. Uch simli ulash sxemasi ulash simlarini ancha uzaytirishga imkon beradi. Bu sxemada tashqi muhit temperaturasining ulash simlarining qarshiligiga ko‘rsatgan ta’siri olib tashlangan. Eng aniq o‘lchash natijasini to‘rt simli ulash sxemasi yordamida olish mumkin. Bu sxemada sensorga manba berish zanjirlari bilan qarshiligini o‘lchash zanjirlari ajratib qo‘yilgan va shu yo‘l bilan o‘lchash natijasiga barcha tashqi ta’sirlar olib tashlangan (2.15 – rasm).

2.2.2 Termojuftlar

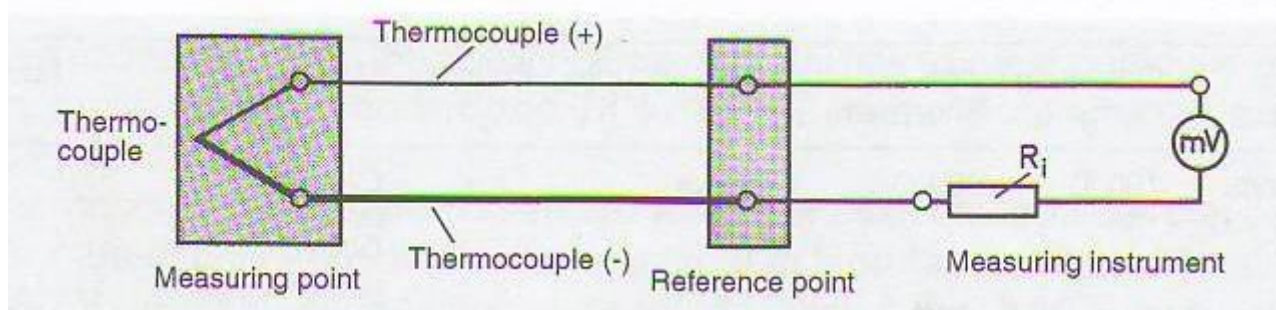
DIN 16 160 standartiga muvofiq termojuftlar elektrotermometrlar guruhiga kiritilgan sensor bo‘lib, ular temperatura ta’sirida muvofiq elektr yurituvchi kuch (e.yu.k.) ishlab chiqaradi. Termojuft ikki turdagi metall simdan tashkil topgan. Simlarning bir uchlari biri biriga payvandlangan bo‘ladi. Bunday birikma “*termojuft*”, uni tashkil qilgan simlar esa – “*termojuft simlari*” deb ataladi. Termojuftlarning ishlash prinsipi *Zeebek effektiga* asoslangan. Bunga

ko'ra uchlari biri biriga payvandlangan ikki elektr o'tkazgichning biriktirilgan nuqtasi qizdirilsa, uning ikkinchi – ulanmagan uchlarida elektr kuchlanishni (e.yu.k.) o'lchash mumkin. Termojuftning biriktirilgan yeri *ishchi* yoki *o'lchash nuqtasi*, erkin uchlari esa *solishtirish / nisbiy nuqtasi* deb ataladi. Termojuftning ishchi va solishtirish nuqtalari bir hil temperaturada bo'lsa, solishtirish uchlaridagi elektr yurgizuvchi kuch 0 V bo'ladi. Uchlarining temperaturasi biri biridan qancha katta farq qilsa, termojuft ishlab chiqargan e.yu.k. shuncha katta bo'ladi. Bu kuchlanishning qiymati termojuftning o'lchash nuqtasi temperaturasi θ_m va solishtirish nuqtasi temperaturasining θ_{ref} ayirmasiga proporsional bo'ladi:

$$U_{Th} = k \times (\theta_m - \theta_{ref})$$

U_{Th} - termojuftning termoelektrik e.yu.k. i
 θ_m - o'lchash nuqtasining temperaturasi
 θ_{ref} - solishtirish nuqtasining temperaturasi
 k - ishlatilgan sim materiallarining koeffitsienti

k koeffitsientining qiymati temperaturaga ozroq bog'liq bo'lgani sababli termojuftning temperatura xarakteristikasi to'liq chiziqli emas, ya'ni temperaturalar farqi bilan termoelektrik e.yu.k. ning proporsionalligi mutlaq emas. Termojuft ishlab chiqargan termoelektrik e.yu.k. ning qiymati uning o'lchash va solishtirish nuqtalari temperaturalarining ayirmasiga proporsional bo'lgani sababli, solishtirish nuqtasining temperaturasini bilish kerak va o'lchashda bu temperaturani mo'tadil ushlab turish kerak. Shunda temperaturani o'lchash kuchlanishni o'lchash bilan bajariladi. 2.16 – rasmda termojuft asosida qurilgan o'lchash asbobining ishlash prinsipi ko'rsatilgan.

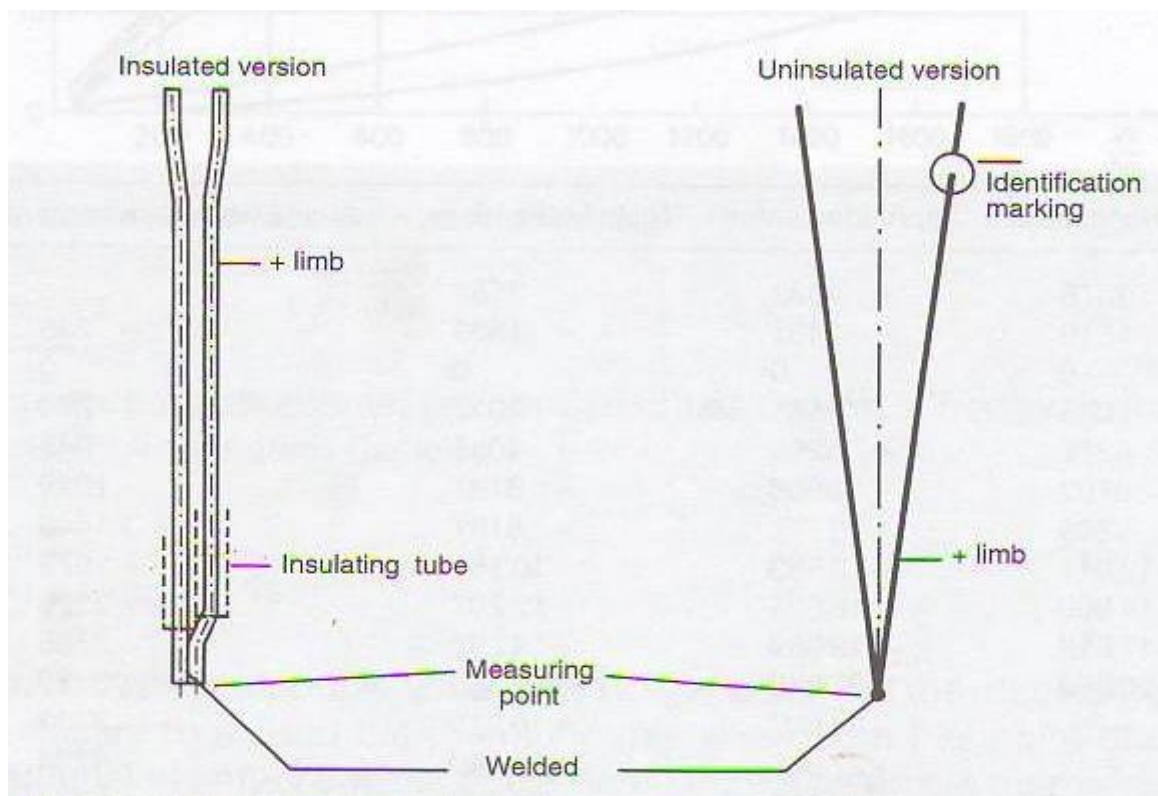


2.16 – rasm Temperaturani termojuft bilan o'lchash (prinsipi)

Termojuftlar bilan temperaturani – $200\text{ }^{\circ}\text{S}$ dan $+1800\text{ }^{\circ}\text{S}$ gacha o'lchash mumkin. Termojuftning afzalligidan biri - unga ishlash uchun qo'shimcha kuchlanish manbasi kerak emas. Termojuftni tashkil qilgan simlarning diametri kichik bo'lgani tufayli, uning bilan kichik muhit temperaturasi o'lchash mumkin. Temperaturani alohida nuqtalarda o'lchash mumkin. Termojuftning konstruksiyasi 2.17 – rasmda keltirilgan.

Termojuftlar tanlanganda asosan o'lchanadigan temperaturalar ahamiyatga olinadi. Yuqori aniqlikdagi o'lchashlar uchun termojuft xarakteristikasining chiziqliligi va reproduktivligi muhim bo'ladi.

Temir / konstantan termojuftlari katta qiymatlardagi termoelektrik e.yu.k. beradi. Nikel / nikel – xrom (nixrom) qotishmali termojuftlar 1000 °S gacha ishlatilishi mumkin. Platina – rodii / platinali termojuftlar yuqori temperaturalarga chidamli bo‘lib, yuqori o‘lchash aniqligini ta’minlaydi. Lekin termojuftlar ichida buni eng kichik termoelektrik e.yu.k. ishlab chiqaradi.



2.17 – rasm Termojuftlar konstruksiyasi

Avval juda keng ishlatilib kelingan mis / konstantan termojuftlari shu kunlarda deyarli ishlatilmaydi. Platina asosida yaratilgan termojuftlar yuqori temperaturalarni o‘lchash uchun keng qo‘llaniladi. 2.18 – jadvalda asosiy ishlatilib kelingan termojuftlar va ularni qullash soxalari keltirilgan.

Termo- Qo‘shilmalari juft	Ishlash diapazoni		Termojuft simlari	Qutbi	Materiali
	uzoq muddat	qisqa muddat			
Cu / Const	700°C	900 °C	Mis	+	Elektrolitik mis DIN 46431 (deyarli 100 %)
Konstantan	-	Cu 53%	Al, Si		Ni 45%
Co, Mg					Mn 1,2%
Fe / Const	700°C	900°C	Temir	+	Fe, texn..toza, 1/10% dan kam S, Si, Mn, C

Al, Si		Kostantan		-	Su 53%
Co, Mg					Ni 45 %
					Mn 1,2 %
NiCr /Ni	1000°C	1300 °C	Nikel xrom	+	Ni 89 %, Cr 10 %
Al, Si			Nikel	--	Ni 95 %, Mn 3
% Mg, Co					
PtRh / Pt	1500 °C	1800 °C	Platina- rodiy	+	Pt 90 %, Rh 10 %
--			Platina	--	Pt %, fizik toza
PtRh 30 -	1500 °C	1800 °C	Platina – rodiy	+	Pt 70 %, Rh 10 %
--			Platina	--	Pt 94 % , Rh 6 %
PtRh 6					

2.18 – jadval Termojuftlar, materiallar va ishlash diapazonlari

Θ °C	Mis / konstantan	Temir / konstantan	Nixrom / nikel	Platina – rodiy / platina
- 100	- 3378	- 4632	- 3553	
- 50	- 1819	- 2431	-1889	-
236				
0	0	0	0	
+ 50	+ 2035	+ 2585	+2022	+
299				
+ 100	+ 4277	+ 5268	+ 4095	+
645				
+ 150	+ 6702	+ 8008	+ 6137	
+1029				
+ 200	+ 9286	+ 10777	+ 8137	+
1440				
+ 250	+ 12011	+ 13553	+ 10151	+
1873				
+ 300	+ 14860	+16325	+ 12207	+
2323				
+350	+ 17816	+ 19089	+ 14292	+
2786				
+ 400	+ 20869	+ 21846	+ 16395	
+3260				
+ 450	-	+ 24607	+ 18513	+
3743				
+500	-	+27388	+20640	+
4234				
+ 600	-	+33096	+ 24902	+
5237				

+ 700	-	+39130	+ 29128	
+6274				
+800	-	+ 45498	+ 33277	+
7345				
+900	-	+51875	+ 37325	+
8448				
+ 1000	-	+57942	+ 41269	+
9585				

2.19- jadval Termojuftlarning asosiy ko'rsatgichlari (e.yu.k. U_{Th} qiymatlari μV -da berilgan)

Termojuft simlari uchun ham alohida talablar DIN 43710 standartida qo'yilgan. Termojuftlarda ishlatiladigan simlar 2.18 – jadvalda keltirilgan.

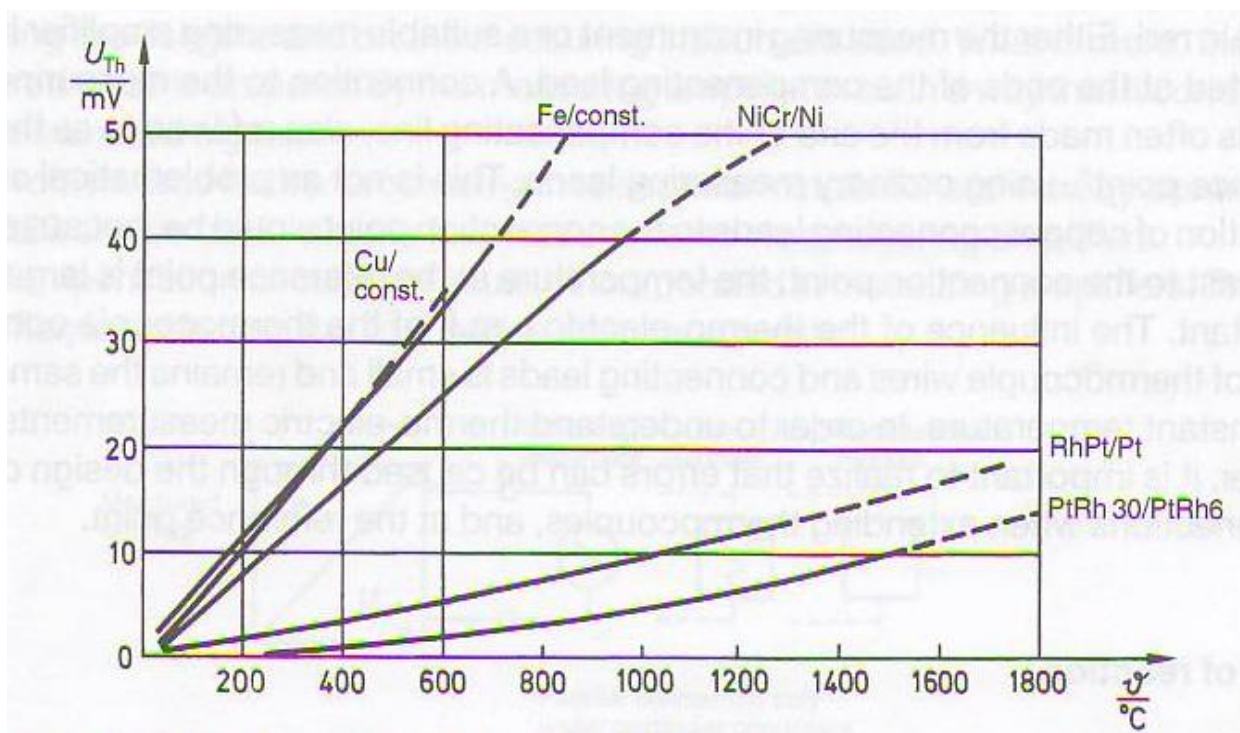
Standart simlardan ishlab chiqarilgan termojuftlar uchun temperaturaga bog'liq ularda hosil bo'ladigan termoelektrik e.yu.k. lar ro'yxati tuzilishi mumkin. Bu xarakteristikalar ro'yxati DIN 43 710 standartida mumkin bo'lgan chekinishlari bilan berilgan. Termojuft xarakteristikalarining soddalashtirilgan va qisqartirilgan namunasi 2.19 – jadvalda keltirilgan.

Termojuftlarning ko'rsatgichlarida yuqori temperaturalarda nochiziqlik paydo bo'ladi. Bu xodisa 2.21 – rasmda yaqqol ko'rsatilgan.

Yuqori temperatura diapazonlarida aniq natija olish uchun, natijalarni o'lchash qurilmasida korreksiya qilish kerak bo'ladi.

Kompensatsion simlar

Odatda termojuftning simlari temperaturani o'lchash nuqtasi yaqinida tugab qoladi (simlar kalta bo'ladi) va uning solishtirish uchlarini o'lchash qurilmasigacha uzaytirish kerak bo'ladi. Uzaytirishni termojuft simlari bilan bir xil simlar vositasida amalga oshirish kerak bo'ladi. Shunday talab simlarni ulash konnektorlariga ham qo'yiladi, chunki boshqa simlar termojuft simlari bilan ulanganda yangi termojuft xosil qilib, o'lchash natijalariga xatolik kiritishi mumkin. Termojuftlarni uzaytiradigan simlar *kompensatsion simlar* deb ataladi. Kompensatsion simlar mahsus izolyatsiya bilan qoplangan yakka yoki ko'p tolali simlarning bir jufti yoki ko'p juftlari izolyatsion qoplama ichiga joylashtirilgan kabel bo'ladi. Kompensatsion simlarning birlamchi izolyatsiyasi ranglari bilan ajratiladi. Kompensatsion sim izolyatsiyasining rangi termojuft simlarining izolyatsiyasi rangi bilan bir xil bo'ladi.



2.20 – rasm Turli termojuftlarning xarakteristikalari

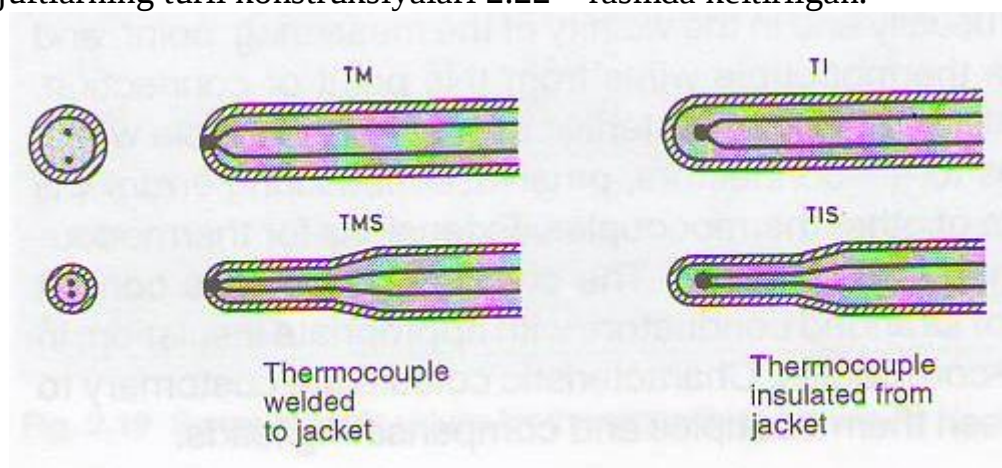
Termojuft rangi	Termojuft rangi	Shartli belgisi	Kompensatsion sim izolyatsiyasining
Mis / konstantan	jigar rang	Tip T	jigar rang
Temir / konstantan	xavo rang	Tip J	xavo rang
Nikel / nixrom	yashil	Tip K	yashil
Platina / platina-rodiy	oq	Tip S	oq

2.21 –rasm Termojuftlarning rangli belgilanishi

Bunga qo‘shimcha, termojuftlar va kompensatsion simlarning musbat (+) qutbi qizil rang bilan belgilanadi. Kompensatsion simlarning ikkinchi uchlari ikkilamchi kuchlanishni o‘lchash asbobi yoki kuchaytirgichga ulanadi. Ikkilamchi o‘lchash asbobiga ulangan kompensatsion simlarning uchlari ham termojuftning *solishtirish uchlari* deb ataladi. Termojuftning solishtirish uchlarning temperaturasi o‘lchash jarayonida o‘zgarmasligi ta’minlansa, ularni ikkilamchi o‘lchash asbobiga mis sim bilan ulash mumkin. Termojuftning simi va ulash simlari xosil qilgan termojuft juda kichik e.yu.k. yaratadi va bu kuchlanishning qiymati temperatura o‘zgarmaganligi natijasida o‘zgarmaydi. Termojuftlar bilan temperaturani o‘lchashda, albatta, o‘lchash zanjiridagi barcha ulanishlar qo‘shimcha termoelektrik kuchlanish yaratib, qo‘shimcha xatolik kiritishi mumkinligini doym esda tutish juda muhim.

Reaksiya tezligi

Qarshilik termometrlarida bo'lgani kabi termojuftlarning reaksiya tezligi ularning konstruksiyasiga bog'liq. Termojuft o'lchash uchlarining temperaturasi o'zgarganda, uning solishtirish uchlaridagi kuchlanish yangi qiymatga o'rnashib olish vaqti reaksiya tezligi deb ataladi. Termojuft simlaridagina yaratilgan termojuftning reaksiya tezligi eng yuqori bo'ladi. Agar termojuftning o'lchash kontaktlari himoyalovchi qobiq ichiga joylashtirilgan bo'lsa uning reaksiya tezligi kamayadi. Bunday ta'sirni kamaytirish maqsadida termojuftning himoyalovchi qobig'i uning temperaturani sezuvchi o'lchash nuqtasida iloji boricha yuqalashtiriladi. Termojuftlarning ba'zi konstruksiyalarida uning sezuvchi payvandlangan uchi temperatura o'lchanadigan nuqta bilan bevosita kontaktda bo'ladi, uchi qobiqning yuzasiga chiqib turadi. Ko'p hollarda termojuftning payvandlangan nuqtasi o'lchash zanjiriga ham ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shuning uchun u qobig' bilan himoyalangan bo'lishi kerak bo'ladi. Termojuftlarning turli konstruksiyalari 2.22 – rasmda keltirilgan.



Sezgir uchi qobig'ga
payvandlangan
termojuft

Sezgir uchi qobig'
bilan himoyalangan
termojuftlar

2.22 - rasm Himoyalovchi qobig'li termojuft konstruksiyalari

O'lchash usullari

Termojuftlar bilan temperaturani o'lchash usullarining turlari quyidagicha:

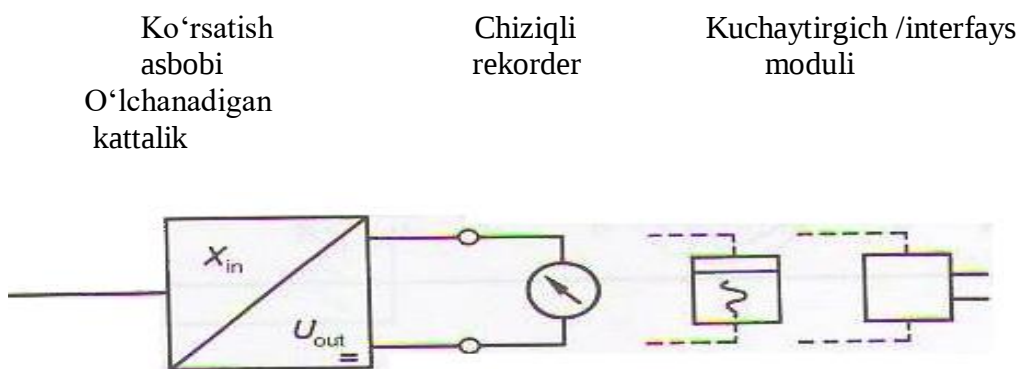
- bevosita o'lchash;
- o'lchash kuchaytirgichini ishlatib o'lchash;
- kompensatsiya yo'li bilan o'lchash.

Amalda temperaturani bevosita o'lchash termojuftga ulangan, shkalasi temperatura birligida gradatsiyalangan magnitoelektrik millivoltmetr bilan bajariladi. Termojuft bilan temperaturani o'lchash ikkilamchi o'lchash

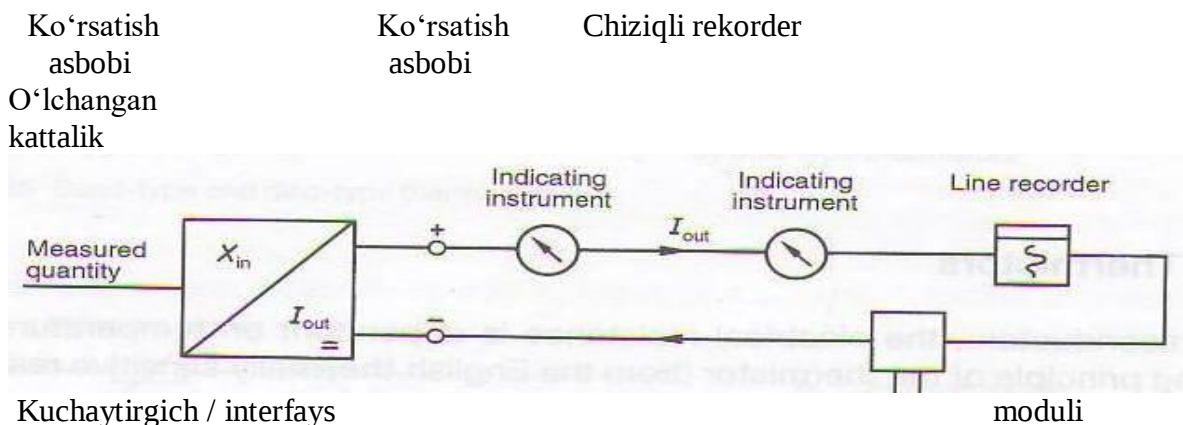
qurilmasidan katta kirish qarshiligi va yuqori o'lchash aniqligini talab etadi. Agar o'lchash qurilmasining kirish qarshiligi katta bo'lmasa, termojuftning kuchlanishiga ta'sir etadi. Shuning uchun bir termojuftni bir necha o'lchash asbobiga parallel ulash mumkin emas.

Ikkilamchi o'lchash asbobi termojuftdan uzoq joylashgan bo'lsa, mahsus o'lchash kuchaytirgichi ishlatiladi. Bu kuchaytirgich termojuft kuchlanishini standart signalga o'zgartirib beradi.

Mahsus o'lchash kuchaytirgichini ishlatib olingan signal uzoq masofadan isitish jarayonini boshqarishni ta'minlaydi. 2.23 – rasmda kuchaytirgich yordamida o'lchashning asosiy sxemalari keltirilgan. O'lchash kuchaytirgichlarining sxemalarida kompensatsiya va xarakteristikalarining chiziqli qilish zanjirlari ham kiritilgan bo'lishi mumkin.



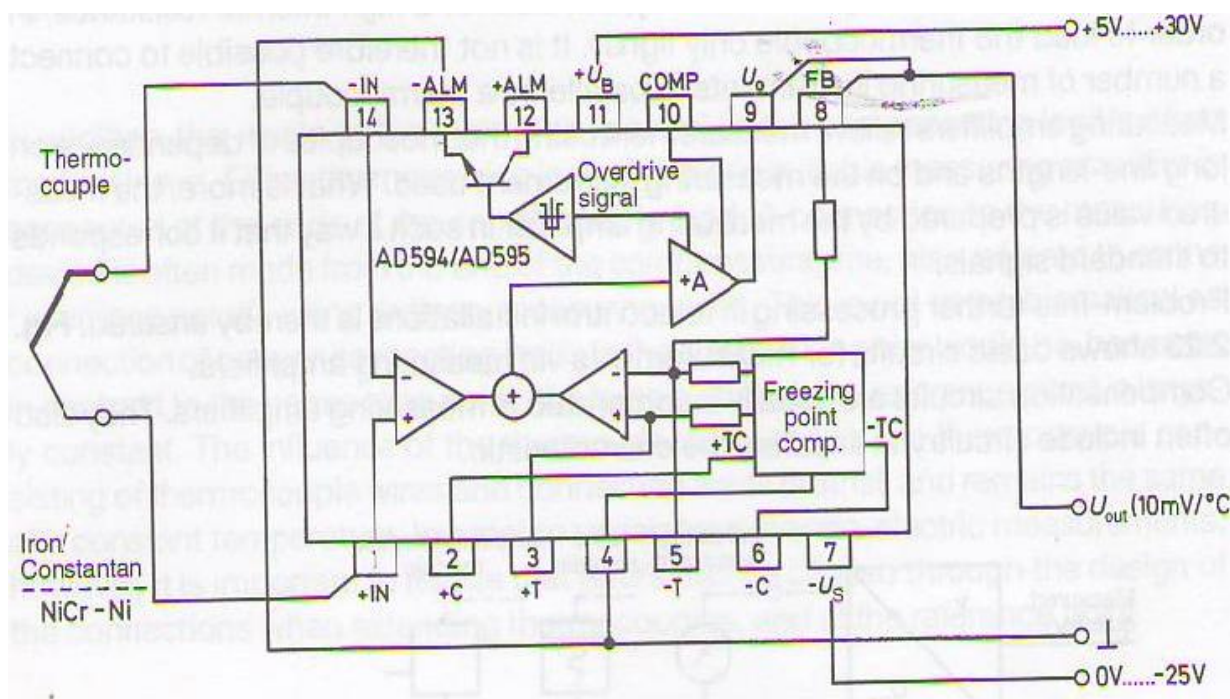
Faqt aniq sharoitda parallel ulash mumkin



2.23 – rasm Kuchaytirgich vositasida o'lchash
Solishtirish nuqtasining temperaturasi

Termojuft bilan temperatura o'lchashda uning solishtirish nuqtasining temperaturasi katta ahamiyatga ega bo'ladi. Amaliyotda uning temperaturasi 20°S (xona temperaturasi) atrofida bo'ladi. Avval aniq o'lchashlar bajarilganda termojuftning solishtirish nuqtasi erib turgan muz bilan 0 °S temperaturada ushlab turilgan. Buning uchun termostatni ham ishlatga bo'ladi, lekin zamonaviy temperatura o'lchash asboblari termojuftning solishtirish nuqtasining temperaturasi elektron usullarida kompensatsiya qilinadi.

Bunga misol AD 594 / AD 595 o'lchash kuchaytirgichlari. Ular temir / konstantan (J- turi, o'lchash diapazoni – 200 °S dan 750 °S gacha) va nikel / nixrom (K- turi, o'lchash diapazoni – 200 °S dan + 1250 °S gacha) bilan birga temperaturani o'lchash uchun ishlatiladi. Shu ikki turdagi termojuftlar uchun kuchaytirgichning chiqish signali $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Chiqish qarshiligi kichik, manba kuchlanishi $U_S = + 5\text{V}, \pm 15\text{V}$. Kuchaytirgichning aniqligi 1K. Kuchaytirgichning sxemasida solishtirish nuqtasini kompensatsiya qilish zanjirlari ham bor. Termojuft shikastlangan hollarda havotir signalini beradi (alarm). Termojuftning xarakteristikasini chiziqli qilish imkoni yo'q. 2.24 – rasmda sodda amaliy o'lchash sxemasi keltirilgan.



2.24 – rasm AD 594 / AD 595 o'lchash kuchaytirgichlari (Analog Devices)

2.2.3 Termistorlar

Yarimo'tkazgich materiallarining elektr qarshiligi temperaturaga bog'liq bo'ladi. Termistorlar (inglizchadan – xaroratni sezuvchi rezistor) qarshiligi temperaturaga bog'liq rezistor sifatida boshqa elementlarning temperatura ta'sirida o'zgargan xarakteristikalarini kompensatsiya qilish, temperaturani o'lchash va katta tokdan sxemalarni himoya qilish uchun ishlatiladi.

Qarshiligi temperatura ta'sirida o'zgarish xarakteridan ikki turli termistorlar mavjud.

NTC termistorlari (negative – temperature - coefficient thermistor - manfiy temperatura koeffitsientli termistor)

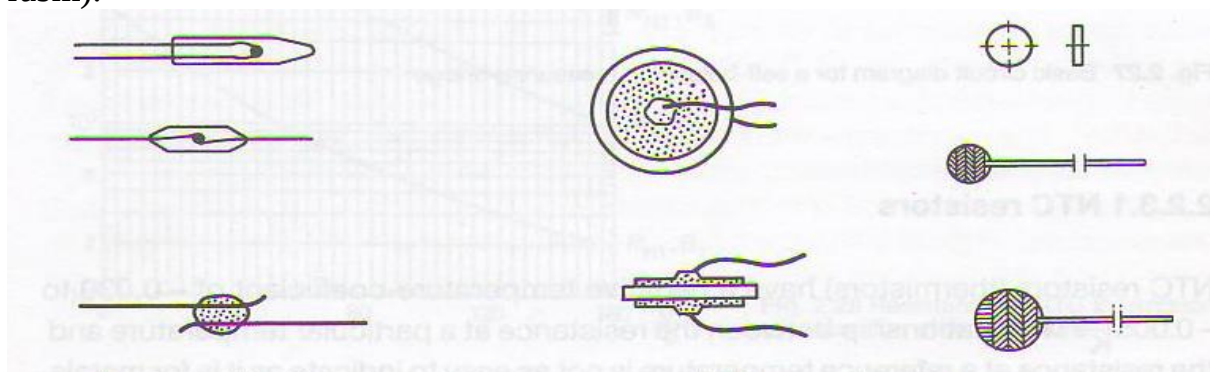
Temperatura o'sishi bilan NTC termistorining qarshiligi kamayadi (temperatura koeffitsienti manfiy).

RTS termistor (positive - temperature – coefficient thermistor – musbat temperatura koeffitsientli termistor

Temperatura o'sishi bilan termistorning qarshiligi o'sadi (temperatura koeffitsienti musbat).

NTC va PTC termistorlarining xarakteristikalari faqat aniq temperatura diapazonlarida o'zini ko'rsatadi va shu diapazonlarda ishlatiladi.

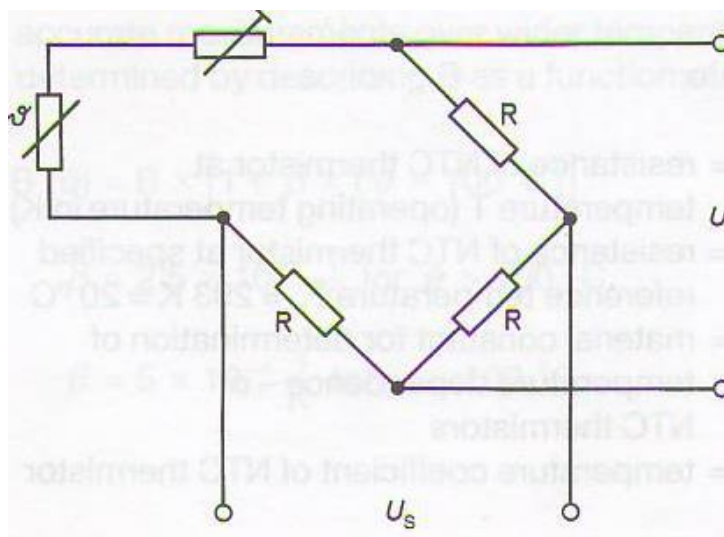
Rivojlangan texnologiyalar va injenerlik ishlar termistorlarning xarakteristikalarini ancha mukammallashtirdi va aniqligini oshirib, temperaturani o'lchash uchun ham ularni ishlatishga imkon tug'dirdi. Termistor asosida yaratilgan sensorlar temperatura o'zgarishlariga o'ta sezgir va kichik gabarit o'lchamlariga ega bo'lgani tufayli ularni alohida nuqtalardagi temperaturani o'lchash uchun ishlatishga imkon berdi. Termistor sensorlarining konstruksiyasi ishlatilish yeriga bog'liq. Termistorlarning ko'p turlari shisha qobig'i bilan qoplangan bo'ladi. Termistorlarning bunday konstruksiyasi ularni o'ta yuqori sezgirligi va inersiyasizligini ta'minlaydi. Ularning temperatura o'zgarishiga reaksiya qilish tezligi juda yuqori bo'ladi. Termistorlar sxemalarda nazorat funksiyasi – tokni chegaralash, kechiktirilgan kommutatsiyani bajarishda ishlatilganda, undan katta toklarga chidamlilik talab etiladi. Bunday termistorlarning konstruksiyasi disk shaklida bo'ladi (2.25 – rasm). Termistor bilan temperaturani o'lchash asboblari ko'prik sxemasida yig'iladi (2.26 – rasm).



a) Marjon shaklidagi termistorlar

b) Disk shaklidagi termistorlar

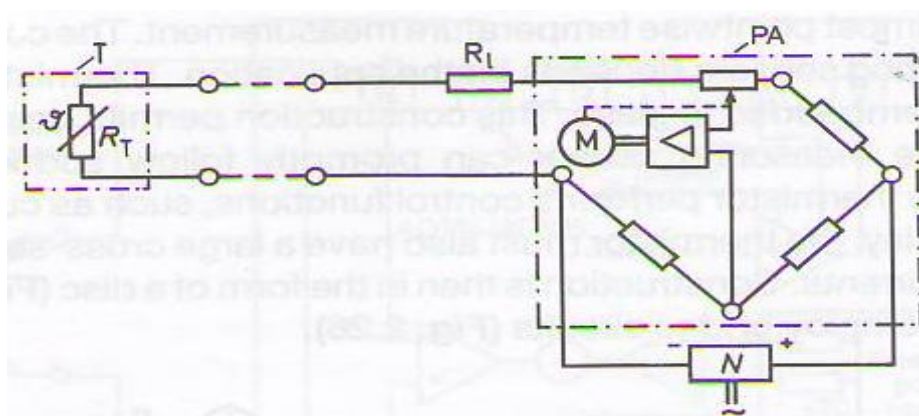
2.25 – rasm Marjon va disk turlaridagi termistorlar Muvozanatlovchi rezistor



U_s : ko‘prikning manba kuchlanishi
 U_{out} : ko‘prikning o‘lchash kuchlanishi

2.26 – rasm Termistor ishlatilgan ko‘prik sxemasi

2.27 – rasmda o‘zini o‘zi muvozanatlovchi sistemaning asosiy funksional sxemasi keltirilgan. Bu ko‘prikda sozlash yo‘li bilan o‘lchashlarning boshlang‘ich nuqtasini o‘rnatib, o‘lchash diapazonini kengaytirish mumkin. Bu sxemadagi termistordan boshqa hamma elementlarning xarakteristikalarini temperaturadan o‘zgarmasligi shart, albatta. Sxemada ishlatilgan rezistorlar manganin va konstantandan yaratilgan bo‘ladi, chunki bu materiallarning temperatura koeffitsienti misnikidan ancha kichik bo‘ladi.



T : Temperatura sensori

R_L : Qarshiligi o‘zgarmas rezistor

RA: O‘zini o‘zi muvozanatlovchi ko‘prik

M : Motor bilan xarakatlanuvchi potensiometr

N : Ko‘prikning kuchlanish manbai

2.27 – rasm O‘zini o‘zi muvozanatlovchi ko‘prik o‘lchash sxemasi

2.2.3.1 NTC rezistorlari

NTC rezistor (termistor) manfiy temperatura ko'effitsientiga ega. Ularning qiymatlari - 0,030 dan – 0,005 $\frac{1}{K}$ oralig'ida bo'ladi. Termistor qarshiligining temperaturaga bog'liqligi metallarga nisbatan ancha murakkab bo'lgani tufayli uni analitik aniqlash ancha mushkil ish.

Rezistor qarshiligining temperaturaga bog'liqligi

Quyidagi tenglama bilan NTC rezistorlarining qarshiligini temperaturaga nisbatan bo'lgan bog'liqligini ifodalash mumkin:

$$R_T = R_N \times e^{B \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right)}$$

bunda:

R_T – NTC termistorining T (ishchi temperaturasi
K –(Kelvinda) temperaturadagi qarshiligi

R_N – NTC termistorining nisbiy temperatura T_N
etib qabul qilingan temperaturadagi qarshiligi,
 $T_N = 293 K = 20 ^\circ C$

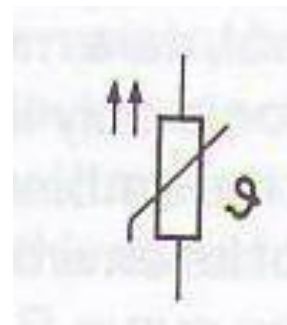
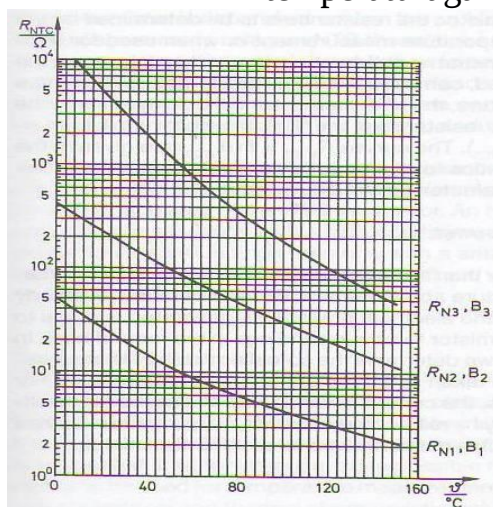
B - NTC termistori materialining temperaturaga bog'liq konstantasi
yoki

$$R_T = R_N \times e^{\alpha_{TN}} \times \Delta T \times \frac{T_N}{T}$$

$$\alpha_{TN} = \frac{-B}{T^2} \text{ (temperatura K da)}$$

α_{TN} – NTC termistorining temperatura ko'effitsienti

2.28 – rasmda NTC termistorlar qarshiligini temperaturaga bog'liqligi ko'rsatilgan



2.28 – rasm NTC termistorlari qarshiligining temperaturaga bog'liqligi

V – qiymatlarining temperaturaga bog‘liqligi

Yuqorida keltirilgan tenglamalar NTC termistorlarining qarshiligini temperaturaga bog‘liqligini yaxshi approksimatsiyada (yaqinlashtirishda) ifodalaydi. Keng temperatura diapazonida bajarilgan aniqroq o‘lchashlar natijalari tenglamada ko‘rsatilgan qiymatlaridan biroz chekinadi. Bu chekinishlarni V koeffitsientining temperaturaga bog‘liqlik funksiyasidan aniqlasa bo‘ladi.

$$B(\theta) = B \times [1 + \beta \times (\theta - 100 \text{ }^{\circ}\text{C})]$$

$$\beta = 2,5 \times 10^{-4} \frac{1}{K} \quad \theta > 100 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ uchun}$$

$$\beta = 5 \times 10^{-4} \frac{1}{K} \quad \theta < 100 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ uchun}$$

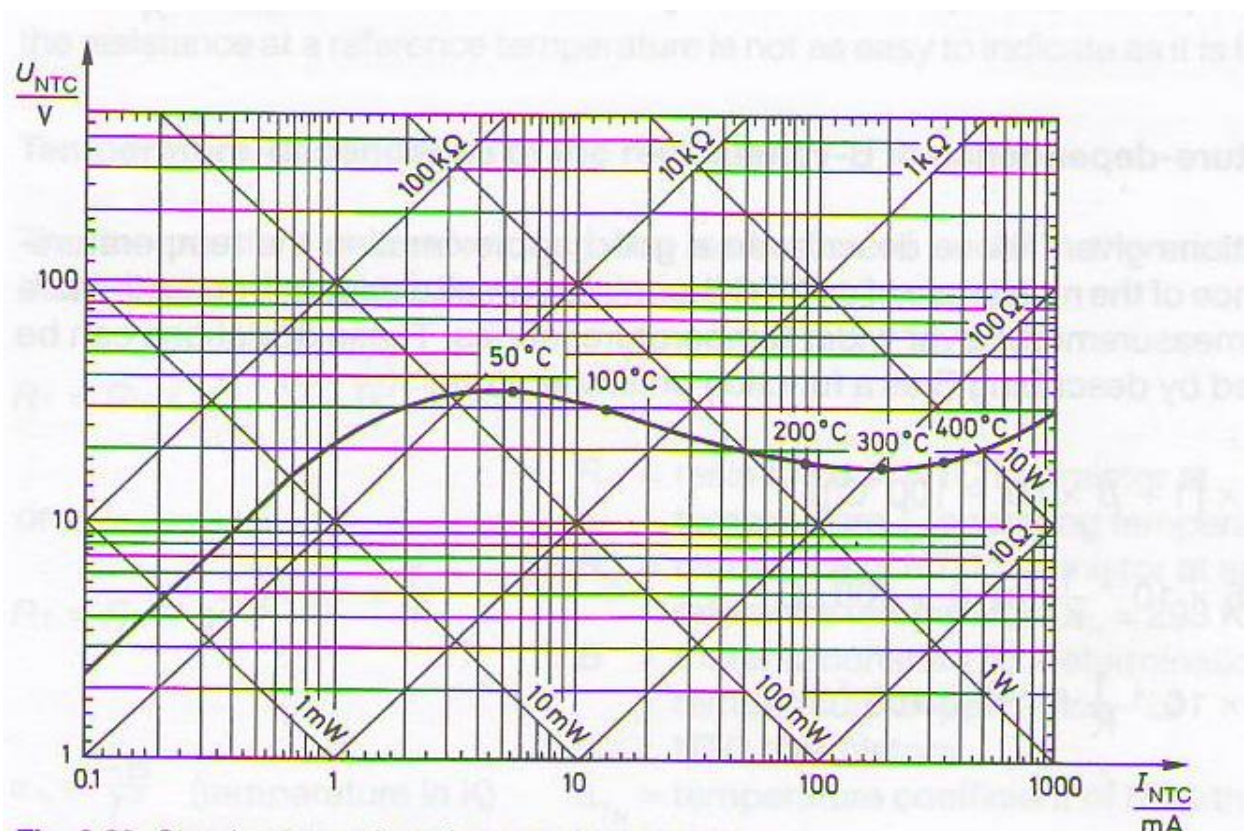
Termistorlarni elektr yuklama rejimida ishlashi

Termistorning temperaturasi muhit temperaturasi ta’sirida o‘sganda:

NTC termistorlarining qarshiligi muhit temperaturasi ta’sirida o‘zgarsa, yani ular temperaturani o‘lchash yoki temperaturani nazorat qilish rejimida ishlatilgan xollarda, termistorning o‘zini o‘lchash sxemasidagi tok ta’sirida qizishiga e’tibor berish kerak. Bu rejimda termistor orqali oqib o‘tadigan o‘lchash toki iloji boricha kichik qiymatga ega bo‘lishi shart. Shunda termistor tekshirilgan muhit temperaturasi o‘zgarishlarini yaxshi va tez sezadi. Bu rejimda termistorning qarshiligi $R_{NTCT} = f(\theta_{NTCT})$ ifodasiga muvofiq aniqlanadi. Bunday xarakteristikalar barcha termistorlar uchun ularning turli nominal qarshiliklariga muvofiq chizilgan xarakteristikalar shaklida termistorlarning ishlab chiqaruvchisi tomonidan beriladi. Xarakteristikalar namunasi 2.28 – rasmda ko‘rsatilgan.

Termistorning temperaturasi unga berilgan quvvat ta’sirida o‘sganda:

Termistorga berilgan kuchlanish va u orqali oqib turgan tok qiymatlari yuqorida qayd etilgan ishlash rejimidagi qiymatlaridan katta bo‘lsa, termistorning o‘zi qiziydi va uning temperaturasi muhitnikidan oshib ketadi. Bu rejimda termistorning mo‘tadil temperaturasi unga berilgan quvvat va undan atrof muhitga tarqalgan issiqlik miqdori shaklidagi quvvat tenglashgandagi muvozanat xolati bilan belgilanadi. Termistorlarni bu rejimda ishlashi ularning *mo‘tadil xolat xarakteristikalari* bilan ifodalanadi. Bu rejimda o‘lchashlar mo‘tadil muhit temperaturalarida bajariladi. Temperatura xarakteristikalarini chizishda termistorga berilgan kuchlanishlarning o‘zgarmas qiymatlaridagi mo‘tadil xolatlarda tokning temperaturaga qarab o‘zgarishi o‘lchanadi. 2.29 – rasmda NTC termistorlarining mo‘tadil kuchlanish / tok xarakteristikalaridan namuna keltirilgan.



2.29 – rasm NTC termistorining mo‘tadil kuchlanish / tok xarakteristikasi

Xarakteristikaning boshlanish qismida termistor orqali oqqan tokning qiymati kichik bo‘lgani sababli uning temperaturasi juda kam o‘zgaradi. Termistorning qarshiligi ham juda kam o‘zgaradi: kuchlanish tokka proporsional bo‘ladi. Xarakteristika chiziqli bo‘ladi. Xarakteristikaning chiziqli qismi termistorga beriladigan quvvat tahminan 10 mW ga yetganda tugaydi. Xarakteristikaning bu qismida tok qiymati o‘zgarmasa NTC termistorining qarshiligi faqat muhit temperaturasi qarab o‘zgaradi. Demak, muhit temperaturasini NTC termistori yordamida o‘lchash kerak bo‘lsa, xarakteristikaning chiziqli qismida ishlash kerak.

Termistor orqali oqqan tok oshib borsa uning temperaturasi ham muhit temperaturasidan ortib boradi, qarshiligi kamayib, undagi kuchlanish tushuvi ham qarshilik o‘zgarmagan xolga nisbatan kam bo‘ladi. Tok qiymati o‘shishda davom etsa, termistordagi kuchlanish tushuvining maksimal qiymatiga yetib, kamayishni boshladi.

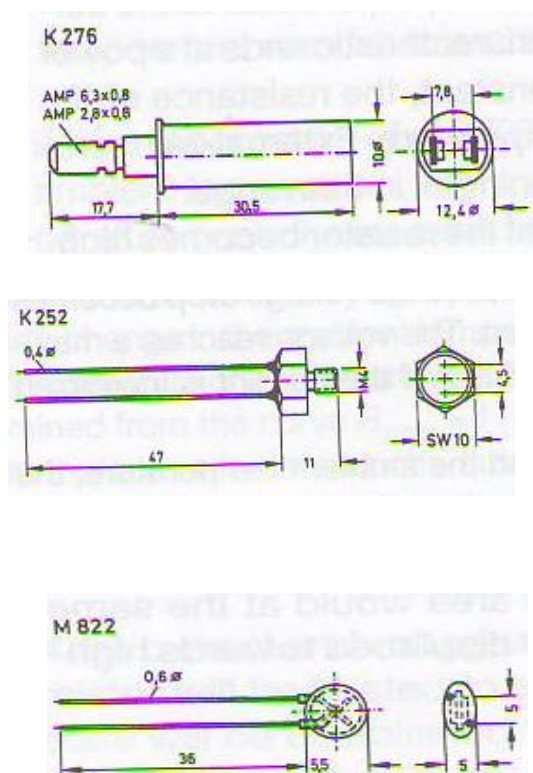
Termistorning mo‘tadil kuchlanish / tok xarakteristikasidagi kuchlanishning maksimal qiymatga yetgan joyi sovuq termistor qarshiligi va muhit temperaturasi bilan birga, uning yuzasining maydoniga ham bog‘liq bo‘ladi. Katta yuza maydoniga ega bo‘lgan NTC termistorlari ma‘lum temperaturalarda issiqlikni atrofga kichik yuzali termistorga nisbatan ko‘proq tarqatadi.

Shunda xarakteristikadagi kuchlanishning maksimum joyi katta tok va kuchlanishlarga to‘g‘ri keladi.

NTC termistorlarining turlari

NTC termistorlari ishlatilish sohalariga muvofiq klassifikatsiya qilinadi va belgilanadi. NTC termistorlari o‘zlarining ishlatilish sohalaridan boshqa joylarda ishlatilishi mumkin. Misol uchun , agar cheklash va kechiktirish uchun mo‘ljallangan NTC termistorlari temperaturani o‘lchash uchun ishlatilsa, o‘lchash natijalarining yuqori aniqligini kutish mumkin.

NTC termistorlarining turlari va ishlab chiqaruvchilari juda ko‘p bo‘lgani sababli, 2.30 – rasmda faqat Siemens firmasining temperaturani o‘lchash va kompensatsiya qilish uchun mo‘ljallangan termistorlarining ro‘yxati keltirilgan



2.30-rasm NTC termistorlari (Siemens)

Temperaturani o‘lchash

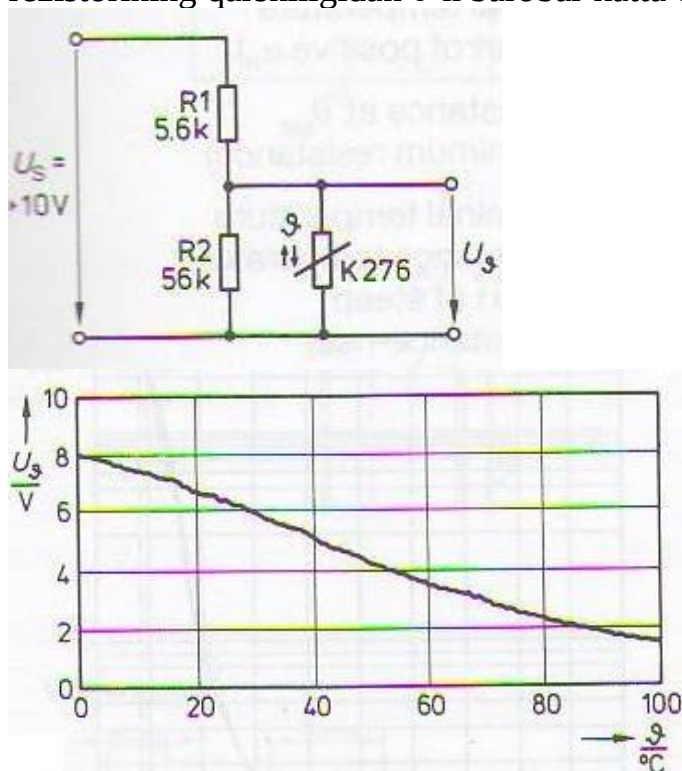
Turi	Nominal qarshiligi R_N, Ω	Aniqligi $\Delta R_N / \Delta T, \% / K$	V K	Quvvati $R_{25} (\theta = 25^\circ C) mW$	Nominal temperatura $\theta_N, ^\circ C$	Temperatura Diapazoni DIN 40040 $^\circ C$
K276	330 330 950 950	$\pm 3,5 \%$	3950 3950 3760 3760	1000	100	-10 dan +100 gacha
K252	500 1 k 6 k 40 k 500 1 k 6 k 40 k	± 10 ± 20	3410 3560 3950 4250 3410 3560 3950 4250	400 400	20 20	-55 -55
K822	1 k 1,5 k 2,2 k 3,3 k 4,7 k 6,8 k 10 k 15 k 22 k 33 k 47 k 68 k 100 k 150 k 220 k 330 k 470 k	± 5	3730 3900 3900 3950 3950 4200 4300 4250 4300 4300 4450 4600 4600 4600 4830 5000 5000	750	25	-55dan +125 gacha

Kompensatsion va o‘lchash NTC termistorlarini ishlatish

Kompensatsion va o‘lchash NTC termistorlari o‘lchash zanjiridan iloji boricha kam quvvat olib, bu quvvatdan o‘zining temperaturasi o‘zgarmasligi

kerak. Shunda termistorning qarshiligi faqat tekshirilgan muhit temperaturasi bog'liq bo'ladi.

K276 turidagi termistorlar, misol uchun, ochiq xavoda va suyuqlikda bevosita temperaturani o'lchash va boshqarish uchun mo'ljallangan bo'lsa, K252 turi faqat ximoyalovchi qobig' ichiga o'rnatilgan xolda temperaturani o'lchash va boshqarish uchun ishlatilishi mumkin. NTC termistorlarining kichik o'lchamlari va platinali qarshilik termometrlarga nisbatan bir necha o'n barobar katta temperatura koeffitsienti ularni temperaturani o'lchash uchun ishlatilishiga katta afzallik yaratadi. NTC termistorlarining nisbatan katta qarshiligi ularning qarshiligining o'zgarishlarini kalibrlash uchun mahsus sxema talab etadi. Termistorlarning alohida namunalarning sovuq xaroratdagi qarshiligi va temperatura koeffitsienti farqlanishini, qarshiligi temperaturaga bog'liq bo'lmagan, rezistorlarni ularga ketma ket va parralel ulash yo'li bilan kompensatsiya qilish mumkin. Xarakteristikasini chiziqli qilish maqsadida o'lchash NTC termistorlari o'ziga parralel rezistor ulangan kuchlanish bo'luvchisi sxemasida ishlatiladi (2.31 – rasm). Sxemadagi R_1 rezistorining qarshiligi NTC termistor o'lchash diapazonining o'rtasidagi temperaturaga to'g'ri kelgan qarshiligiga teng qilib olinadi. R_2 rezistorining qarshiligi R_1 rezistorining qarshiligidan o'n barobar katta olinadi.



2.31 – rasm NTC termistorining xarakteristikasini chiziqli qilish

2.2.3.2 PTC termistorlari

PTS termistorlari bu polikristall xolatidagi titanat keramikasidan ishlab chiqarilgan rezistor. Temperaturani o'lchash diapazonida ular juda katta musbat temperatura koeffitsientiga ega. Shu diapazonda termistorning qarshiligi bir

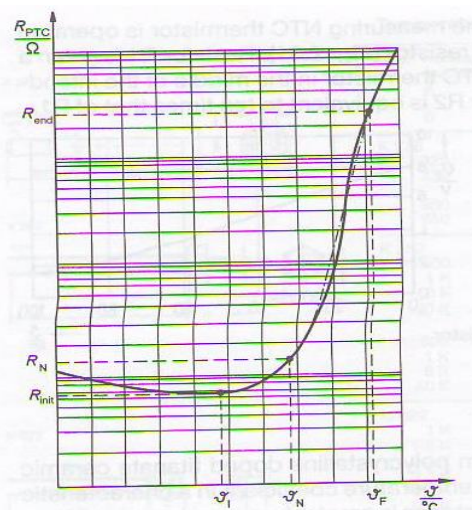
necha o'n barobar katta bo'ladi. RTS termistor qarshiligining keskin o'sishi materialning yarimo'tkazgichli xususiyati va ferroelektrik xodisaga bog'liq. Materialni tashkil qilgan kristall zarrachalari biri biriga tegib turgan chegaralarida barer kontaktlari (erkin elektronlar siyraklashgan qatlam) xosil bo'ladi va bu kontaktlardagi potensial qiymati materialning dielektrik singdiruvchanligiga (ϵ) kuchli bog'liq bo'ladi. Barer kontaktlarining xosil bo'lishi materialning qarshiligini keskin oshib ketishiga sabab bo'ladi. RTS termistor temperatura xarakteristikasining kichik qarshiliklarga to'g'ri kelgan diapazonida materialning barer kontaktlari o'zini namoyon qilmaydi, dielektrik singdiruvchanlik katta bo'ladi, temperaturasi *Kyuri temperaturasidan* (kristallning elektr o'tkazuvchanlik xususiyati o'zgaradigan temperatura chegarasi) kichik bo'ladi. Kyuri temperaturasidan yuqorida materialning dielektrik singdiruvchanligi keskin pasayadi, zarrachalar chegaralarida barerlar xosil bo'ladi va natijada qarshilik keskin o'sib ketadi. Yarimo'tkazgich materiallarining elektr qarshiligi, xarorat o'sishi bilan erkin zarrachalar soni ko'payishi sababli, kamayadi, lekin bu xodisa o'zini Kyuri temperaturasidan past bo'lgan temperaturalarda namoyon qiladi (2.32 – rasm).

Xarakteristikadagi musbat temperatura koeffitsientiga to'g'ri kelgan diapazonning boshlanishi *boshlang'ich temperatura* θ_{init} deb ataladi. Xarakteristikaning shu nuqtasigadagi termistorning qarshiligi *boshlang'ich qarshilik* R_{init} deb ataladi. Boshlang'ich qarshilik RTS termistorning eng kichik qarshiligi bo'ladi. Qarshilikning keskin oshishining boshlanishi nominal qiymat sifatida ishlatiladi. Xarakteristikaning bu nuqtasiga to'g'ri kelgan termistorning qarshiligi R_N – nominal qarshilik va temperatura θ_N – nominal temperatura sifatida termistorning nominal xarakteristikalari etib qabul qilingan. RTS termistorining nominal temperaturasi Kyuri temperaturasiga teng bo'ladi. Termistorning nominal xarakteristikalari reproduktiv bo'lishini ta'minlash maqsadida nominal qarshiligining qiymati boshlang'ich qarshilikdan ikki barobar katta bo'ladi:

$$R_N = 2 \times R_{init}$$

RTS termistorlarining nominal temperaturalari quyidagicha bo'ladi:

- 30 °S; ±0 °S; +20 °S; +40 °S; +60 °S; +80 °S; +110 °S; +120 °S; 130 °S; +160 °S va +180 °S.
- Temperaturani nominal qiymatidan chekinishi ±5 K



- θ_{init} – boshlang'ich temperatura (musbat α_R ning boshlanishi)
- R_{init} – temperatura θ_{init} bo'lgandagi termistorning qarshiligi (minimal qarshilik) θ_{end}
- θ_N - nominal temperatura (nisbiy temperatura) (qarshilik keskin o'sish nuqtasi)

R_N - nominal qarshilik
 (nisbiy temperaturada)
 yakuniy temperatura(qarshilik
 o'sishining yakuniy nuqtasi)
 R_{end} – temperatura θ_{end} bo'lgandagi
 qarshilik (yakuniy qarshilik)

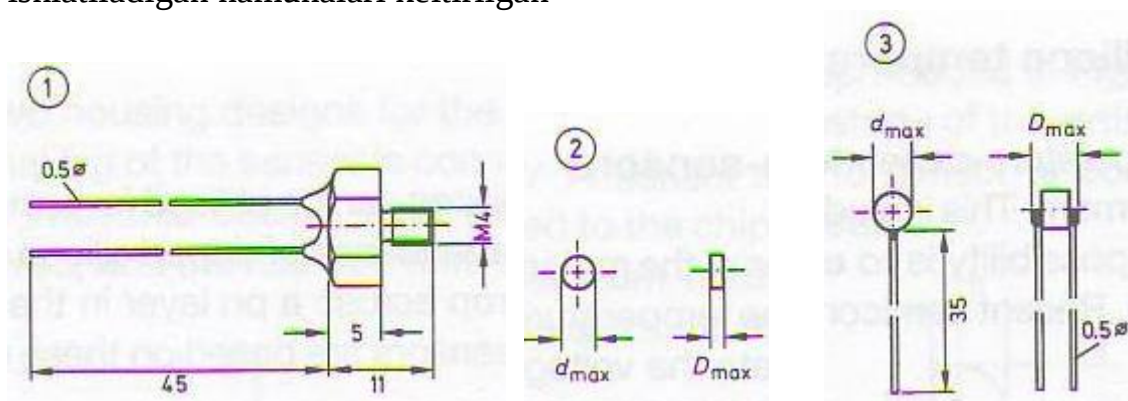
2.32 – rasm RTS termistori qarshiligining temperaturaga bog'liqligi

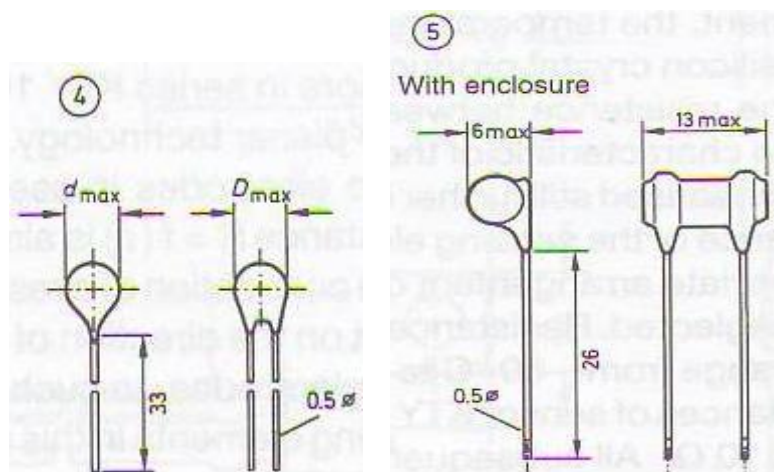
RTS termistorlari tokni chegaralash rejimida (motor himoyasida) ishlaganda ularning nominal temperaturasi 60 °S dan 180 °S xar 10 K ga farqlanadigan diapazonlarda bo'ladi. Bu temperaturalarda termistorning qarshiligi keskin o'sadi va shu bilan tokning qiymatini chegaralaydi. Yakuniy temperatura θ_{end} qarshilik o'sishini to'xtagan nuqtasini ko'rsatadi. Yakuniy temperatura va muvofiq yakuniy qarshilik RTS termistorlari uchun belgilovchi xususiyat bo'lmaydi va faqat informatsion ahamiyatga ega.

RTS termistorlarini temperatura sensorlari sifatida ishlatish

RTS termistori xarakteristikasining qarshilik o'sadigan qismida qarshilikning kuchlanishga bog'liqligi va o'zining isishi e'tiborsiz kichik bo'lgani sababli termistorni temperaturani o'lchash uchun ishlatga bo'ladi. Termistorning temperatura xarakteristikasidagi qarshilikning o'sish qismida termistorning qarshiligi temperaturaga deyarli chiziqli bog'langan. RTS termistorlari xarakteristikasining faqat shu qismida temperatura sensori sifatida ishlatiladi. RTS termistorlarini ishlatilishi muhim bo'lgan soxalaridan biri bu elektr mashinalarining temperaturasini nazorat qilish. Buning uchun RTS termistor mashinaning sovitish sistemasiga o'rnatiladi. Mashinadan kelgan iisq xavo termistorga ta'sir etadi. Mashina qizib temperaturasi chegara qiymati - termistorning nominal qiymatiga yetganda, termistorning qarshiligi keskin oshib, mashinani manbadan uzib qo'yadi.

2.33 – rasmda RTS termistorlarining o'lchash va boshqarishda ishlatiladigan namunalari keltirilgan





2.33 – rasm a) RTS termistorlarining metrologiya va boshqarish injeniringida ishlatiladigan turlari (Siemens) (2.3.3 b) jadvalda xarakteristikallari berilgan)

Ishlash kuchlanishi $U_{\max, \theta=25^{\circ}\text{C}}$ V	Qarshiligi R_{25} , Ω	Aniqligi ΔR , %	Boshlang'ich temperatura $\theta_{\text{init}} / ^{\circ}\text{C}$	R_{init} Ω	Θ_N / $^{\circ}\text{C}$	Konstruksiyasi	Turi
20	130 80 80 80	+100 - 50	-10 20 40 80	115 80 76 74	40 60 80 120	1	R310 R330 R350 R390
30	>100 k >5 k 110 80 80 85 110 110	- - ± 25 ± 25 ± 25 ± 25 ± 25 ± 25	-70 -40 0 20 40 80 120 140	700 600 95 80 80 75 80 70	-30 0 40 60 80 120 160 180	2 3 4	P240 P240 P310 P330 P350 P390 P430 P450
250	1100 1100 1100	+100 -50	20 40 80	1000 1000 1000	60 80 120	5	P330 P350 P390

2.33 – rasm b) RTS termistorlarining metrologiya va boshqarishda ishlatiladigan namunalari (Siemens)

2.2.4 Kremniyli temperatura sensorlari

Kremniy xarakteristikalarining temperaturaga bog'liqligi uni temperaturani o'lchash uchun ishlatishga imkon beradi. Bu materialni temperaturani o'lchash uchun ishlatish yo'li to'g'ri yo'nalishda ulangan yarimo'tkazgichli p - n kontaktdagi kuchlanish tushuvini o'lchashdan iborat. Deyarli barcha yarimo'tkazgichli temperatura sensorlarining ishlashi shu prinsipga asoslangan.

2.2.4.1 KTY 10 va KTY 16 seriya temperatura sensorlari

KTY 10 va KTY 16 temperatura sensorlarida sezgir element sifatida planar texnologiyada ishlab chiqarilgan n turdagi kremniy kristallari ishlatilgan. Unga o'rnatilgan ikki elektrod orasidagi qarshilikning temperaturaga bog'liq bo'lganligi temperaturani o'lchash uchun ishlatiladi. Qarshilikning temperaturaga bog'liq xarakteristikasi $R = f(\theta)$ deyarli chiziqli va bor nochiziqliligi rezistorlarni unga ulash bilan kamaytirilishi mumkin. Sezgir element qarshiligining tok yo'nalishiga bog'liqligini unga ulanadigan elektrodnlarni joylashtirish bilan kamaytirish mumkin. Bu seriya temperatura sensorlari – 50 °S dan +150 °S gacha bo'lgan temperatura diapazonida ishlatilishi mumkin.

KTY 10 seriya sensorlarining nominal qarshiligi 25 °S da 1890 Ω dan 2110 Ω diapazonida bo'ladi. Bu seriya sensorlarining nominal qarshiligi 2000 Ω bo'ladi. Ular aniqlik darajasi bo'yicha guruhlariga bo'linadi. 2.34 – jadvalda sensorlarning asosiy xarakteristikasi bo'lgan nominal qarshiligi va aniqlik darajasi bilan birga muhit temperaturasiga moslashishini ko'rsatuvchi τ sensorning vaqt doyimiyiligi ham keltirilgan. Muxit temperaturasi o'zgarishi bilan sensorning qarshiligi ham o'zgaradi. Lekin bu o'zgarishga ma'lum vaqt ketadi. Temperatura o'zgarishi bilan sensorning qarshiligi yangi temperaturaga muvofiq bo'lgan qarshilik qiymatining $\sim 63\%$ gacha o'zgarishiga ketgan vaqt sensorning vaqt doyimiyiligi deb ataladi. Sensorning qarshiligi temperaturadan eksponensial funksiya bo'yicha o'zgaradi.

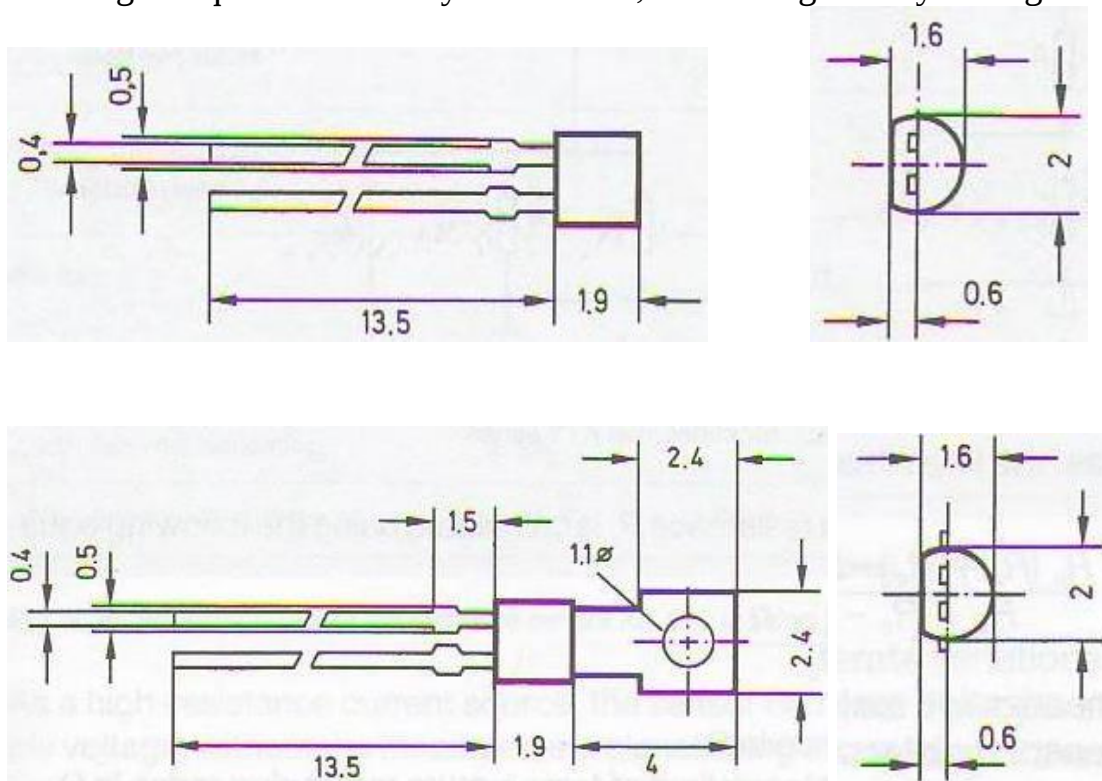
Kremniyliy temperatura sensorlari

Turi	R_{25} $I_N = 1 \text{ mA}$ Ω	R_{25} –aniql. $I_N = 1 \text{ mA}$ %	$I_{\max}$ 25 °C mA	τ xavoda s	τ moyda s	o'lchash diapazoni °S
KTY10	1890-2110	-	5	20	4	- 50...+150
KTY11-1A	2000	± 1	3	9,5	1,3	-50... +150
KTY11-1B	2000	± 2	3	9,5	1,3	- 50...+150
KTY11-1C	2000	± 5	3	9,5	1,3	- 50...+150
KTY11-2A	2000	± 1	3	11	1,5	- 50...+150
KTY11-2B	2000	± 2	3	11	1,5	- 50...+150
KTY11-2C	2000	± 5	3	11	1,5	- 50...+150
KTY14- 6	2000	± 1	5	30	4	- 30...+125
KTY15 -6	2000	± 1	5	30	4	- 50...+150
KTY16A	2000	± 1	3	10	2	- 25...+125
KTY16B	2000	± 2	3	10	2	- 25...+125

2.34- jadval KTY10 dan KTY16 seriyali temperatura sensorlari

KTY11seriya sensorlarning konstruksiya namunalari 2.35 – rasmda ko'rsatilgan. Sensorlarning temperaturani o'lchash joyiga biriktiriladigan qismi

uning sezgir elementiga bevosita chegarada bo‘ladi. Shunda sensor bilan muhit orasidagi issiqlik almashishi yaxshi bo‘lib, sensorning reaksiya tezligi oshadi.



2.35 – rasm KTY11 seriya sensorlarining konstruksiyalari

2.36-rasmda KTY11 sensorining temperatura xarakteristikasi grafik shaklida keltirilgan.

Sensor qarshiligining temperaturaga bog‘liqligi

$$R_{(\theta)} = f(\theta_{init}), I_0 = 1 \text{ mA}$$

1- versiya

$$R_{(\theta)} = f(\theta_{init}) \text{ uchun } R_{25} = 2000 \Omega$$

$$R_{(\theta)} = \alpha_2 \times \theta_{init}^2 + \alpha_1 \times \theta_{init} + \alpha_0$$

$$\alpha_2 = 2,881 \times 10^{-2} \Omega / K^2$$

$$\alpha_1 = 1,349 \times 10^1 \Omega / K$$

$$\alpha_0 = 1,646 \times 10^{-3} \Omega$$

2- versiya

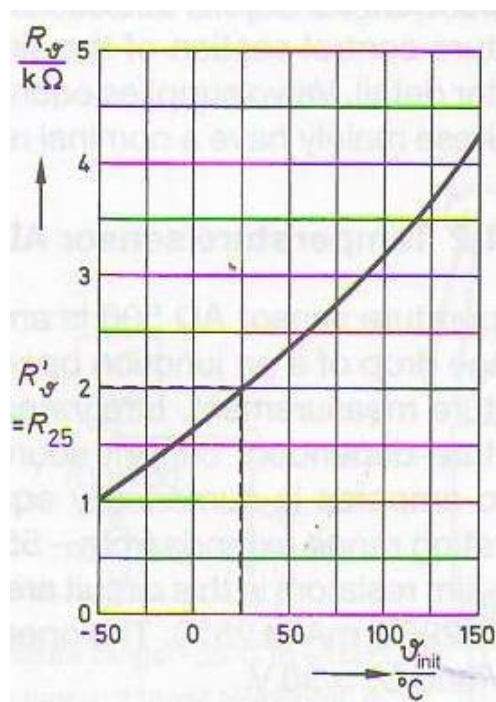
$$R_{(\theta)} = f(\Delta\theta_{init}) \text{ uchun } R_{25} = 2000 \Omega$$

$$\text{va } \Delta\theta_{init} = \theta_{init} - 25^\circ C$$

$$R_{(\theta)} = R_{25} (1 + \alpha \Delta\theta_{init} + \beta \Delta\theta_{init}^2)$$

$$\alpha = 7,461 \times 10^{-3} K^{-1}$$

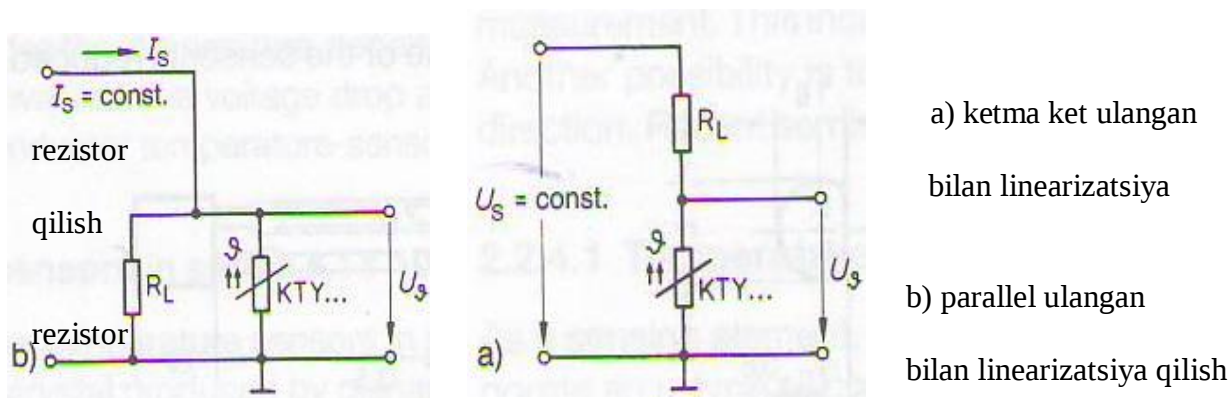
$$\beta = 1,440 \times 10^{-3} K^{-2}$$



2.36 –rasm KTY11 sensorining temperatura xarakteristikasi va xisoblashga misollar

Bu sensorning xarakteristikasi ozroq nohiziqlikka ega. Sensorni amaliyotda ishlatganda uning xarakteristikasi linearizatsiya qilinadi (to'g'rilanadi).

Stabil kuchlanishdan manba olgan sensorning xarakteristikasi unga ketma ket ulangan rezistor bilan linearizatsiya qilinadi, stabil tokdan manbalangan sensor esa parallel ulangan rezistor yordamida linearizatsiya qilinadi (2.37 – rasm).



2.37 - rasm KTY seriya sensorlarning xarakteristikasini linearizatsiya qilish

Yuqorida ko'rsatilgan ikki usulda linearizatsiya qarshiligi R_L quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi.

$$R_L = \frac{R_b(R_a + R_c) - 2R_a \times R_c}{R_a + R_c - 2R_b}$$

bunda R_L – linearizatsiya qarshiligi, Ω

R_a - temperaturani o'lchash diapazonining quyi chegarasidagi sensorning

qarshiligi, Ω

R_b - temperaturani o'lchash diapazonining o'rtasidagi sensorning qarshiligi, Ω

R_c - temperaturani o'lchash diapazonining yuqori chegarasidagi sensorning qarshiligi, Ω

R_a , R_b va R_s qarshiliklarning qiymatlarini sensorning temperatura xarakteristikasidan olish mumkin (2.36 – rasm).

Bu seriya sensorlari simulyatorlarning xaroratni boshqarish blokida temperaturani o'lchash uchun ham ishlatiladi. KTY10 seriya sensorlari amaliyotda yaxshi sinalgan. Valvo firmasi KTY 81/83 markada shunga o'xshash xarakteristikalariga ega bo'lgan sensorlarni ishlab chiqaradi. Faqat ularning nominal qarshiligi 1000 Ω .

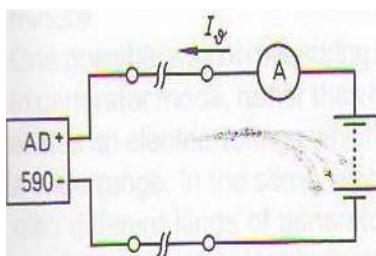
2.2.4.2 AD590 temperatura sensori

AD 590 temperatura sensori mikrosxema bo'lib, unda to'g'ri yo'nalishda ulangan $p-n$ kontaktdagi kuchlanish tushuvining temperaturaga bog'liq bo'lgani temperaturani o'lchash uchun ishlatiladi. AD 590 sensorining sxemasi temperaturaga bog'liq bo'lgan tok manbasi bo'lib, uning chiqishidagi tokning qiymati mikroamperlarda Kelvin darajalaridagi temperaturaga teng. Sensorning ishlash diapazoni $-55\text{ }^{\circ}\text{S}$ dan $+150\text{ }^{\circ}\text{S}$ ($218,2\text{ K}$ dan $423,2\text{ K}$). Sensor sxemasidagi yuqa plyonkali rezistorni lazer nuri bilan sozlab, sxema chiqishidagi tok qiymatini temperatura $25\text{ }^{\circ}\text{S}$ bo'lganda $298,2\text{ mA}$ qilib o'rnatiladi. AD590 sensoriga beriladigan manba kuchlanishi $U_S = 4\text{V}$ va $U_S = 30\text{V}$ orasida bo'lishi mumkin. AD590 sensorining aniqlik sinfi xar xil bo'lishi mumkin. 2.38 – jadvalda sensor namunalari va ularning xarakteristikallari keltirilgan.

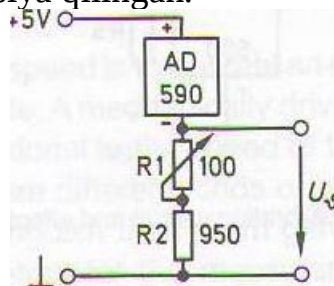
Turli soxalarda ishlatish uchun AD 590 sensori tranzistor, planar, mikrosxema korpuslariga yoki himoyalovchi qobig' ichiga joylashtirilgan bo'ladi. Tok manbasi bo'lgani tufayli bu temperatura sensorini uzaytiruvchi simlar bilan uzoqroq masofadan turib temperaturani o'lchash uchun ishlatiladi. Uning qarshiligi juda katta bo'lgani uchun, unga berilgan manba kuchlanishining o'zgarishlari o'lchash natijalariga ko'p ta'sir etmaydi. Sensorga berilgan manba kuchlanishi juda katta bo'lmasligi kerak, chunki bu kuchlanish sensorning o'zini qizdirishi mumkin. 2.39 – rasmda temperatura sensorini sezgirligi $1\mu\text{A/K}$ tok manbasi va 1mV/K kuchlanish manbasi qilib ishlatilgan amaliy o'lchash sxemalari keltirilgan.

Sensorning sxemasi ishlab chiqaruvchi tomonidan balanslangan (muvozanatlangan) bo'ladi. Sxematik usullar yordamida sensorni qo'shimcha balanslab, uning xatoligini kamaytirish mumkin. 2.39 b- rasmdagi sxemada trimmer (o'zgaruvchan rezistor) bilan sensorni bir nuqtada oson balanslash imkoni bor.

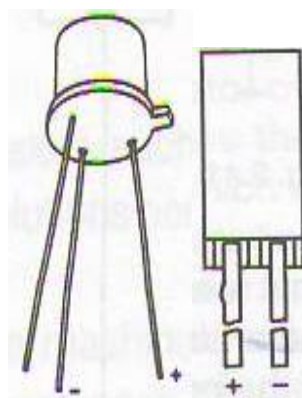
Sensorni bir nuqtaga balanslash faqat yagona o'lchash nuqtasida sensor balanslanishini bildiradi. 2.40 –rasmda sensorning mutlaq xatoligi o'lchangan temperaturaga bog'liqligi funktsiya shaklida keltirilgan. Yuqoridagi grafik sensor xatoligini kalibrlashdan avvalgi shaklini ko'rsatadi, pastgisi esa kalibrlashdan so'ng sensor xatoligini temperaturaga qarab o'zgarishini aks etadi. Bunda sensor xarakteristikasi faqat yagona nuqtada korreksiya qilingan.



Temperatura diapazoni: $-55\text{ }^{\circ}\text{S} \dots +150\text{ }^{\circ}\text{S}$
Tok diapazoni : $218\text{ }\mu\text{A}$ dan $423\text{ }\mu\text{A}$ gacha
Sensor sezgirligi $1\mu\text{A/K}$
a) Tokni o'lchash bilan temperaturani o'lchash
temperaturani o'lchash

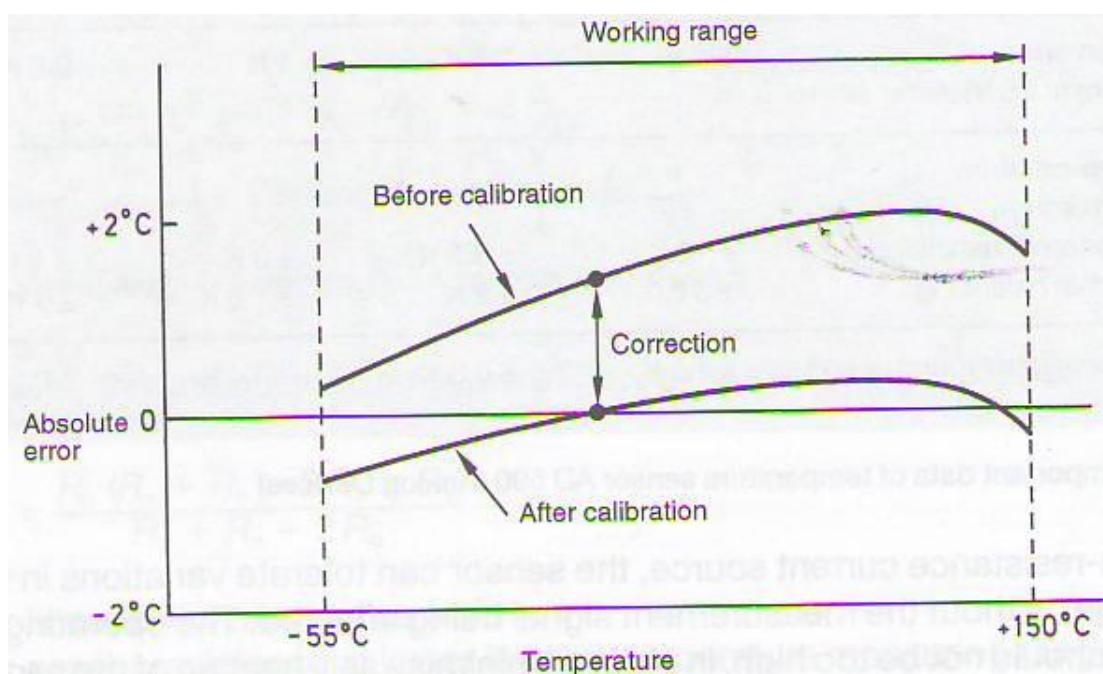


Temperatura diapazoni $-55\text{ }^{\circ}\text{S} \dots +150\text{ }^{\circ}\text{S}$
Kuchlanish diapazoni : 218 mV dan 423 mV gacha
Sensor sezgirligi : 1mV/K
b) Kuchlanishni o'lchash bilan temperaturani o'lchash
temperaturani o'lchash



s) Sensor konstruksiyasi

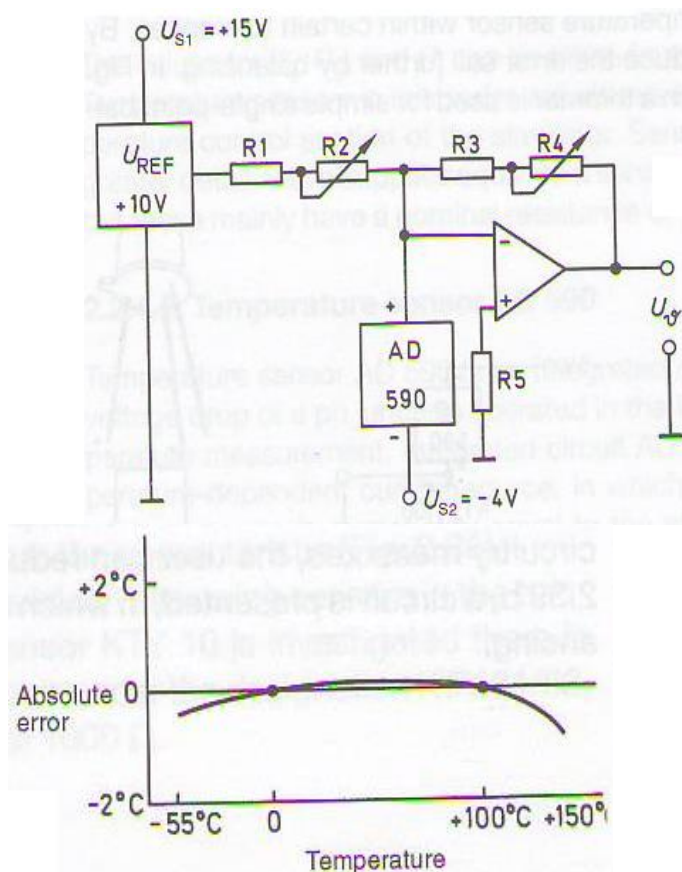
2.39 – rasm AD590 sensorini ishlatish amaliy sxemalari (Analog Devices)



2.40 – rasm Sensorni yakka nuqtada kalibrlashning xatoligiga ta'siri

Sensorni ikki nuqtada kalibrlash bilan xarakteristikalarini mukammallashishiga erishish mumkin. 2.41 – rasm bunday kalibrlash sxemasi va olingan natija ko'rsatilgan.

Bu sensor ma'lum inersion xususiyatga ham ega. Uning bu xususiyati vaqt doyimiyligi bilan ifodalanadi. Aluminiyga o'rnatilgan sensorning vaqt doyimiyligi $\tau = 0,6$ s, moyda - 1,4 s, xavoda - 60 s ga teng. Yangi temperaturaga adaptatsiya qilish jarayoni eksponensial funksiya bo'yicha kechadi.

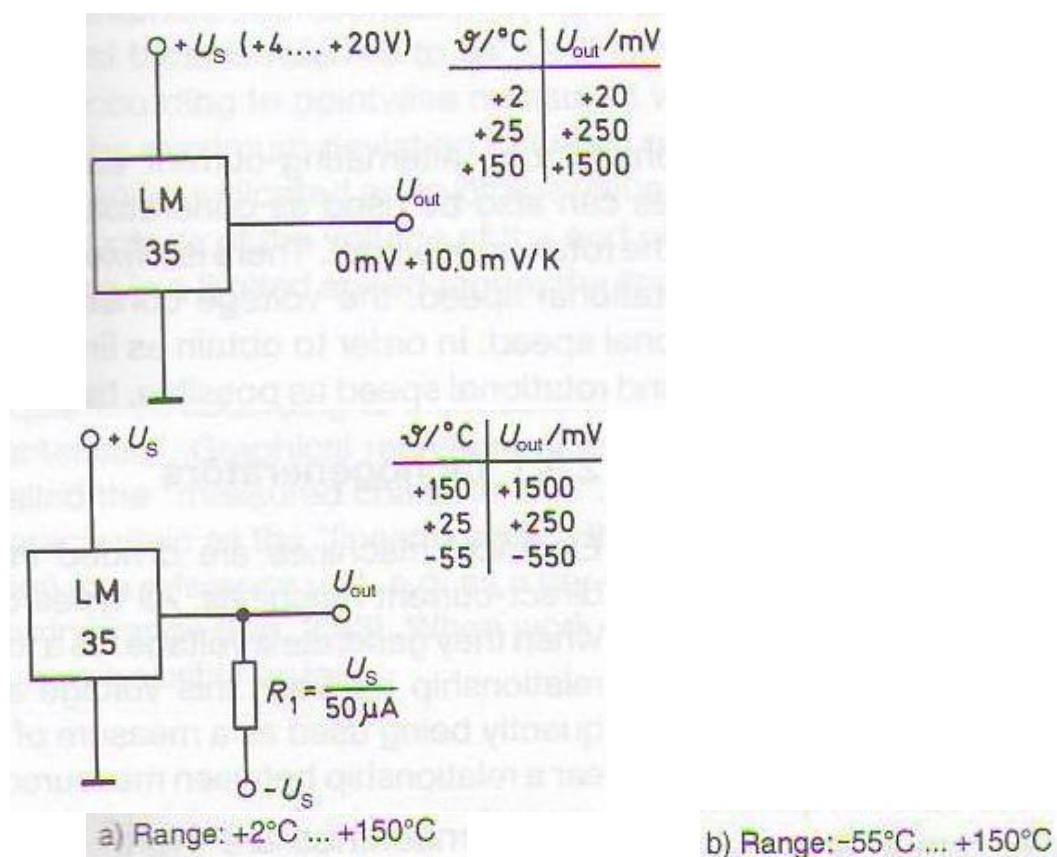


2.41 – rasm Ikki nuqtali kalibrlash; sxemasi va o'lchash xatoligiga ko'rsatgan ta'siri

Temperaturani o'lchash natijasi °S selsiy graduslarida olinishi mumkin, buning uchun o'lchangan tok qiymatidan 273,2 μA ayirib tashlash kerak. Sensorni ishlab chiqargan firmalar uni uch raqamli displeyga ega temperaturani o'lchash asbobi shaklida istemolga chiqaradi. Bu asbobning displeyi yordamida osonlik bilan asbobni kalibrlash mumkin va Kelvin yoki selsiy temperatura shkalalarini o'rnatish bo'ladi.

2.2.4.3 LM 35 temperatura sensori

LM 35 temperatura sensori yarimo'tkazgichli sensor bo'lib temperaturani selsiy shkalasida - 55 °S dan + 150 °S diapazonida o'lchash uchun mo'ljallangan. Sensorning o'lchash aniqligi temperatura 25 °S bo'lganda $\pm 1,5 K$, o'lchash diapazonining boshi va ohirida $\pm 2 K$. To'liq o'lchash diapazonida sensor xarakteristikasining noxizirligi 0,5 K dan oshmaydi. Sensorning chiqish signali 10 mV / K – temperatura 1 K ga o'zgarsa, sensorning chiqish signali 10 mV ga o'zgaradi. Sensorga beriladigan manba kuchlanishi 4 V dan 30 Vgacha bo'lishi mumkin. LM 35 sensori o'zini balanslashni talab qilmaydi. Agar faqat musbat temperaturalarini o'lchash zarur bo'lsa, o'lchash sxemasi juda sodda (2.42 a – rasm). selsiy shkalasi bo'yicha musbat va manfiy temperaturalar o'lchanishi kerak bo'lsa sensorga qo'shimcha manfiy kuchlanish ham berish kerak (2.42 b – rasm).



2.42 – rasm LM 35 sensorining ulanish sxemalari (National Semiconductor)

2.3 Aylanish tezligini o'lchash

Texnikada jismlarning aylanish tezligini o'lchash juda ko'p uchraydi. Jismlarning aylanish tezligini o'lchash ular bir minutda necha marta aylanganini sanashga asoslangan.

Aylanish tezligini o'lchash usullaridan biri bu elektr mashinasini motor emas generator rejimida ishlatish. Generatorning o'qi aylantirilsa u elektr kuchlanish ishlab chiqaradi va bu kuchlanishning qiymati generator o'qining aylanish tezligiga proporsional bo'ladi . Bu proporsionallik aylanishlarning ancha keng diapazonida qayd etilgan. Motorlarning ko'p turlari bo'lgani kabi, generatorlarning turlari ham ko'p bo'ladi. Elektr energiya ishlab chiqaruvchi generatorlarni aylanish tezligini o'lchash uchun ishlatiladigan generatorlardan farqlash maqsadida ohirgilar *taxogenerator* nomi bilan atalgan. Taxogeneratorlarning konstruksiyasi ayni o'lchash amalini bajarish maqsadida yaratilgan bo'ladi. Taxogeneratorlar bilan bir qatorda aylanish sensori sifatida *inkremental enkoderlar* ham keng rivojlanib kelmoqda. Bu sensorlar impulsli signal shodalarini ishlab chiqaradi va signalning chastotasi aylanish tezligiga proporsional bo'ladi. To'g'ri burchakli impulsar shodalarining afzalligi shundaki, aylanish tezligiga proporsional bo'lgan ularning chastotasi bevosita raqamli sistemaga kiritilishi mumkin. Sanoatda raqamli boshqarish sistemalari rivojlanib borayotgani tufayli bu turdagi aylanish tezligi sensorlarga bo'lgan talab oshib borishi tushunarli. Impulsar shodasini bu sensorlar chiqishida muvofiq analoog signalga o'zgartirish kerak bo'ladi. Bu vazifani mahsus

integrator sxemalari bajaradi. Ular f/U konvertor deb ataladi. Aylanish tezligini o'lchashga mo'ljallangan inkremental enkoderlar turli sensorlar bilan turli konstruksiyalarda yaratilishi mumkin. Enkoderning konstruksiyasi uni ishlatish joyidagi sharoitga, o'rnatish va servis xizmat ko'rsatish qulayligiga bog'liq. Enkoderdan chiqqan impulslar shodalari elektron usullarida qayta o'zgartirilishi mumkin.

Tezlik sensorlarida chastota aniq vaqt birligida kelgan impulslar sonini sanash yo'li bilan aniqlanadi va shu bilan birga impuls uzunligini o'lchash ham tezlikni aniqlashda ishlatiladi. Bu usul tezligi juda kichik bo'lgan aylanishlarni o'lchashga qulay. Aylanma xarakatlarning tezligini o'lchash bilan birga aylanish burchagini o'lchash ham ahamiyatga ega. O'lchashlarning bu turi siljish masofasi va burchaklarni o'lchash bo'limida ko'rib chiqiladi.

2.3.1 Taxogeneratorlar

Elektr mashinalar uch turga bo'linadi. Bu uch fazali o'zgaruvchan tok, o'zgaruvchan va o'zgarmas tok mashinalari. Elektr mashinalarning hamma turi generator rejimida ishlatilishi mumkin. Bunda mashina aylanish tezligiga proporsional bo'lgan kuchlanish ishlab chiqaradi. Kuchlanish bilan aylanish tezligi biri biriga bog'liq bo'lgani tufayli kuchlanishni o'lchash yo'li bilan tezlik aniqlanadi. Kuchlanish bilan aylanish tezligining bog'lanish funksiyasi iloji boricha chiziqli bo'lishi talab etiladi. Bunday talablar elektr energiya ishlab chiqaruvchi elektr mashinalarga qo'yilmagan. Shu sababli taxogeneratorlar

maxsus konstruksiyada yaratilgan elektr mashinalar bo'ladi.

Taxogeneratorlarning quyidagi turlari bo'ladi:

- uch fazali o'zgaruvchan tok generatori
- uch fazali o'zgaruvchan tok generatori yarimo'tkazgichli to'g'rilagich bilan
- o'zgaruvchan tok generatori
- kommutatorli o'zgaruvchan tok generatori
- shchyotkasiz o'zgarmas tok generatori

Bularning farqi generator aylanganda kuchlanish yoki elektr energiya ishlab chiqarish prinsipiga bog'liq.

Taxogenerator turlarining ishlash prinsiplarini ko'rib chiqishdan avval, ularga taaluqli bo'lgan tushunchalarni beramiz:

Konstruksiyasi

Taxogeneratorlarning ichi bo'sh o'q (A4), minbar(p'yedestal) (V3), aylanish tomonida flyanesli V(10) va kallak plata vositasida o'rnatiladigan (V14) konstruksiyalari mavjud. Qavs ichidagi xarf va raqamlar DIN standartidagi taxogeneratorlarning muvofiq konstruksiyalarining belgisini ko'rsatadi.

IP.. belgisi bevosita kontakt, begona jism yoki suv tegishidan himoya borligini ko'rsatadi. Taxogeneratorlarning ko'p turlarida IP54 belgisi bo'ladi. Bu

belgi taxogenerator zararli chang zarrachalari va atrofdan tushishi mumkin bo'lgan suv tomchilaridan himoya qilinganligini ko'rsatadi. Taxogeneratorlarning himoyalovchi qobiqlari to'g'risidagi ma'lumot DIN 40 050 standartida keltirilgan. Portlash extimoli bor muhitda ishlatiladigan taxogeneratorlarga alohida talablar qo'yiladi.

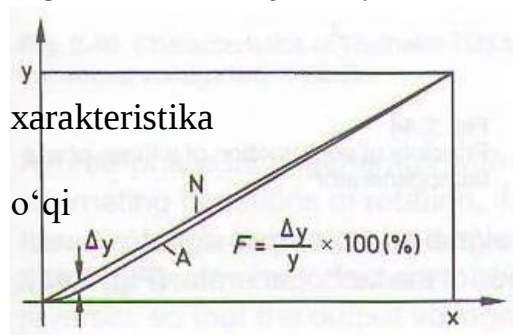
Nominal aylanish tezligi; nominal kuchlanish; nominal tok

O'lchash diapazonining chegarasidagi eng katta aylanish tezligi *nominal tezlik* deb ataladi. Nominal aylanish tezligiga muvofiq bo'lgan taxogeneratorning chiqish kuchlanishi *nominal kuchlanish* deb ataladi ; agar taxogenerator chiqishida o'lchanadigan kattalik tok bo'lsa , uning eng katta qiymati *nominal tok* deb ataladi. Odatda nominal tok taxogeneratorning aylanish tezligi minutiga 1000 aylanishga teng bo'lgandagi nominal yuklamadagi tokning qiymatiga teng bo'ladi. Shuning uchun taxogeneratorning nominal yuklamasi ishlab chiqaruvchi tomonidan asbobning spesifikatsiyasida qayd etiladi.

Xarakteristikalari; chiziqlilik xatosi

Taxogeneratorning nazariy faktlar asosida olingan kirish va chiqishining grafik ifodasi *nominal xarakteristikalar* deb ataladi.

Nuqtama nuqta o'lchash asosida aniqlangan kattaliklar *o'lchangan xarakteristika* deb ataladi. Nominal xarakteristikaning chiziqli yo'nalishdan og'ishi *chiziqlilik xatosi* deb ataladi. Taxogeneratorning bu xarakteristikasi kuchlanish qiymatlarida yoki nisbiy birlikda, misol uchun nominal kuchlanishga nisbatan foizlarda keltirilishi mumkin (2.43 – rasm). Taxogeneratorni cheklangan tezlik diapazonida ishlatsa uning chiziqlilik xatosi kichik bo'lishi mumkin.



N – nominal xarakteristika
A – o'lchangan

x - aylanish tezligining

y - kuchlanish o'qi

F - chiziqlilik xatosi

2.43 – rasm Taxogeneratorning chiziqlilik xatoligi

Maksimal aylanish tezligi

Taxogeneratorning maksimal aylanish tezligi ishlab chiqaruvchi tomonidan ko'rsatiladi 10 000 rpm (rotate per minute - minutiga 10 000 aylanish) bo'lgan maksimal tezlik zamonaviy taxogeneratorlar uchun kam uchraydigan hodisa bo'lmay qolgan. Uch fazali o'zgaruvchan tok taxogeneratorlarida maksimal tezlik ishlatilgan to'g'rilagich diodlarining maksimal teskari kuchlanishga

chidash imkoni bilan chegaralangan. Taxogenerator komponentlarini muvofiq tanlash yo'li bilan maksimal aylanish tezligini mexanik jixattan imkoni bor chegaragacha kengaytirish mumkin.

O'zgarmas tok taxogeneratorlarining maksimal aylanish tezligini kommutator konstruksiyasi va armaturasining maksimal aylanish tezligi chegaralaydi.

Pulsatsiya faktori

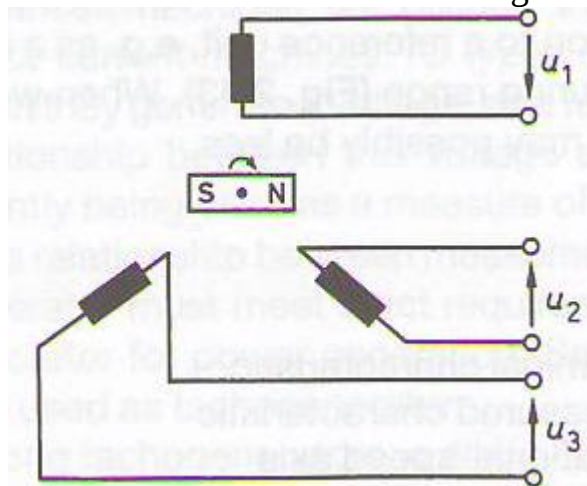
To'g'rilagichli uch fazali hamda o'zgarmas tok taxogeneratorlarining chiqish signalida to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyalari (pulsatsiya faktori) mavjud bo'ladi. Pulsatsiya faktori taxogeneratorning aylanish tezligi va yuklamasiga bog'liq bo'ladi. Bunga montaj xatoligi va o'qlarni biriktirish xatoligi ham o'z ulushini qo'shadi.

Uch fazali taxogeneratorlarda pulsatsiya faktori fazalar soni va to'g'rilagich sxemasiga bog'liq.

Kommutatorli o'zgarmas tok taxogeneratorining bir necha parametri armaturasining aylanish tezligi va konstruksiyasiga bog'liq. Agar taxogeneratorning reaksiya vaqtida mavjud bo'lgan kechikish chegaralansa, pulsatsiyalarni filtr sxemasi bilan kamaytirish mumkin.

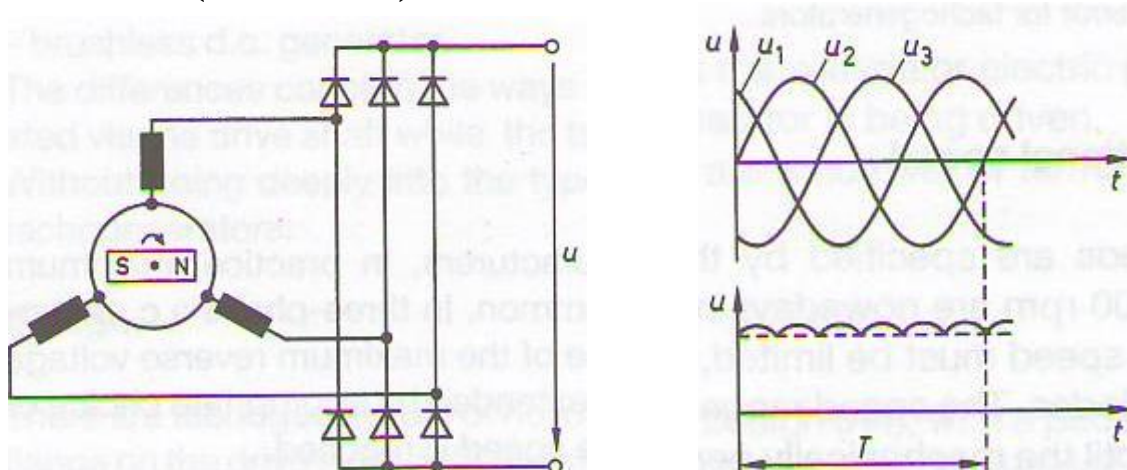
2.3.1.1 Uch fazali taxogeneratorlar

Uch fazali taxogenerator laminat plastinadan yig'ilgan rotor va mis simdan o'ralgan uch fazali statordan tashkil topgan. Aylanadigan rotor bu aluminiy nikel kobalt qotishmasidan ishlab chiqarilgan doyimiy magnit. Doyimiy magnit aylanib, stator o'ramlarida kuchlanish yaratadi. Stator o'ramlarining joylashish tartibi har birida hosil bo'lgan kuchlanish biri biridan 120 °ga farq qilib, uchta fazani tashkil qiladi. Uchta fazali stator o'ramlari biri biri bilan yulduz sxemasida ulanadi. 2.44 – rasmda taxogeneratorning tuzilishi ko'rsatilgan.



2.44 –rasm Uch fazali taxogeneratorni tuzilish prinsipi

Taxogenerator chiqishidagi o'zgaruvchan kuchlanishni o'zgarmas tok signaliga o'zgartirish uchun uning yuklama tomoniga uch fazali to'g'rilagich ulanadi (2.45 – rasm).



2.45 –rasm Uch fazali o'zgaruvchan tok taxogeneratorining tuzilishi va ishlash prinsipi

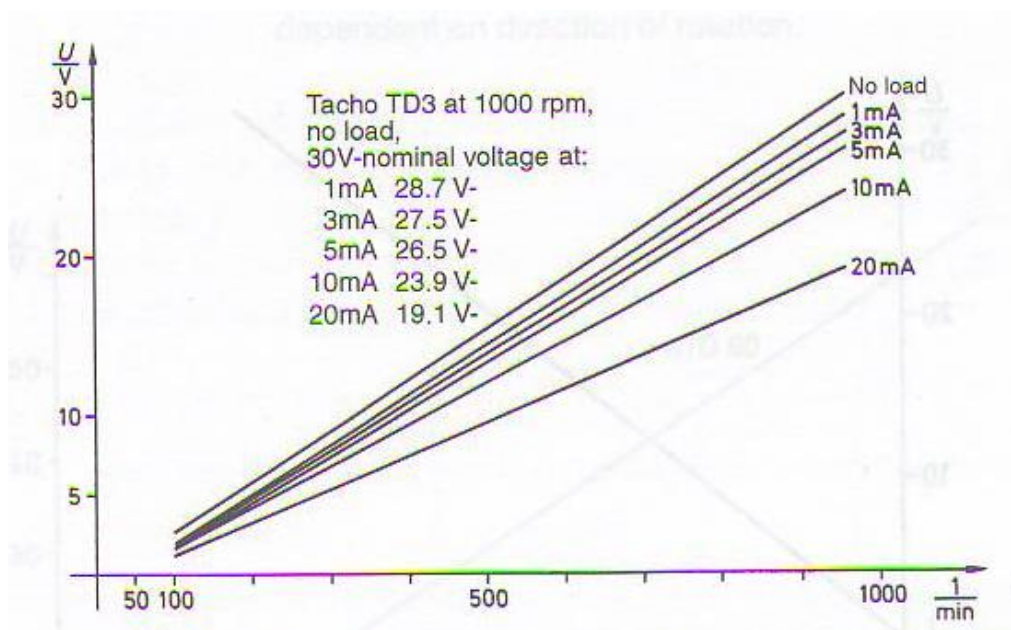
Uch fazali taxogeneratorlarning maksimal aylanish tezligi 10 000 rpm dan oshadi. Elektr kontaktlari va ishqalanadigan shchyotkalari bo'lmagani tufayli bu taxogeneratorlarga texnik xizmat ko'rsatishni xojati yo'q. Rotordagi permanent (doyimiy) magnit hosil qilgan aylanuvchi magnit maydon stator o'ramlarida aylanish tezligiga proporsional bo'lgan kuchlanish hosil qiladi, taxogeneratorda boshqa quvvat manbasiga ehtiyoj yo'q. Taxogenerator chiqishidagi to'g'rilangan kuchlanishning qiymati faqat rotorning aylanish tezligiga bog'liq, aylanish yo'nalishidan qat'iy nazar.

Misol: TD 3 Thalheim uch fazali taxogeneratori (xarakteristikalar **2.46 –rasmda** ko'rsatilgan)

Uch fazali taxogenerator unga ulangan uch fazali to'g'rilagich ko'prigi bilan.

Yuklama yo'q bo'lgandagi chiqish kuchlanishi o'zgarmas kuchlanish $30 \text{ V} \pm 3 \%$ (1000 rpm da)

Chiziqlilik xatosi	1 %
Chiziqlilik xatosining kamaytirilgan qiymatlari	$\pm 0,1 \%$ $100 \text{ rpm} \leq n \leq 1000 \text{ rpm}$
Aylanish yo'nalishi:	revers (ikki tomonga)
Chiqish signalining qutbi:	aylanish yo'nalishiga bog'liq emas
Maksimal tezligi:	8000 rpm



2.46 - rasm TD 3 Thalheim taxogeneratorining xarakteristikalari. Mahsus turlarining chiqish kuchlanishlari to'g'rilagichsiz 3 x 22,5 V ga teng.

Uch fazali taxogeneratorlar to'g'rilagichlari bilan aylanish tezligini o'lchash bilan birga chiqish signalidan aylanish yo'nalishini aniqlash zarur bo'lsa, bu vazifani bajara olmaydi. Bu vazifani bajarish uchun taxogenerator ishlab chiqaruvchilari mahsus qutb o'zgartgichlarini yaratganlar. Bu qurilma taxogenerator aylanish yo'nalishini o'zgartirganda chiqishidagi o'zgarma kuchlanishning qutbini o'zgartiradi. Lekin bunday taxogeneratorlarning aylanish tezligi chegaralangan, chunki aylanish yo'nalishini aniqlash signali hosil bo'lishiga ma'lum vaqt sarflanadi, buning uchun rotor kam deganda chorak aylanaga burilishi kerak bo'ladi. Taxogenerator xarakteristikalarining boshlanish qismida chiziqlilikdan chekinishni ko'rishimiz mumkin (2.46-rasm).

Xarakteristikadagi bu noxiziqlikni elektron sxemalar yordamida kamaytirib, ideal xarakteristikaga erishish mumkin. Xarakteristikadagi noxiziqlik ayniqsa kichik, 1 rpm dan kam, tezliklarda namoyon bo'ladi.

2.3.1.2 O'zgaruvchan tok taxogeneratorlari

To'g'rilagichli va to'g'rilagichsiz uch fazali taxogeneratorlar bilan bir qatorda o'zgaruvchan tok taxogeneratorlari ham bor. Ularning konstruksiyasi uch fazali taxogeneratorlardan soddaroq bo'lib, teskari ishlagan o'zgaruvchan tok motori bo'ladi. Bu taxogeneratorlar o'zgaruvchan kuchlanish generatsiya qiladi va uning chiqish signali aylanish yo'nalishiga bog'liq emas.

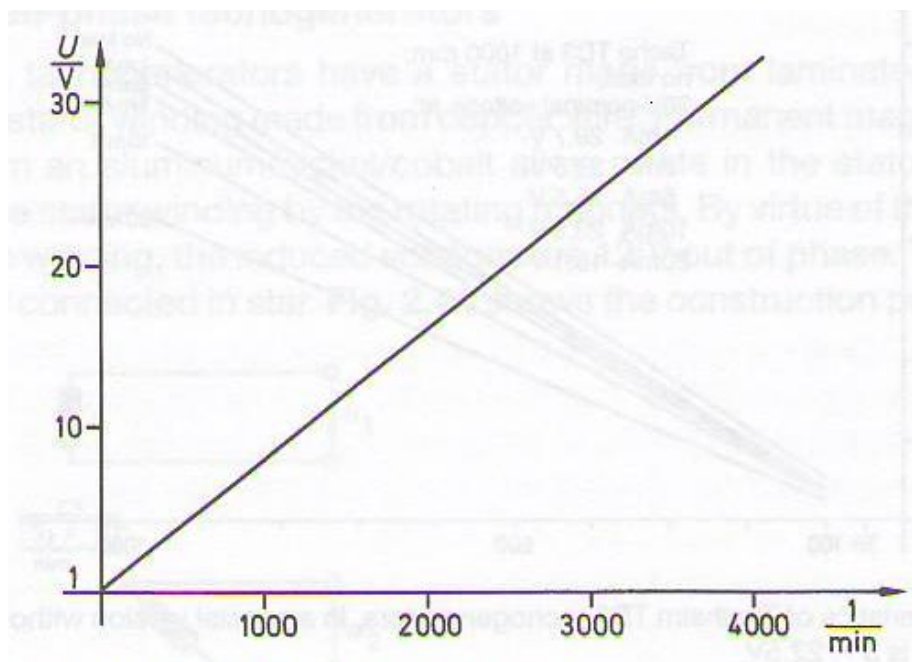
Misol : Thalheim WTD 3 o'zgaruvchan tok taxogeneratori (2.47 – rasmdagi xarakteristikaga qarang).

Yuklamasiz chiqish kuchlanishi: sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanish $9V \pm 3\%$
(1000 rpm)

Chiziqlilik xatosi $\pm 0,5\%$

Aylanish yoʻnalishi:
Maksimal tezligi :
Qutbligi :

revers imkoni bor
8000 rpm
aylanish yoʻnalishiga bogʻliq emas



2.47 – rasm Thalheim WTD 3 taxogeneratorining xarakteristikasi

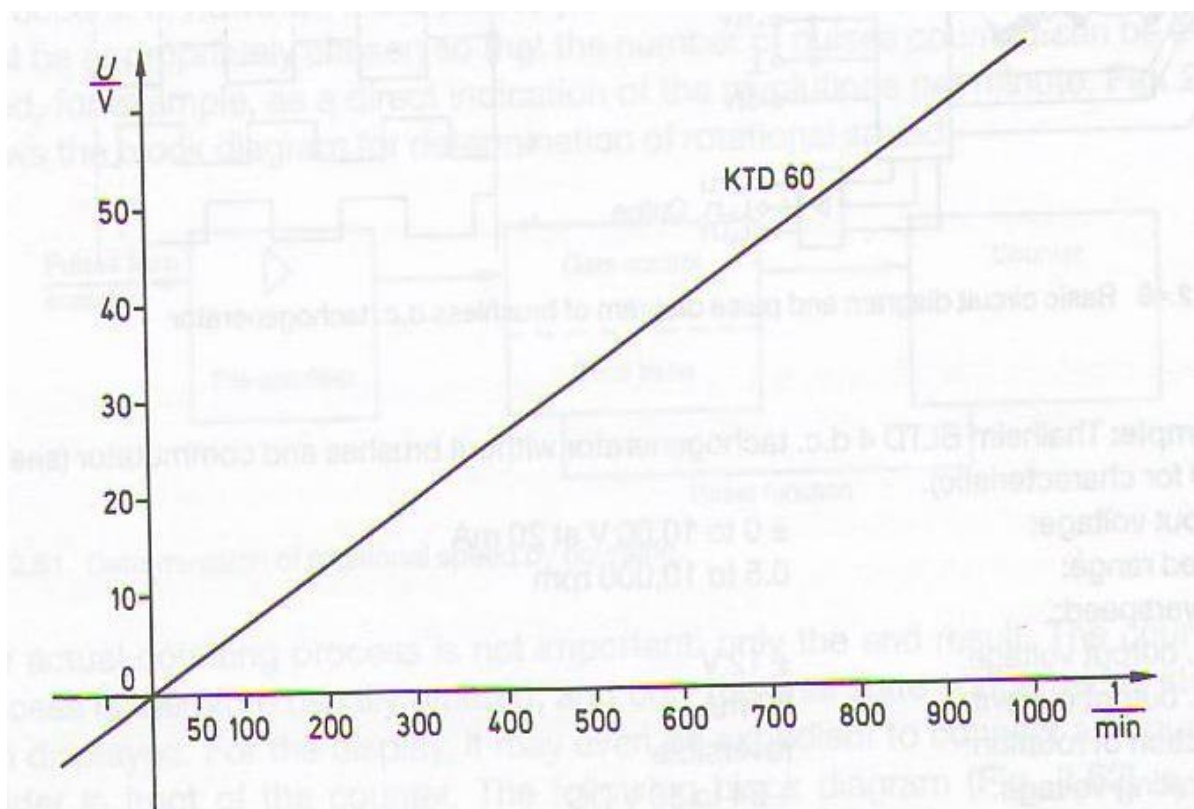
2.3.1.3 Oʻzgaras tok taxogeneratorlari kommutatori bilan

Oʻzgaras tok taxogeneratorlarida magnit maydonni statorga joylashtirilgan magnitlar yaratadi. Motorning oʻqi aylanganda, unga joylashtirilgan yakor oʻramlarida kuchlanish induksiyaladi. Yakor oʻramlari yuklamaga ulanganda, uning oʻramlari orqali tok oqa boshlaydi. Kuchlanish yakordan shchiotkalar orqali va kommutator yordamida olinadi va ikki shchiotkadagi kuchlanish qutblari yakorning aylanish yoʻnalishiga bogʻliq boʻladi. Oʻzgaras tok taxogeneratorining xarakteristikasi chiziqli va nolga nisbatan simmetrik boʻladi. Xarakteristikaning chiziqlilikdan chekinishiga shchiotkalarning kontakt qarshiligi, yakorning reaksiyasi, poʻlat oʻzakdagi yoʻqotishlar va tokning oʻzgarib turishlariga sababchi boʻladi. Bu xatoliklar ayniqsa yuqori tezliklarda oʻzini koʻrsatadi. Kommutatorli oʻzgaras tok taxogeneratorlarining xususiyatlaridan biri bu reverslash xatoligi. Aylanish yoʻnalishi oʻzgarib, kommutator qutbni almashtirganda shchiotkalar uyasidan bir oz koʻtariladi va oʻlchash zanjiridagi tokni oʻzgartiradi. Shuning uchun oʻzgaras tok taxogeneratorlarini uzliksiz tekshirib turish va unga texnik xizmat koʻrsatib turish kerak. Birinchi navbatda kommutator va shchiotkalar, ikkinchidan - podshipniklar tekshirilishi kerak.

Ayniqsa aylanish yoʻnalishini koʻp oʻzgartirib turadigan taxogeneratorlarni tez tez tekshirib turish kerak.

Misol: Thalheim KTD 60 taxogeneratori kommutatori va shchetkalari bilan (xarakteristikasini 2.48 – rasmda ko‘ring)

Yuklamasiz chiqish kuchlanishi:	o‘zgarmas kuchlanish $66V \pm 5\%$ (1000 rpm)
Nominal kuchlanishi:	60 V
Nominal toki :	67 mA ($800 \text{ rpm} \leq n \leq 3000 \text{ rpm}$)
Chiziqlilik xatosi:	0,15 %
Aylanish yo‘nalishi:	reverslash imkoni bor
Maksimal tezligi:	9000 rpm
Qutbli:	aylanish yo‘nalishiga bog‘liq



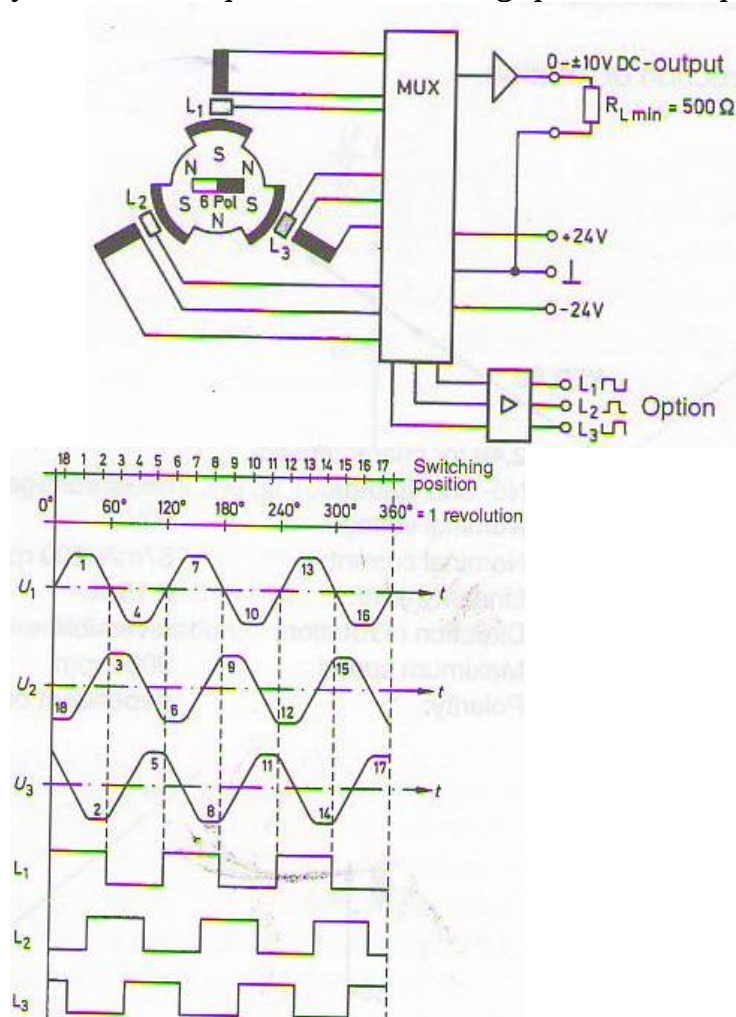
2.48 – rasm Thalheim KTD 60 taxogeneratorining xarakteristikasi

2.3.1.4 Shchyotkasiz o‘zgarmas tok taxogeneratorlari

Kommutator va shchyotkalarga kabi tez yeyiladigan qismlari bo‘lmagan taxogeneratorlar tezligi juda keng diapazonda o‘zgarib katta qiymatlarga ko‘tariladigan qurilmalardagi aylanish tezligini o‘lchash uchun ishlatiladi. Bu taxogeneratorlarning konstruksiyasi uch fazali sistemalarga o‘hshaydi, ularning rotori ko‘p qutbli va statori uch fazali o‘ramlardan tashkil topgan. Permanent magnitlar ham rotorda joylashtirilgan. Induksiyalangan kuchlanish deyarli trapesiya shaklida bo‘lib, ularning fazalari biri biriga nisbatan farqlanadi.

Katta tezlikda kuchlanishning shakli to‘g‘ri burchakli impuls larga o‘zgaradi. Bu juda yuqori chastotalarda ishlaydigan sensorlarda (Xoll generatori magnit maydonida ishlatilganda) va multipleksorlarda uchraydi (2.49 – rasm).

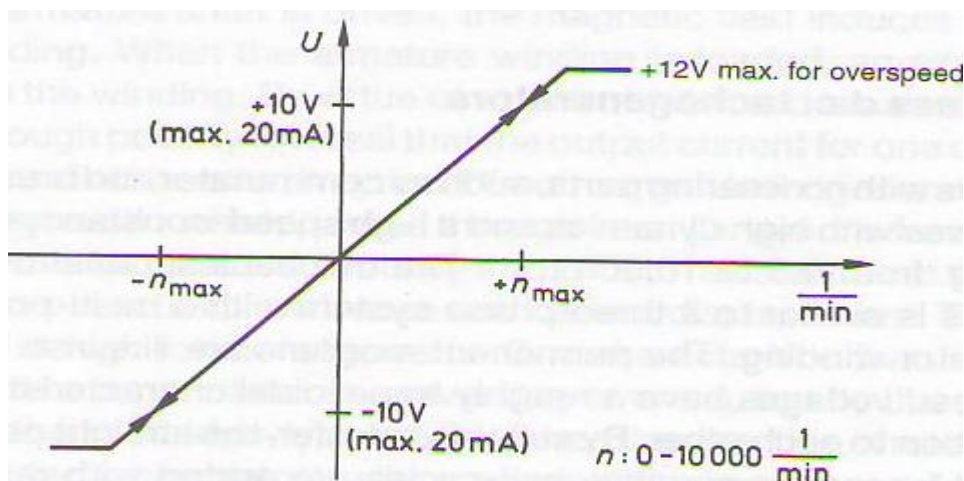
Bu taxogenerator chiqishiga ulangan elektron qurilma vositasida o'qining aylanish tezligiga proporsional bo'lgan kuchlanish olish mumkin. Aylanish yo'nalishi chiqish kuchlanishning qutbidan aniqlanadi.



2.49 - rasm Shchyotkasiz taxogeneratorning asosiy sxemasi va vaqt diagrammalari

Misol: Thalheim BLTD 4 shchyotkasiz va kommutatsion o'zgaras tok taxogeneratori (xarakteristikasini 2.50 –rasmda ko'ring)

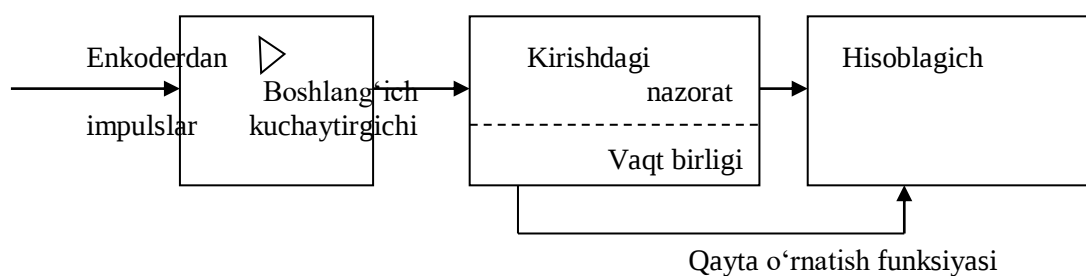
Chiqish kuchlanishi:	± 0 dan 10,00 V gacha 20 mA tokida
Aylanish tezligi:	0,5 dan 10 000 rpm
Tezlik chegaradan chiqqanda:	
Maksimal chiqish kuchlanishi:	$\pm 12V$
Maksimal chiqish toki:	30 mA
Aylanish yo'nalishi:	revers imkoni bor
Manbadan oladigan kuchlanishi:	+ 24 dan 30 V gacha
Qutbliqi:	aylanish yo'nalishiga bog'liq



2.50 – rasm Thalheim BLTD 4 taxogeneratorining xarakteristikasi

2.3.2 Inkrementli tezlik enkoderi.

Inkrementli tezlik enkoderlari rotorining har bir aylanishiga aniq son impulslardan tashkil topgan impulslar shodasini ishlab chiqaradi. Eng oddiy holda impuls bitta bo'lishi mumkin, lekin shodadagi impulslar soni 10 000 gacha bo'lishi mumkin. Shodadagi impulslar soni o'lchash tezligini belgilaydi. Shodadagi impulslar soni integrallash yoki hisoblash bilan aniqlanadi. Sanash usulida belgilangan vaqt ichida kelgan impulslar soni sanaladi. Agar belgilangan vaqt 1 s bo'lsa, sanalgan impulslar soni chastotani gerslarda (Hz) ko'rsatadi, 1 minut bo'lganda esa bir impuls bir aylanishga to'g'ri kelgandagi o'qning aylanish tezligini ko'rsatadi. Agar enkoder g'ildirakning bir aylanishiga bir nechta impuls ishlab chiqarsa, impulslarni sanashdagi vaqt birligini shunday tanlash kerakki, shu vaqt ichidagi impulslar soni g'ildirakning bir minut qancha aylanganiga to'g'ri kelsin. Shunda enkoder g'ildirak aylanish tezligini rpm – minutiga aylanishlar soni bilan o'lchaydi. 2.51 – rasmda aylanish tezligini aniqlash qurilmasining funksional sxemasi keltirilgan.



2.51 – rasm Aylanish tezligini o'lchash prinsipi

Aylanish tezligini o'lchashda impulslar sonini sanash jarayonini ahamiyati yo'q, faqat yakuniy natija kerak bo'ladi. Shuning uchun bunday o'lchashlarda impulslar sonini sanash jarayoni ko'rsatilmay, faqat yakuniy natija displeyda aks ettiriladi. Ko'p hollarda hisoblagichning oldiga chastota bo'luvchisini ulash o'lchash jaryonini ancha osonlashtiradi. 2.52 – rasmda aylanish tezligini o'lchash uchun ishlatiladigan universal qurilmaning funksional sxemasi keltirilgan.

1 – misol

Enkoder bir minutiga ikkita impuls ishlab chiqaradi. Aylanish tezligi 60 rms – minutiga 60 aylanish. O'lchash natijasi 0000 – 9999 aylanish / minutiga formatida aks ettirilishi kerak. Qanday vaqt birligida impulslar sonini sanash kerak?

Yechim:

$2 \times \frac{60}{60}$ ta impulslar minutiga ishlab chiqariladi. Shunda, chastota bo'luvchisi 1 : 1 masshtabida ishlasa 60 rpm ni sanash uchun 30 s kerak bo'ladi.

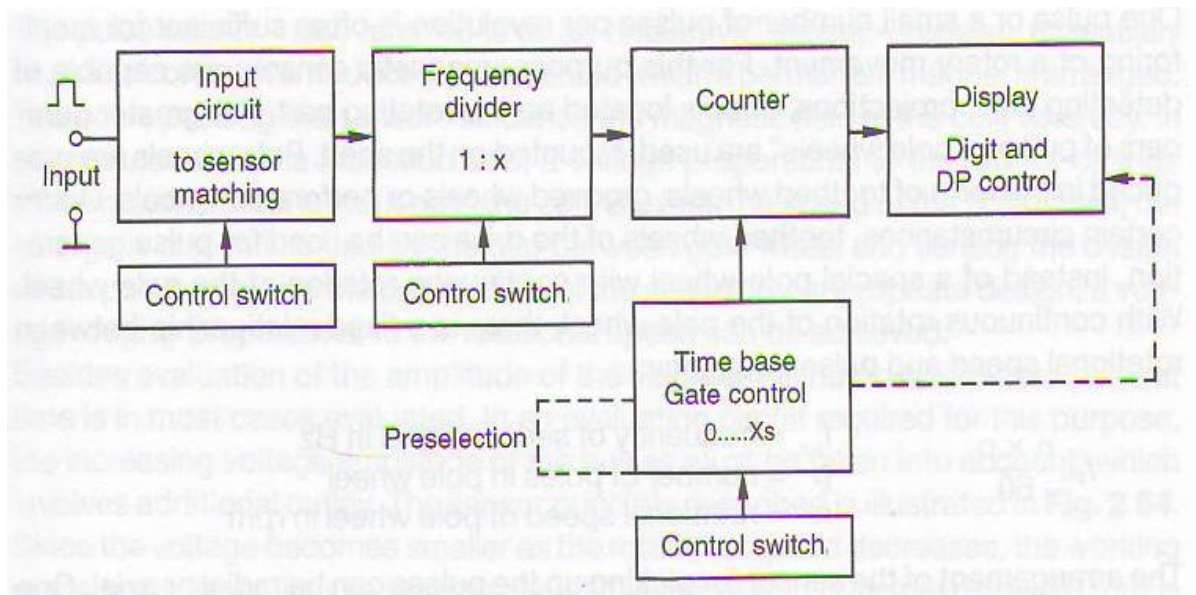
Bu vaqt birligi juda katta bo'lgani tufayli amalda ishlatilgan enkoder tezlikning o'zgarishlarini har 30 sekundda bir martta ko'rsatadi.

2– misol

Enkoder bir minutda 150 ta impuls ishlab chiqaradi. Aylanish tezligi 60 rms. O'lchash natijasi 0000 – 9999 aylanish / minutiga formatida aks ettirilishi kerak. Impulslar sonini qanday vaqt ichida sanash kerak ?

Yechim:

$150 \times \frac{60}{60}$ ta impuls sekundiga ishlab chiqariladi. Chastota bo'luvchisi 1 : 1 masshtabida ishlatilsa, vaqt birligi 0,4 s bo'ladi.



2.52 – rasm Aylanish tezligini o'lchash uchun ishlatiladigan universal o'lchagichning funksional sxemasi

Qurilmaning tezlik displeyi to'rt dan oltigacha dekadali bo'ladi. Kirish sxemasi impuls parametrlarini raqamli sxemalarida ishlatiladigan impuls parametrlariga to'g'rilab beradi va kirish - chiqishlarni muvofiqlashtiradi. Odatda impulsning maksimal chastotasi 20 kHz bo'ladi,

lekin ishlab chiqaruvchilar chastotasi 1 MHz dan yuqori bo'lgan enkoderlarni ham ishlab chiqara boshlagan. Enkoderlarda qabul qilingan vaqt birliklari kvars bilan mo'tadillashtirilgan va dastur bilan 0,01 dan 9,99 s gacha o'rnatilishi mumkin. Chastota bo'luvchisining impuls sonini bo'lish nisbati 1 : 1 dan 1 : 10 000 gacha o'rnatilishi mumkin. Natijadagi o'nlik kasr nuqtasi xoxlagan yeriga o'rnatilishi mumkin.

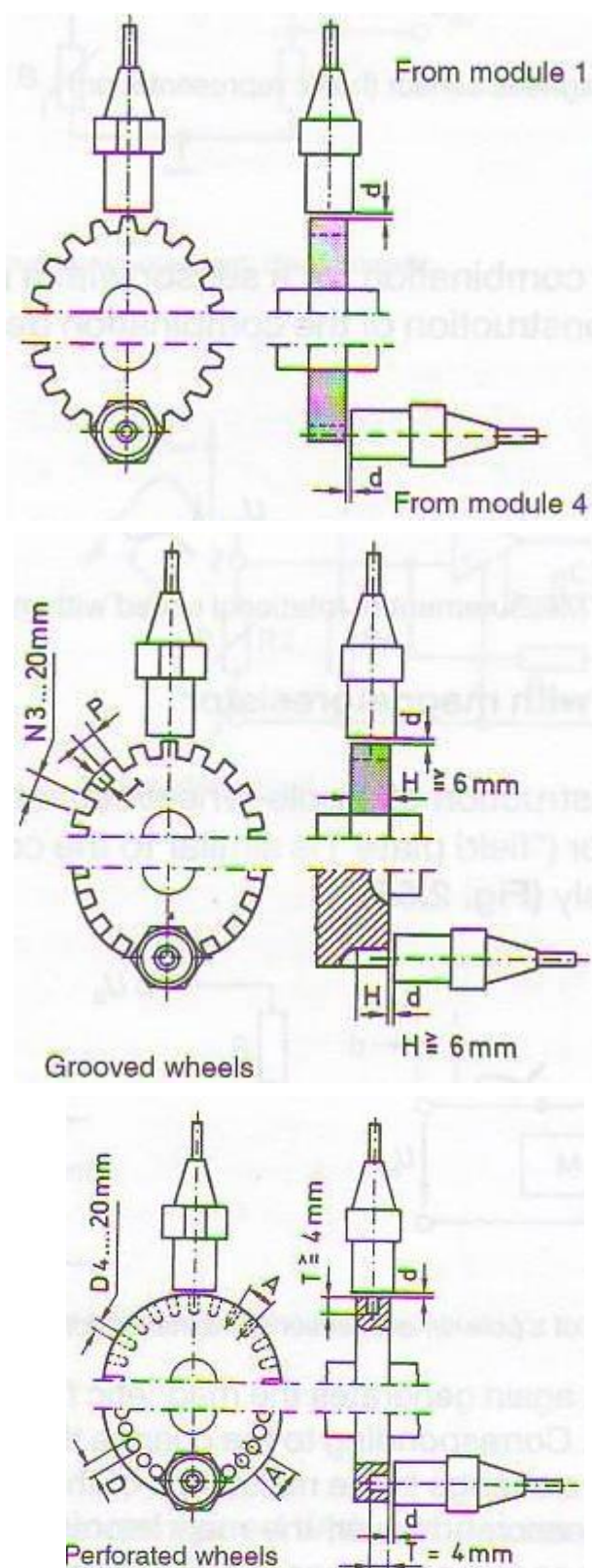
2.3.2.1 Magnit sensorlari bilan aylanish tezligini o'lchash

Aylanma xarakatni nazorat qilish va tezligini o'lchash uchun bitta yoki bir nechta impuls kifoya qiladi. Bu impulsni yaratish uchun magnit sensorlar juda qo'l keladi. Ular yordamida aylanib turgan g'ildirakning gardishiga o'rnatilgan magnit quloqchalar yoki aylana bo'yicha perforatsiya (kovakchalar) aniqlanadi. G'ildirakni bir aylanishiga ko'proq impuls olish uchun aylanadigan o'qqa o'rnatilgan qutbli g'ildirak ishlatiladi. Qutbli g'ildiraklarning gardishida tishlar, graverlangan urkachlar yoki yuzasida aylana bo'yicha perforatsiya qilingan bo'ladi. Bu tishli yoki perforatsiyali g'ildiraklar aylanganda impulsni generatsiya qilish uchun ishlatiladi. Qutbli g'ildirak uzluksiz aylanganda, uning aylanish tezligi bilan generatsiya bo'lgan impuls chastotasi orasida aniq bog'lanish bor:

$$f_{pol} = \frac{n \times p}{60}$$

f_{pol} – censordan olingan signalning chastotasi, Hz
 p – qutbli g'ildirakdagi qutblar soni
 n – qutbli g'ildirakning aylanish tezligi, rpm

Sensor qutbli g'ildirakka nisbatan aksial (o'qiga nisbatan) va radial (g'ildirakning radiusiga nisbatan) joylashtirilishi mumkin. Bunda asosiy talablardan biri – qutbli g'ildirak ferromagnit materialidan bo'lishi kerak, chunki magnit sensorning magnit maydoniga faqat ferromagnit material (temir) ta'sir ko'rsatishi mumkin. 2.53 – rasmda qutbli g'ildirak va magnit sensorlarning turlari xamda ularni biri biriga nisbatan o'rnatilishidan namunalar ko'rsatilgan.

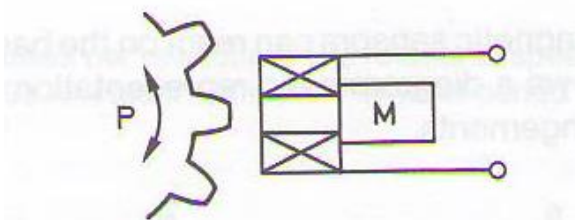


2.53 – rasm Qutbli g'ildiraklar va sensorlarning o'rnatilishi

Elektromagnit sensorlar

Induktiv sensor deb atalgan impulsli sensor ichida po‘lat o‘zakli induktiv g‘altak va yoniga joylashtirilgan permanent magnitdan iborat bo‘ladi. Sensor yonidan o‘tib ketgan qutb (magnit material bo‘lakchasi) induktiv g‘altakning magnit maydoniga ta‘sir ko‘rsatadi va induksiya qonuniga muvofiq g‘altakda o‘tib ketgan qutbning o‘lchamlariga muvofiq kuchlanish hosil bo‘ladi. Agar qutbli temir g‘ildirak yuzasida kovakchalar bo‘lsa, aylangan g‘ildirakning har bir kovakchasi induktiv g‘altakda bitta impuls yaratadi. G‘ildirakdagi qutblar shaklini tanlash va ularga nisbatan sensorni o‘rnatish yo‘li bilan sensordagi induktiv g‘altakda xosil bo‘ladigan kuchlanishning amplitudasini aylanish tezligiga proporsional qilish mumkin.

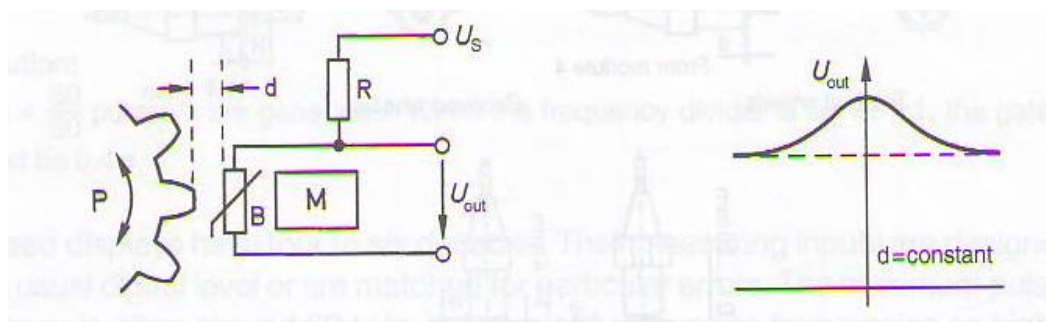
Sensorda hosil bo‘ladigan kuchlanishning amplitudasini o‘lchash bilan birga g‘ildirak aylanishi natijasida hosil bo‘lgan impulslar sonini sanash ham amaliy ahamiyatga ega. Impulslar sonini sanash sxemasi ularning amplitudasini ham o‘lchab, g‘ildirakning aylanish tezligi to‘g‘risida qo‘shimcha ma‘lumot olish mumkin. 2.54 – rasmda sensorning ishlash prinsipi ko‘rsatilgan. Bunda aylanish tezligining kamayishi sensor chiqishidagi kuchlanishni pasayishiga olib keladi va shu sababli sensorning ishlash diapazoni past tezliklarda cheklangan bo‘ladi. Bu prinsip bilan 10 rpm dan kichik tezliklarni o‘lchash imkoni yo‘q.



2.54 – rasm Magnit sensor bilan aylanish tezligini o‘lchash (asosiy prinsip)

Magnitorezistorli sensorlar

Qutbli g‘ildirak bilan magnitorezistorli sensorni biri biriga nisbatan joylashtirilishi yuqorida ko‘rib chiqilgan magnit sensorlar bilan bir hil (2.55 – rasm).



2.55 - rasm Magnitorezistorli sensorning ishlash prinsipi va konstruksiyasi

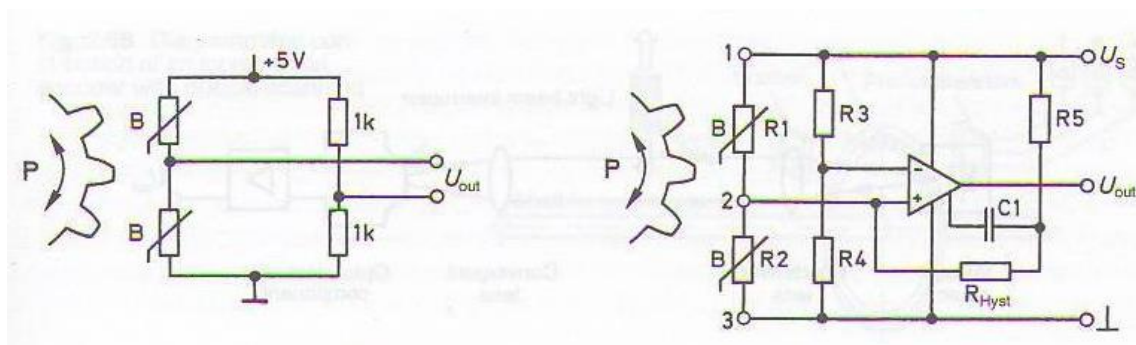
Permanent magnit magnitorezistor joylashgan yerda magnit maydon hosil qiladi, qutbli g'ildirakning qutblari bu maydonni o'zgartiradi. Magnit maydonni o'zgarishi magnitorezistorning qarshiligini o'zgartiradi. Agar magnit sensorga qo'shimcha kuchlanish manbasi kerak bo'lmagan bo'lsa, magnitorezistorga 12 V o'zgarmas kuchlanish berish kerak bo'ladi. Qutbli g'ildirakning tishi magnitorezistorning to'g'risiga kelganda, magnit maydon kuchlanishi o'zgargani sababli, uning qarshiligi o'zgarib, unda kuchlanish impulsi hosil bo'ladi. Bu impulsning amplitudasi magnitorezistorning qarshiligini o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Qutbli g'ildirak aylanishidan sensorda hosil bo'lgan impulslar RC zanjir orqali kuchaytirgich sxemasiga uzatiladi. G'ildirakning tishlari qancha katta bo'lsa magnitorezistordan olingan impulslar amplitudasi shuncha katta va stabil bo'ladi. Bu signal kuchaytiriladi va gisterezis xarakteristikasiga ega sxemaga – Shmidt triggeriga berilib, unda xarakteristikasi stabil bo'lgan impulslarga o'zgartiriladi. Impulslarning shakli va parametrlari qutbli g'ildirakning konstruksiyasiga bog'liq bo'lmagani sababli, bu sensor yordamida 0,1 rpm dan kichik bo'lgan tezliklarni ham o'lchash imkoni bor. Magnitorezistorli sensorlarning yana bir afzalligi shundaki, undan olingan signalni ma'lum masofaga uzatib, o'lchash mumkin.

Ikki magnitorezistordan yig'ilgan differensial sensor yuqorida ko'rib chiqilgan sensordan ancha afzalligi bor. Differensial sensorda ikki magnitorezistor yonma yon sensorning yuzasidagi permanent magnitga joylashtiriladi. Magnitorezistorlar o'lchash ko'priks sxemasining ikki yelkasini tashkil qiladi. Sensor yuzasiga yaqin o'tgan g'ildirakning tishi ketma ket ikki magnitorezistorga ta'sir ko'rsatadi. Shunda o'lchash ko'prigining diagonalida signal hosil bo'ladi. Kuchaytirilgan signaldan gisterezisli sxema impulslar yaratadi. 2.56 – rasmda differensial sensorning ishlash prinsipi ko'rsatilgan. Bu sensorning sezgirligi ancha baland va juda kichik tezliklarni o'lchash imkoni bor.

2.3.2.2 Aylanish tezligini optik sensorlar bilan o'lchash

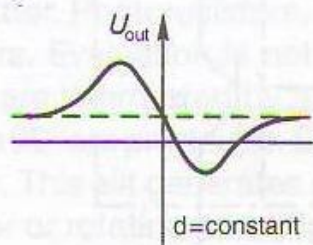
Aylanish tezligi o'lchanishida aylangan jismning bir aylanishida hosil bo'lgan bir yoki bir necha impulslar soni sanaladi. Aylanib turgan g'ildirakni kesib o'tgan yoki uning yuzasidan aks etgan yorug'lik signalini aylanish tezligini o'lchash uchun ishlatish mumkin. 2.57 – rasmda bu ikki o'lchash usulining ishlash prinsiplari ko'rsatilgan. Kesib o'tish usulida aylanib turgan g'ildirakning gardishida yaratilgan tishlar yorug'lik manbasidan sezgir elementga tushib turgan yorug'lik oqimini uzib turadi. Shunda sezgir fotoelementga yorug'lik impulslari tushib, unda elektr impulslarga o'zgartiriladi. G'ildirakdagi tishlar yoki perforatsiya tuyniklarining soni ko'paytirilib, uning bir aylanishiga to'g'ri kelgan impulslar sonini ko'paytirish mumkin. Bu usul tezligini o'lchash kerak bo'lgan aylanib turgan qurilmada yorug'lik oqimini uzib turish imkoni bor elementlari mavjud bo'lgan yerlarda ishlatilishi mumkin.

Ikkinchi usulda aylanib turgan jismning yuzasiga o'rnatilgan oynaklardan aks etgan yorug'lik impulslarini yorug'lik manbasinig yoniga joylashtirilgan fotoelement qabul qilib oladi va elektr impulslarga o'zgartiradi. Bu usul



a) O'lchash prinsipi

b) O'lchash sxemasi



s) Ko'prikdan olinadigan signal

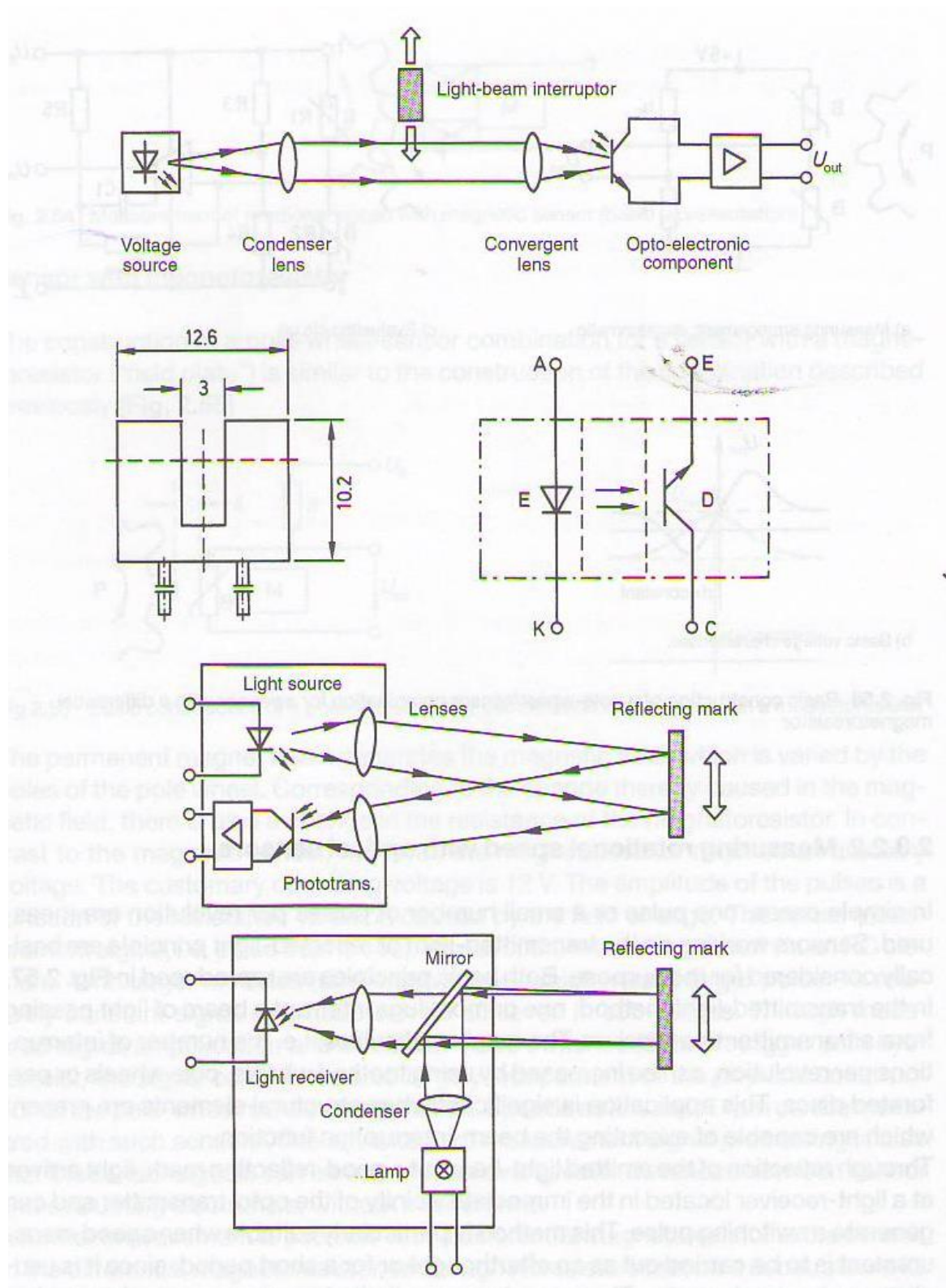
2.56 – rasm Differensial magnitorezistorli sensorning ishlash prinsipi va tuzilishi

aylanish tezligini o'lchash avvaldan nazarda tutilmagan, qisqa vaqt davomida o'lchash zarur bo'lgan va yorug'likni aks etadigan oynakchalar osonlik bilan o'rnatilishi mumkin bo'lgan xollarda ishlatiladi. Lekin o'lchash aniqligini oshirish maqsadida g'ildirakning bir aylanishiga to'g'ri kelgan impulslar sonini ko'paytirish cheklangan.

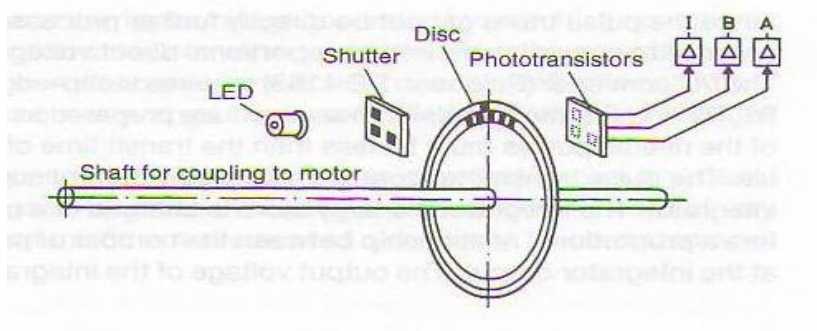
Impulslar sonini ko'paytirish uchun inkrementli enkoderlar ishlatiladi. Bu usulda aylanadigan diskning yuzasida aylana bo'yicha yaratilgan ingichka tirqishlardan kesib o'tgan yorug'lik impulslarni generatsiya qilish uchun ishlatiladi. Diskdagi tirqishlar soni 10 dan 1000 gacha bo'ladi va diskning bir aylanishida muvofiq 10 dan 1000 gacha impuls ishlab chiqariladi. 2.58 – rasmda bunday sensorning ishlash prinsipi ko'rsatilgan.

Yorug'lik manbasi sifatida cho'g'lanuvchi lampa yoki LED yorug'lik diodlari ishlatiladi. Yorug'lik impulslarini qabul qilish sezgir elementlari sifatida fotorezistor, fotodiod yoki fototranzistor ishlatilishi mumkin. Aylanadigan diskning yuzasida aylana bo'ylab yaratilgan tirqishlar bilan birga boshqa qatorda joylashgan, diskning xolatini belgilovchi, tirkish ham bo'ladi. 2.59 – rasmda inkrementli sensorning diskidan olingan impulslar diagrammasi keltirilgan. A va B kanallaridagi impulslar diskda biri biriga nisbatan chorak davrga siljirilgan ikki qator tirqishlardan olingan, alohida kanaldan disk holatini belgilovchi yagona impuls olingan. Inkrementli sensorlarning afzalligi, ularning

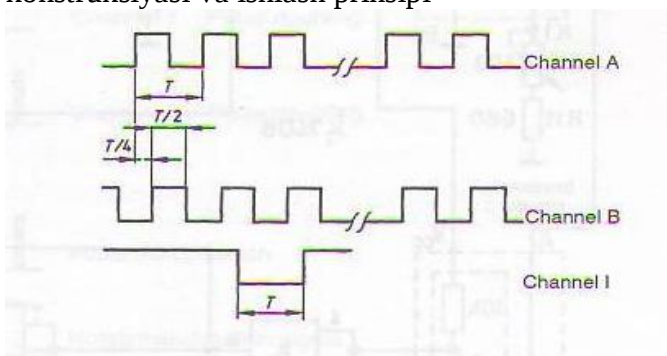
yengilligi va aylanish tezligini o'lchash zarur bo'lgan yerga osonlik bilan o'rnatilishida. Shunda disk jismning aylanish xarakteristikalariga deyarli ta'sir etmaydi. Zamonaviy inkrementli sensorlarda yorug'lik manbasi sifatida infraqizil LED va yorug'likni sezish uchun fototranzistor ishlatiladi. Bu sensorni alohida elementlardan yig'ish mumkin, lekin tayyor yig'ilgan sensorlar ham mavjud.



2.57- rasm Kesib o'tish va aks etish prinsiplarida ishlaydigan optik sensorlarning ishlash prinsiplari



2.58 – rasm Inkrementli enkoderning konstruksiyasi va ishlash prinsipi



2.59 – rasm Inkrementli enkoderning impulsar diagrammasi

Misol

Inkrementli enkoderning xarakteristikalar

Manba kuchlanishi:	4,5 dan 16 V gacha
Bir aylanishga impulsar soni	100
Kanallar soni:	2
Holatni belgilovchi impuls:	yo'q
Fazalar farqi:	davrning 1 / 4 qismi
$\pm 1/18$ qismi	
Impuslarning maksimal chastotasi:	100 kHz $\rightarrow$ 60 000 rpm

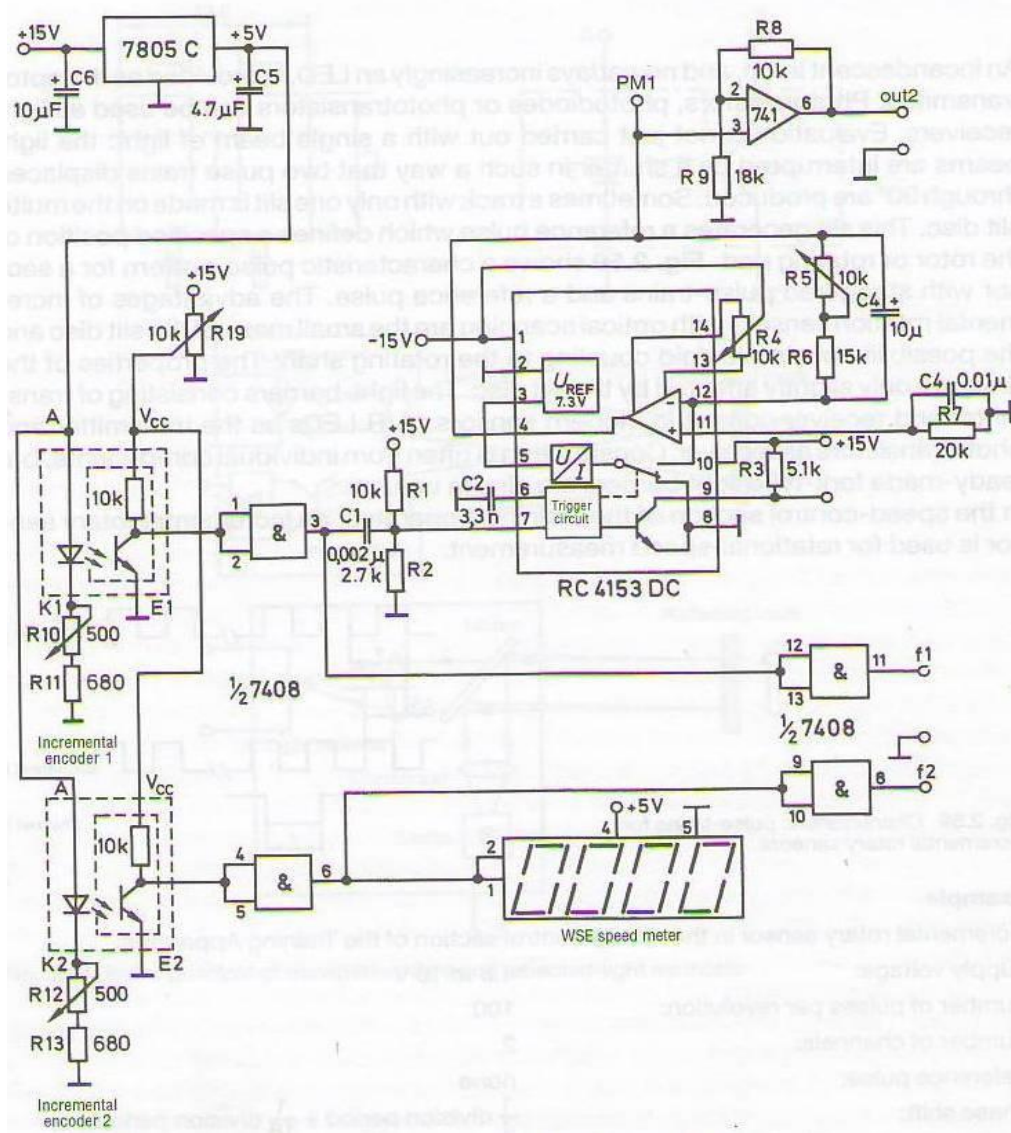
Enkoderdan olingan impulsarni bevosita to'g'ri o'lchashni iloji yo'q bo'lgani sababli, ular f / U kuchlanish – chastota o'zgartgichiga berilib, unda impulsning chastotasi muvofiq o'zgaras kuchlanishga o'zgartiriladi (2.60 – rasm).

f / U o'zgartgichiga (Raytheon RC 4153) qisqa impuls berish kerak. $R1, R2$ va $C1$ elementlarida yig'ilgan differensiallovchi RC –zanjir birinchi enkoderdan kelgan impulsardan igna simon juda qisqa impuls ishlab chiqaradi. Bu impulsning uzunligi ular sensorni kesib o'tishga ketgan vaqtdan kichik bo'lishi kerak. Chastota – kuchlanish o'zgartgichida impuls integrator

sxemasida yig'ilgan o'zgarmas tok manbasini boshqaradi. Integrator chiqishidagi kuchlanish kirishiga kelgan impulslar orasidagi vaqtga proporsional bo'ladi. Shuning uchun vaqt birligida kelgan impulslar soni integratorning chiqish kuchlanishiga proporsional bo'ladi. Bu kuchlanish integratorning 4 – terminalidan olinadi.

Kuchlanishda mavjud bo'lgan pulsatsiyalarni S2 kondensatori tekislaydi, lekin bu o'zgartgichni chastota o'zgarishlariga bo'lgan reaksiyasini pasaytiradi. O'zgartgich sxemasidagi elementlar uning A2 chiqishidagi maksimal kuchlanish kirishidagi impulslar chastotasi 10 kHz bo'lganda erishilishini ta'minlaydi. C4, R5 + R6 va S2 elementlar qiymatlarini o'zgartirish bilan o'zgartgichning chastota diapazonini kengaytirish mumkin.

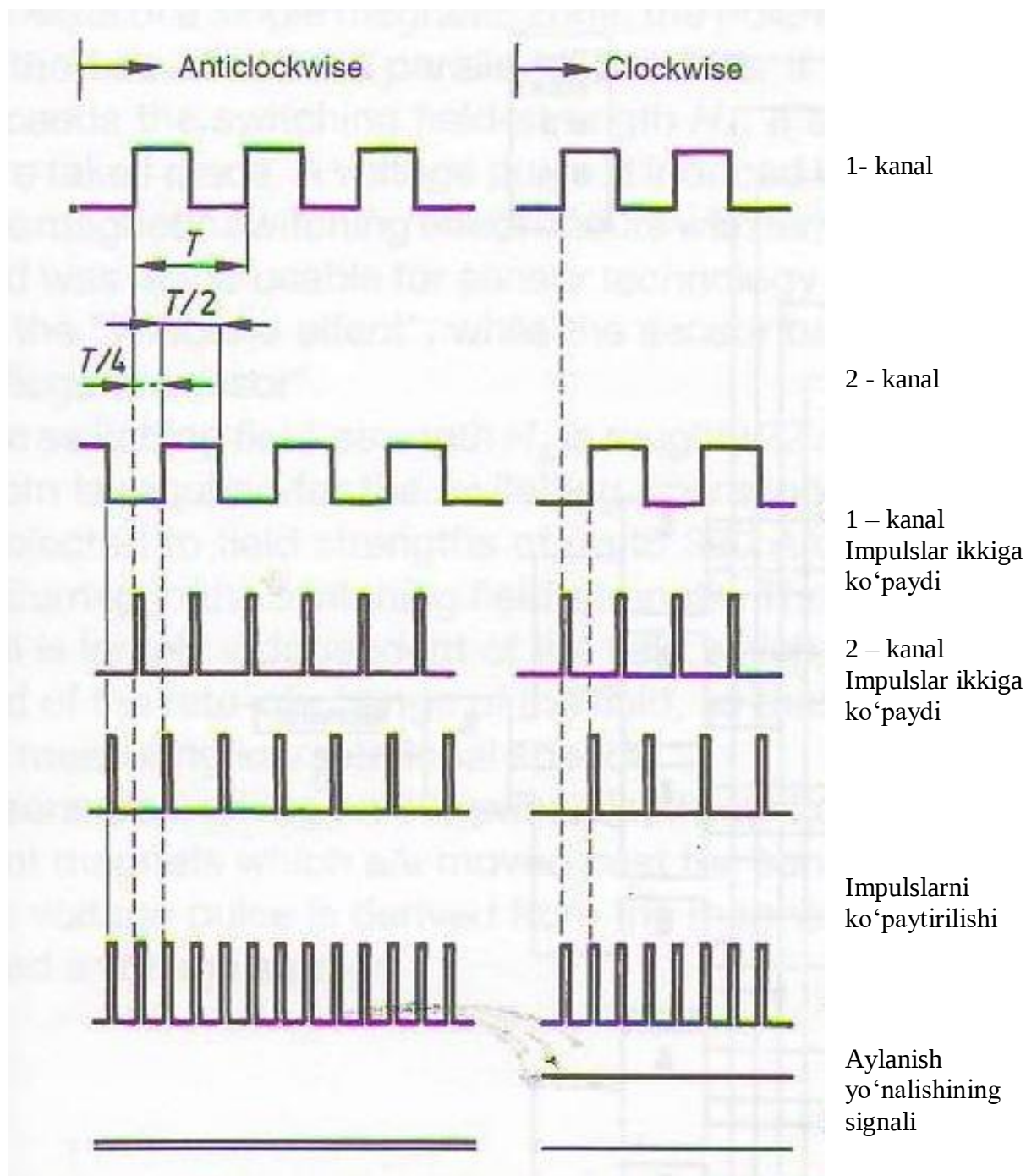
Juda kichik aylanish tezliklarida impulslar chastotasini ko'paytirish sxemasi ishlatilib chastotani o'lchash bilan birga impulslar uzunligini ham o'lchash mumkin. Bu usul juda kichik tezliklarda aylangan o'qni bir marotaba aylanishi ichida to'g'rilab turish kerak bo'lganda juda qulay.



2.60 – rasm Chiqishidagi signali analogli kuchlanish bo‘lgan inkrementli aylanish tezligi sensori

2.3.3 Impulslarni ko‘paytirish va aylanish yo‘nalishini qayd etish

Tezlikning optik sensorlari bilan ishlaganimizda ikkita biri biridan chorak davrga siljirilgan alohida impulslar shodasini uchratamiz (2.61 – rasm). Shodalardagi impulslarning har biri o‘rniga ikkita impuls ishlab chiqariladi.



2.61 – rasm Aylanish tezligi sensorlarida impulslar sonini ko‘paytirish bilan impulslar shodalaridagi faza farqini aniqlash.

Agar, misol uchun, impulslarning oldi va orqa frontlari (o'sishi va so'nishi) monostabil triggerlarni ishga tushirish uchun ishlatilsa, xar bir kanalda bir aylanishga to'g'ri kelgan impulslar sonini ikkiga ko'paytirish mumkin. Ikki kanaldagi impulslarni qo'shib xam impulslar sonini ko'paytirish mumkin.

Elektron usullari bilan impulslar sonini ko'paytirish afzalligi shundaki kichik tezliklarni o'lchash uchun ishlatiladigan sensorlar yaratadigan bir aylanishga to'g'ri kelgan impulslar sonini ko'paytirish o'rniga chastotani sxema ko'paytiradi.

Misol

Tezlik diapazoni : 0 dan 10 rpm

1 – tezlik enkoderi

2560 impuls bir aylanishga

0 – 10 rms tezliklar diapazoniga 0 dan 25600 impuls / minutiga

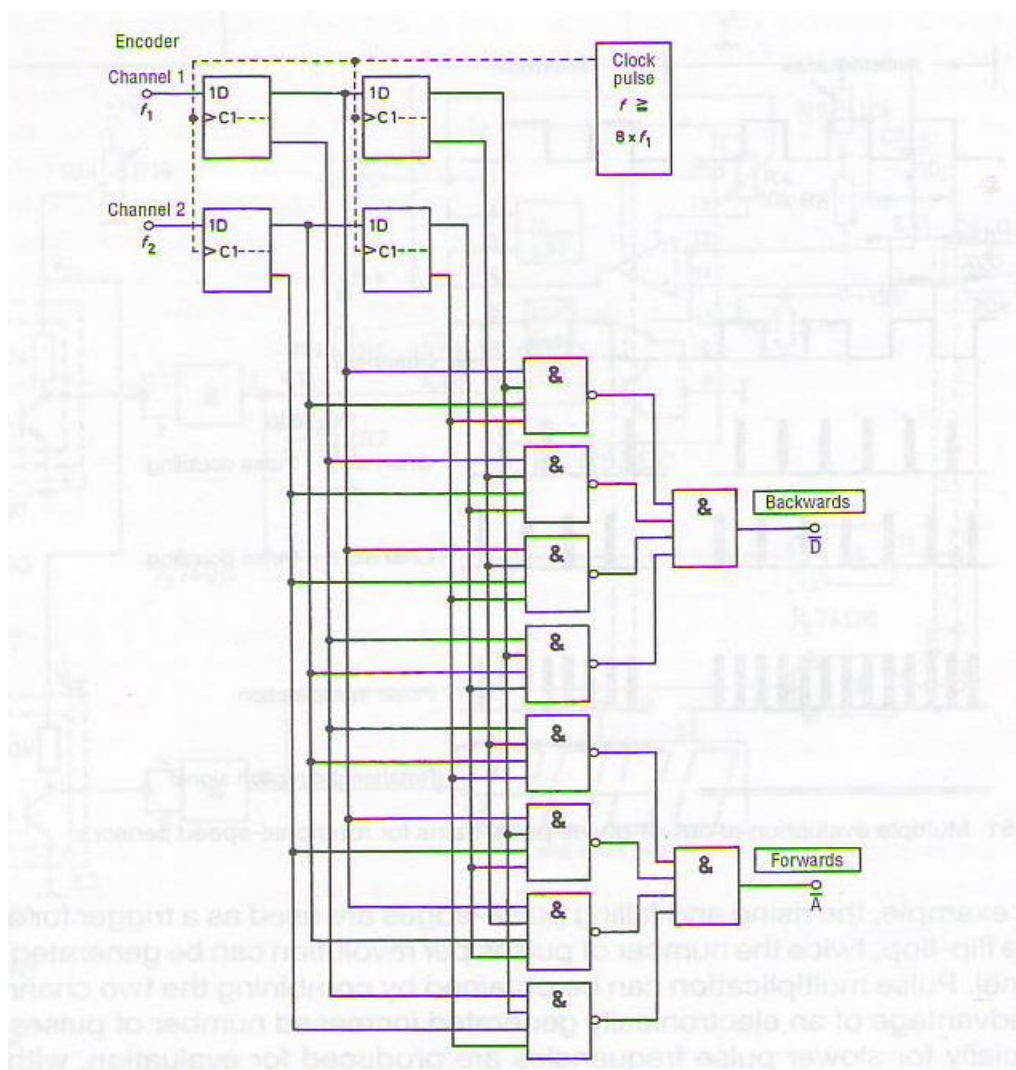
beradi. Impulslar shodasining chastotasi : 0 dan 25600 impuls / minutiga = 0 dan 402,6 Hz

2– tezlik enkoderi

Bir aylanishga 2560 impuls beradi; impulslar soni elektron usul bilan ko'paytiriladi.

0 – 10 rms tezlik diapazonida enkoder 0 dan 25600 gacha impuls / minutiga beradi. Impulslar shodasining chastotasi 0 dan 102400 impuls / minutiga = 0 – 1706,6 Hz bo'ladi.

Ikki kanalli inkrementli tezlik enkoderlari ham aylanish yo'nalishiga bog'liq bo'lmagan xolda impulslarni generatsiya qiladi (2.62 – rasm). Impulslar chastotasi aylanish tezligiga proporsional. Ikki impulslar shodasidan aylanish yo'nalishini aniqlab olish mumkin.



2.62 – rasm Aylanish enkoderi signallaridan aylanish yo‘nalishini aniqlash sxemasi

Aylanish yo‘nalishini aniqlash uchun sxema impulslarning oldi frontini ishlatadi. 2.61 – rasmdagi diagrammalardan aylanish yo‘nalishi qanday aniqlanishi ko‘rsatilgan:

Soat aylanish yo‘nalishi
impulslarning oldi fronti:
1- kanal 2- kanaldan oldin

Soatga teskari aylanish yo‘nalishi
impulslarning oldi fronti:
2- kanal 1- kanaldan oldin

2.3.4 Aylanish tezligini o‘lchashda ishlatiladigan yangi sensorlar

Oddiy sensorlar bilan bir qatorda aylanish tezligini o‘lchash uchun Wiegand sensorlari (impulslar sim sensorlari - VAC) ham ishlatilishi mumkin. Impulslar sim sensorining ishlash prinsipi sim g‘altagining juda tez qayta magnitlanishiga asoslangan. Sensorning simi yakka magnit zonasidan iborat va uning polyarizatsiyasi simga parallel bo‘lgan ikki yo‘nalishdan birida sodir

bo'lishi mumkin. Agar tashqi magnit maydonning kuchlanishi chegara qiymatiga yetsa, sim g'altak juda tez qayta magnitlanib oladi. Sensor g'altagida qisqa kuchlanish impulsi paydo bo'ladi

Cho'zilgan ferromagnit simda hosil bo'ladigan magnitli kommutatsiya effekti Wiegand tomonidan sensorlar texnologiyasida ishlatilgan. Bu effekt *Wiegand effekti* deb ataladi va ishlashi shu effektga asoslangan sensorlar *Wiegand sensori* deb ataladi.

Magnit maydanning kuchlanishi 22 A/cm atrofida bo'lishi kerak. Qayta magnitlanish uchun kam degenda 30 A/cm talab etiladi. Sensor kuchlanishi 300 A/cm gacha bo'lgan magnit maydonlarda ishlatilishi mumkin. Shunda sensor g'altagida induksiyalanib hosil bo'lgan kuchlanishning qiymati magnit maydon kuchlanishi va uning o'zgarish tezligiga bog'liq emas. Shu sababdan bu sensorlar kichik tezliklarni o'lchash uchun ham ishlatilishi mumkin.

Shu prinsipda ishlaydigan sensorlarda magnit maydon permanent magnit bilan yaratiladi. Magnit sensor yonidan o'tganda sensor g'altagi qayta magnitlanib, kuchlanish impulsini hosil qiladi. Shu impulsni yaratilishiga kerak bo'lgan energiya magnit maydondan olingani tufayli sensorga kuchlanish manbasi kerak emas.

2.4 Siljish va burchaklarni o'lchash

Boshqaruv sistemalarida harakatdagi jismlarning siljishini o'lchash alohida ahamiyatga ega. Harakatlar chiziqli (bir yo'nalishdagi harakat), aylanma (yagona markaz atrofidagi harakat) va aralash turlarida mavjud bo'ladi. Chiziqli va aylanma harakatni yagona sensor bilan o'lchash mumkin, aralash harakatni esa bir nechta sensor yordamida o'lchasa bo'ladi.

Xarakat turlarini o'lchashga mo'ljallangan quyidagi sensorlar mavjud:

- potensiometrlik sensor
- sig'imli sensor
- induktiv sensor
- magnitli va transformatorli sensor
- optik sensor
- cho'zilish o'lchovlari asosida yaratilgan sensorlar.

Burchakli harakatni o'lchash usullari siljishni o'lchash usullari qatoriga kiradi, faqat bunda aylanish burchagi o'lchanadi. Bu harakatni quyidagi sensorlar yordamida o'lchash mumkin:

- potensiometrlik sensor
- sig'imli sensor
- induktiv sensor
- optik sensor

Cho‘zilish o‘lchovlari ishlatilgan harakat sensorlaridan faqat harakatdagi siljish masofasini o‘lchash bilan kifoyalanib qolinmaydi. Sensor ishlatilgan sohaga muvofiq chiziqli harakat transmissiya qurilmasi yordamida burchakni o‘lchash uchun ishlatilishi, kuch, bosim, siqilish yoki cho‘zilish kabi fizik kattaliklarni o‘lchash usullari harakatdagi siljish yoki burchakni o‘lchashga asoslangan bo‘lishi mumkin.

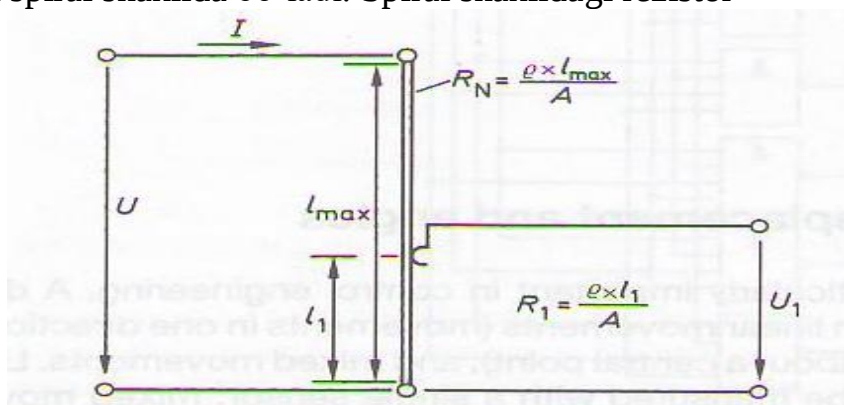
2.4.1 Potensiometrik siljish sensorlari

Chiziqli harakatni proporsional elektr kattalikka o‘zgartirishning eng oson yo‘li bu potensiometrik o‘lchash qurilmasi. Potensiometrik o‘lchash usulida ma’lum qarshilikka ega bo‘lgan simga kuchlanish beriladi va sim bo‘ylab harakatlanuvchi kontaktdan kuchlanish olinadi. Olingan kuchlanish qiymati kontaktning harakatlangan masofasiga proporsional bo‘ladi (2.63 – rasm). Kontakt kuchlanish bo‘luvchisi vazifasini bajaradi.

Rasmdagi potensiometrik sxemadan ko‘rinib turibdiki, kontaktning sim bo‘ylab qilgan harakati undan olingan kuchlanish qiymatini o‘zgartiradi.

2.64 – rasmda potensiometrik sxemagada ulangan yuklamaning qarshiligi ko‘rsatgan ta’sir grafiklar shaklida ifodalangan. Demak, potensiometrik o‘lchashlarni bajarishda sxemaning yuklamasiga alohida ahamiyat berib, o‘lchash natijasiga uning ta’sirini iloji boricha kamaytirish kerak.

Potensiometrning simi to‘g‘ri tortilgan bo‘lsa undan faqat kichik qarshiliklarnigina olish mumkin. Shuning uchun rezistor dielektrik karkasga o‘ralgan spiral shaklida bo‘ladi. Spiral shaklidagi rezistor



Proporsionallik

$$R_1 = \frac{\rho \times l_1}{A}$$

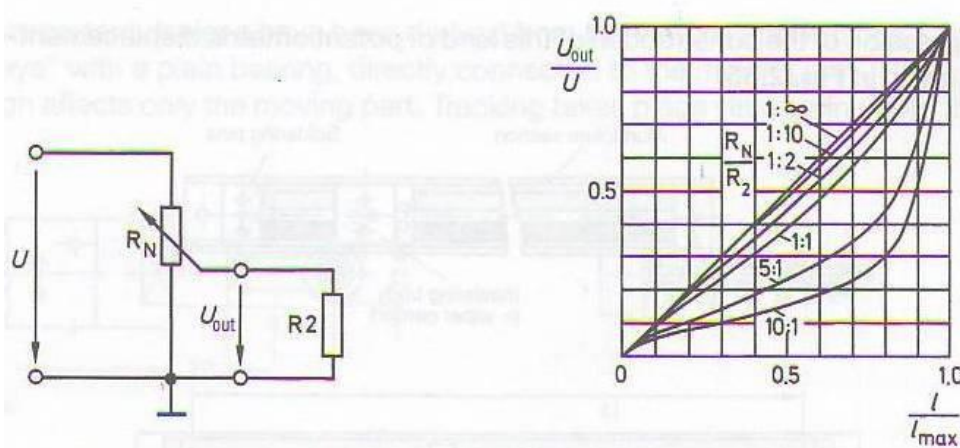
$$\frac{U_1}{I} = \frac{\rho \times l_1}{A}$$

$$U_1 = \frac{\rho}{A} \times I \times l_1$$

$$U_1 = \frac{\rho}{A} \times \frac{U}{R_N} \times l_1$$

$$U_1 = K \times l_1$$

2. 63 – **rasm** Siljish sensori sifatida ishlatilgan potensiometrlik sxema



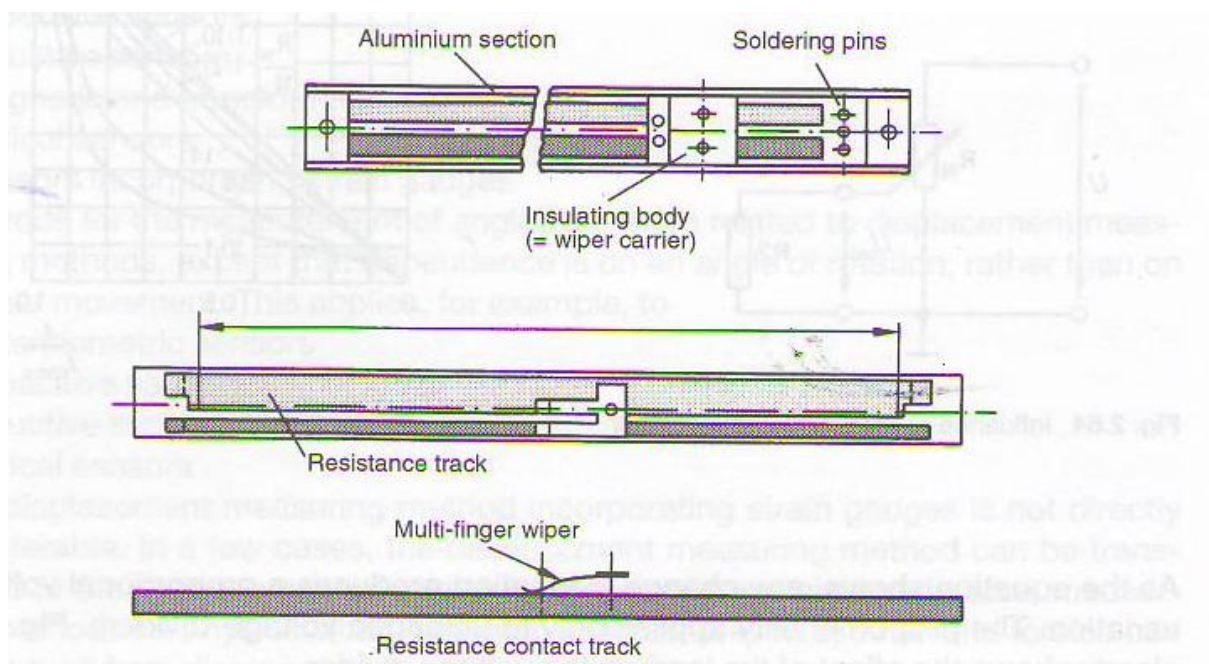
2.64 – **rasm** Kuchlanish bo‘luvchisiga yuklamaning ta’siri

ustida harakat qilgan kontaktdan olingan qarshilik qiymatlari kontakt spiralning o‘ramidan o‘ramiga sakrab o‘tgani sababli irg‘ish bilan o‘zgaradi. Ko‘p joylarda bu hol sensorning kamchiligi bo‘ladi. Aksincha, simli potensiometrning afzalligi uning yaxshi temperatura xarakteristikasida. Simning materialini tanlash bilan qarshiligining temperaturaga bog‘liqligini ancha kamaytirish mumkin. Uglerod qoplamidan yaratilgan aylanma potensiometr odatda o‘lchashlar uchun ishlatilmaydi, chunki kontaktning uglerod yuzasidagi harakati ishqalanish sababli qarshilikning nostabilligiga olib keladi. Faqat yangi texnologiyalar asosida yaratilgan *o‘tkazuvchan plastiklarning* mexanik xususiyatlari ularni potensiometr sifatida ishlatishga imkon beradi. O‘tkazuvchan plastikni ichiga aralashtirilgan uglerod unda o‘tkazuvchanlikni yaratadi. O‘tkazuvchan plastik plyonka xolida bo‘lib, qattiq dielektrik yuzasiga yopishtirilgan bo‘ladi. Potensiometrning yuzasida harakatlanuvchi kontaktning ishqalanishini kamaytirish va elektr kontakti ishonarli qilish maqsadida uni bir necha barmoqli konstruksiyada yaratishadi. Ishlab chiqaruvchilar yaratgan potensiometr konstruksiyalari, ularning qo‘llanish sohalari va ishlatilgan materiallari turlicha bo‘ladi. Tortilgan simdan yaratilgan potensiometr larga o‘hshab, o‘tkazuvchan plastikli potensiometr larda harakatlanuvchi kontaktdan olingan kuchlanish qiymati rezistiv yuzadagi joyiga proporsional bo‘lib, ohista, irg‘ishsiz o‘zgaradi. Yangi texnologiyalar asosida potensiometr larning gibril turlari ham ishlab chiqarila boshlandi. Bu potensiometr larda simdan o‘ralib, yuzasiga kontaktning xarakatdagi ishqalanishini kamaytirish maqsadida o‘tkazuvchan plastik qoplanadi. Potensiometr larning bu konstruksiyasi ikki material afzalliklarini o‘zida mujassamlagan.

O‘tkazuvchi plastikli rezistorlarning chiziqliligini yuqori darajada ta’minlashi mumkin bo‘lgani tufayli, nochiziqliligini 0,1 % dan ham kam qilish imkoni bor. Ularning chidamliligi yuqori bo‘lgani yashash davrida 10^8 marta

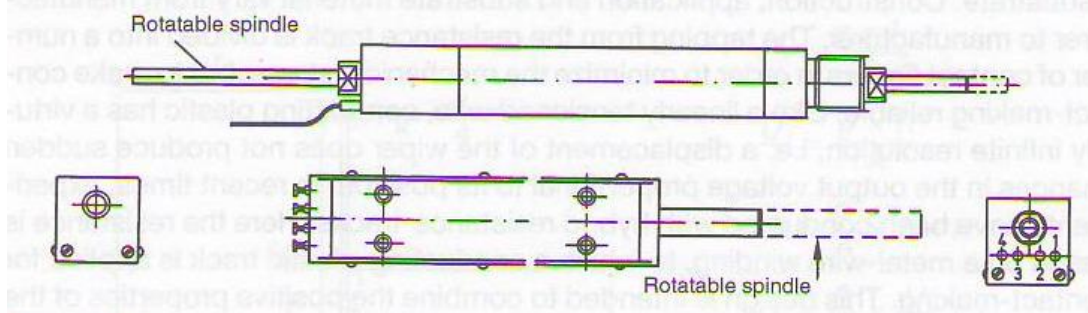
qarshilik oʻrnatish va xarakat tezligini 400 mm/s gacha olib borish imkonini beradi.

Potensiometr konstruksiyalarining siljish sensori sifatida yaratilgan turlari 2.65 – rasmda koʻrsatilgan.



2.65 – rasm Oʻtkazuvchan plastik rezistiv qoplamali siljish sensorlarining konstruksiyalari

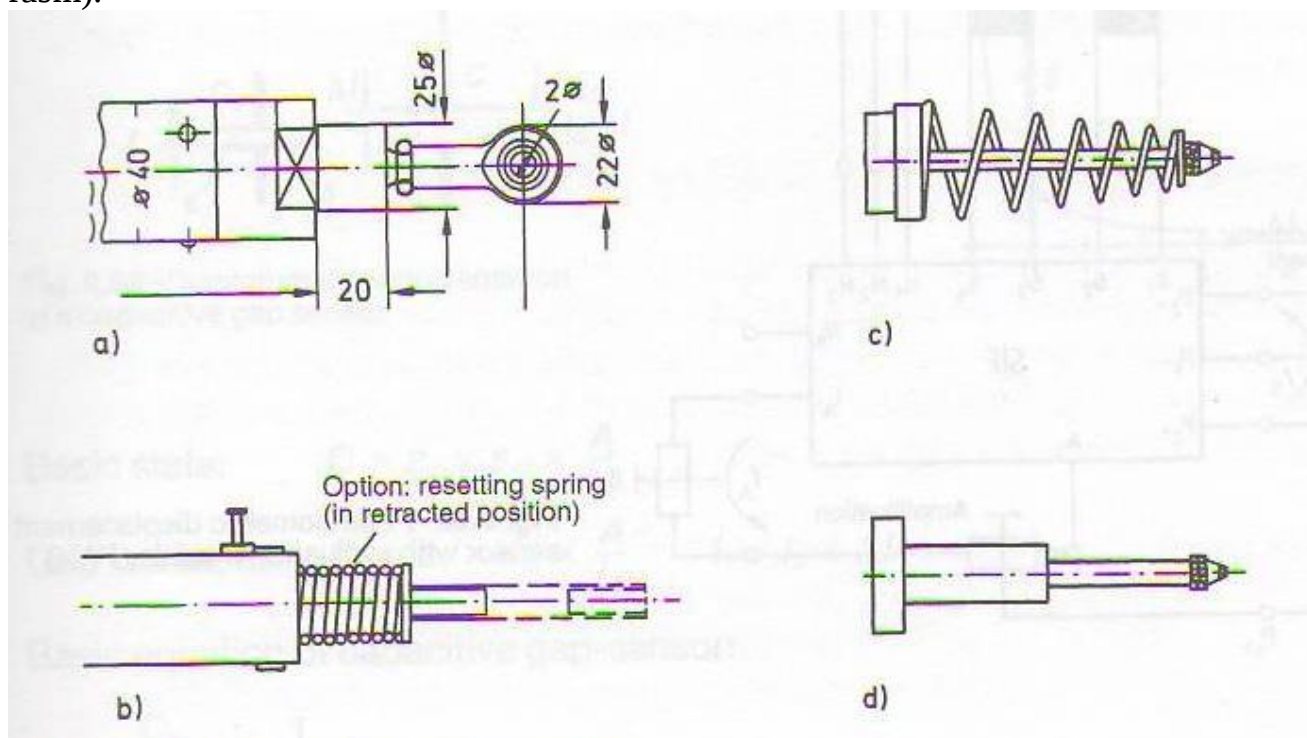
Oʻtkazuvchan plastikli, korpusli va korpussez rezistiv elementlarni ishlab chiqaruvchilar uzunligi 1000 mm gacha boʻlgan namunalarni istemolchilarga taqdim etgan. Sensor sifatida ishlab chiqarilgan namunalari 2,5 m uzunlikkacha boʻlishi mumkin. Oʻlchash uzunligiga qarab, sensorlarning qarshiligi 2 dan 200 k Ω va aniqligi $\pm 20\%$ boʻladi. Mahsus yaratilgan potensiometrlarning aniqligi $\pm 10\%$ ham boʻladi. Chiziqlilik xatoligi odatda $\pm 0,5\%$ boʻladi, lekin $\pm 0,1\%$ gacha tushirilishi mumkin. Amalda ishlatiladigan potensiometrlar korpusga joylashtirilgan boʻladi. Avval ishlab chiqarilgan namunalari metall korpusli boʻlgan, yangilari boʻlsa nay shaklida quyma korpusli boʻladi. Potensiometrning harakatlanish shpindeli uning ikki uchiga oʻrnatiladi. Bunday potensiometrlarning ikki hil namunasi 2.66 – rasmda koʻrsatilgan.



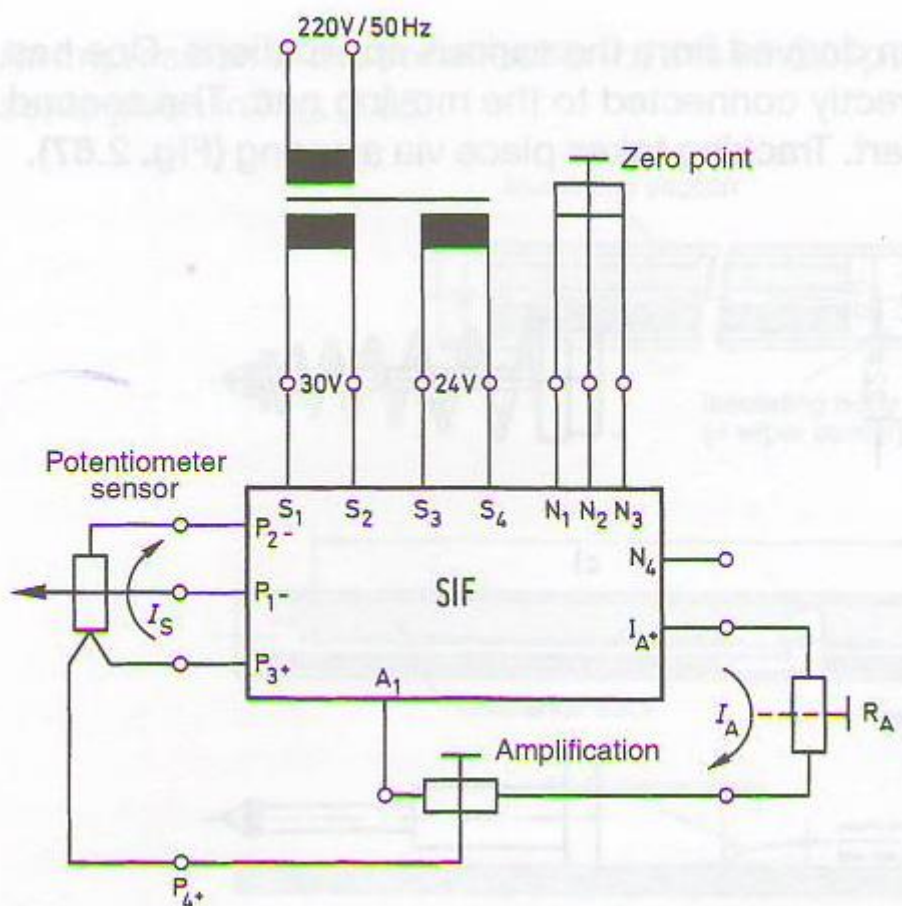
2.66 – rasm Potensiometrik siljish sensorlari

Potensiometrik siljish sensorlarining temperatura koeffitsienti $\pm 400 \text{ ppm/K}$ bo'ladi. Chegaralangan temperatura diapazonida $0 \text{ dan } 70^\circ\text{S} \pm 200 \text{ ppm/K}$ bo'ladi.

Turli sohalarda potensiometrlarning ikkita muhim konstruksiyasi keng qo'llaniladi. Birining "ko'zi" yassi podshipniklarda bevosita harakatlanish qismiga joylashtirilgan. Ikkinchisi faqat harakat qismi bilan ajralib turadi (2.67 – rasm).



Potensiometrlarning ishlash prinsipi ulardan katta qarshilikka ega bo'lishini talab etadi. Potensiometrik siljish sensorlari, kuchlanishga bog'liq bo'lmashligini ta'minlash maqsadida, qiymati o'zgarmaydigan tok bilan ta'minlanadi; ba'zi hollarda stabil kuchlanish beriladi. Sanoat ishlab chiqargan mahsus modullar potensiometrik sensorlar ishlatilishini ancha osonlashtiradi. Ularning tarkibida ichki qarshiligi $5 \text{ M}\Omega$ o'zgarmas tokni ta'minlab beruvchi integral sxemasi albatta mavjud bo'ladi. Bu tok rezistiv elementga, uning chiqish kuchlanishiga bog'liq bo'lmagan holda, beriladi. O'lchash diapazonining boshlanishidagi nol va ohiridagi nominal qiymatni o'rnatishga sozlash elementlari yordam beradi. TWK- Elektronik ishlab chiqargan SIF manba moduli yuklamaning $1 \text{ k}\Omega$ qarshiligida $2,5 \text{ mA}$, $5 \text{ K}\omega$ qarshiligida bo'lsa $0,5 \text{ mA}$ tok ta'minlay oladi. Modulda o'lchangan qiymatlarni muvofiqlashtirish sxemasi ham mavjud. Modul chiqishidagi signal $0 \text{ dan } 20 \text{ mA}$, $4 \text{ dan } 20 \text{ mA}$ va $\pm 10 \text{ mA}$ diapazonlarda bo'lishi mumkin. Potensiometrlarni stabil kuchlanish bilan ta'minlash modullari ham mavjud. 2.68 – rasmda bunday modullarni ishlatish sxemasi keltirilgan.



2.68 – rasm Siljishning potensimetrik sensori o'lchash moduli bilan

2.4.2 Sig'imli va induktiv sensorlar

Sig'imli sensorlarning plastinalari orasida elektr maydon, induktiv sensorlarning atrofida magnit maydon mavjud bo'ladi. Agar elektr maydonga o'tkazuvchan yuza kiritilsa, u elektrod sifatida bo'lib, elektr maydonning konfiguratsiyasini o'zgartiradi. Maydonning bu o'zgarishini sensor aniqlab, qayd etadi. Ferromagnit materiallarning magnit maydoniga ko'rsatgan ta'siri shunga o'xshash bo'ladi. Bunda magnit maydondagi o'zgarishlar qayd etiladi. Magnit maydonga ferromagnit materiallardan boshqa materiallar ham ta'sir ko'rsatadi, lekin ularning ta'sir effekti ancha kam bo'ladi.

2.4.2.1 Siljishning sig'imli sensorlari

Sig'imli sensorlar siljish yoki uzunlikni o'lchashda induktiv sensorlarga nisbatan ancha kam qo'llaniladi. Sig'imli sensor ikkita biri biridan izolyatsiya qilingan va biri biriga nisbatan xarakatlanishi mumkin bo'lgan o'tkazuvchan plastinalardan iborat bo'ladi. Agar bu ikki plastina biri biriga parallel bo'lsa, uning elektr sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \varepsilon_R \times \varepsilon_0 \times \frac{A}{l_0}$$

S – sig‘im, F (faradlarda)

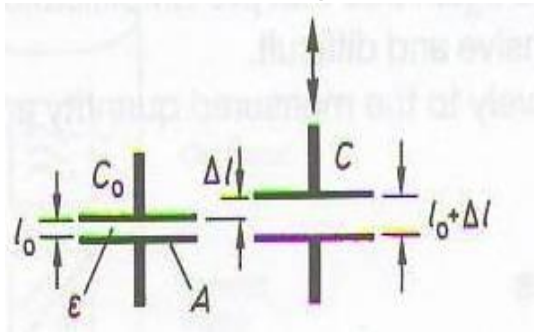
ε_R – nisbiy singdiruvchanlik

ε_0 – singdiruvchanlik ($8,88541814 \times 10^{-12} F/m$)

A – plastina maydoni, m^2

l_0 – plastinalar orasidagi masofa, m

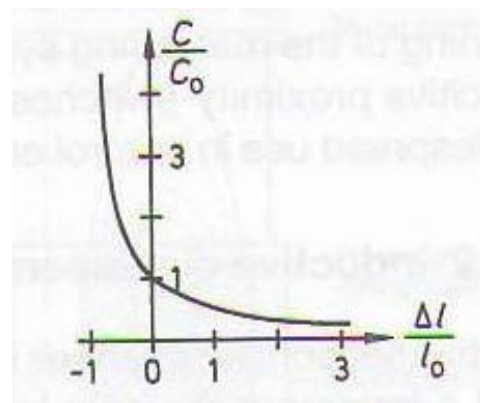
Ikki plastina bilan yaratilgan kondensatorning sig‘imi uning geometrik o‘lchamlariga aniq tenglama vositasida bog‘langanligi plastinalar orasidagi masofani o‘lchash signali sifatida ishlatishga imkon beradi (2.69 – rasm).



2.69 – rasm Sig‘imli masofa sensorining ko‘rinishi

l_0 – boshlag‘ich holatdagi masofa

Δl – masofaning o‘zgarishi



Boshlang‘ich holatdagi sig‘im: $C = \varepsilon_r \times \varepsilon_0 \times \frac{A}{l_0}$

Plastinalar orasidagi masofa o‘zgargandan so‘ngi sig‘im:

$$C_1 = \varepsilon_r \times \varepsilon_0 \times \frac{A}{l_1} \quad l_1 = l_0 + \Delta l$$

Sig‘imli masofa sensorining asosiy tenglamasi:

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta l}{l_0}}$$

Masofaning l_0 ga nisbatan kichik o‘zgarishlari Δl uchun $\Delta l/l_0 \ll 1$ bo‘ladi va shunga ko‘ra :

$$\frac{C_1}{C_0} = 1 - \frac{\Delta l}{l_0}$$

Sig‘im sensorining bu xarakteristikasi kichik masofalar diapazonida deyarli chiziqli. Sensorning sig‘imi plastinalar maydoni bilan chegaralangan bo‘ladi.

Sig'imli sensorlarning afzalliklari quyidagilardan iborat:

- yuqori chiziqlilik (0,01 % dan yaxshi)
- tashqi elektr maydonga nisbatan ekranlanganligi
- tashqi magnit maydon ta'siridan ozodligi
- masofani bevosita elektr signalga o'zgartirib berishi.

Bu sensorlarning sig'imi o'lchash jarayonida juda kam o'zgarishi (10 pF dan kam) undan keyin, signalni kuchaytirish uchun ishlatilgan kuchaytirgichga qattiq talablar qo'yilgani sababli FET OP maydon effektli tranzistorlar kirishiga o'rnatilgan operatsion kuchaytirgichlar ishlatiladi. Amalda qo'llaniladigan sensorlarda solishtirma sig'im mavjud bo'ladi yoki differensial sxema qo'llaniladi.

Kontaktsiz sig'imli masofa sensorlarining diametri 10 dan 15 mm gacha bo'ladi. Bu sensorlarning masofani o'lchash diapazoni 2 dan 3 mm gacha bo'ladi. Chiziqliligi 1 % dan yaxshi va maksimal sezgirligi 1 μm bo'ladi.

Boshqa diapazonlarda ishlaydigan sig'imli sensorlar 1 – bobda keltirilgan.

Texnologik jarayonlarni boshqarish soxalarida masofa yoki kichik siljishlarni o'lchash uchun sig'imli sensorlar ishlatiladi, lekin bunda o'lchanadigan kattaliklarning qiymatlari sensorlarning o'lchash diapazonlari chegaralaridan chiqib ketadi. Bundan tashqari sig'imli sensorlarini ekranlash va signalni kuchaytirish nisbatan qimmat va mushkil.

Sig'imli bevosita kontaktorlar ancha sezgir bo'lgani sababli keng qo'llanilib kelinadi.

2.4.2.2 Induktiv siljish sensorlari

Siljish va uzunlikni o'lchashda induktiv sensorlar juda keng qo'llaniladi. Induktiv sensor o'qiga ferromagnit o'zak o'rnatilgan izolyatsiyalangan sim o'ralgan g'altakdan iborat. G'altak ichidagi ferromagnit o'zak o'z o'rnini o'zgartirsa g'altakning induktivligi o'zgaradi (2.70 a – rasm). G'altakning induktivligi unga o'ralgan sim o'ramlarining soni n , o'zakning magnit singdiruvchanligi μ va g'altakning geometrik o'lchamlariga bog'liq bo'ladi.

$$L = f(n, \mu, A, I)$$

L – induktivlik

n - g'altakdagi simning o'ramlar soni

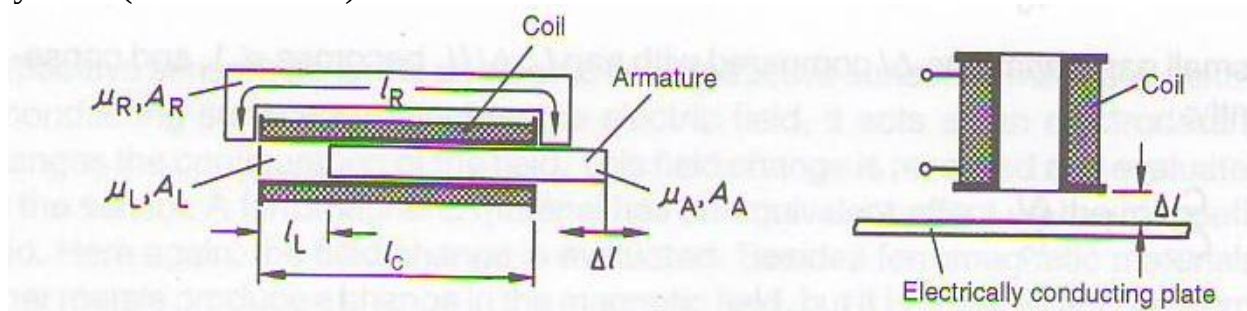
μ – magnit singdiruvchanlik

A, I - o'ramlar va o'zakning ta'sir etuvchi kattaliklari

G'altak va o'zakdan iborat bo'lgan konstruksiya *plunjer turidagi o'zakli sensor* deb ataladi.

Induktiv sensorlarning boshqa turi oqimni siqib chiqarishga asoslangan. Bu turdagi sensorlarda elektr o'tkazuvchan plastina g'altakning o'q yo'nalishida ma'lum masofada Δl joylashtiriladi. G'altakka o'zgaruvchan kuchlanish berilganda unig o'qi yo'nalishida hosil bo'lgan magnit maydon plastinani kesib

o'tadi. Shunda plastinada magnet maydon aynma toklar yaratadi va bu toklar, o'z navbatida, plastina atrofida teskari magnet maydon hosil qiladi. Plastinaning maydoni g'altakning maydonini yo'q qiladi yoki g'altakning induktivligini kamaytiradi (2.70 b – rasm).



a) Plunjer turidagi o'zakli sensor
sensori

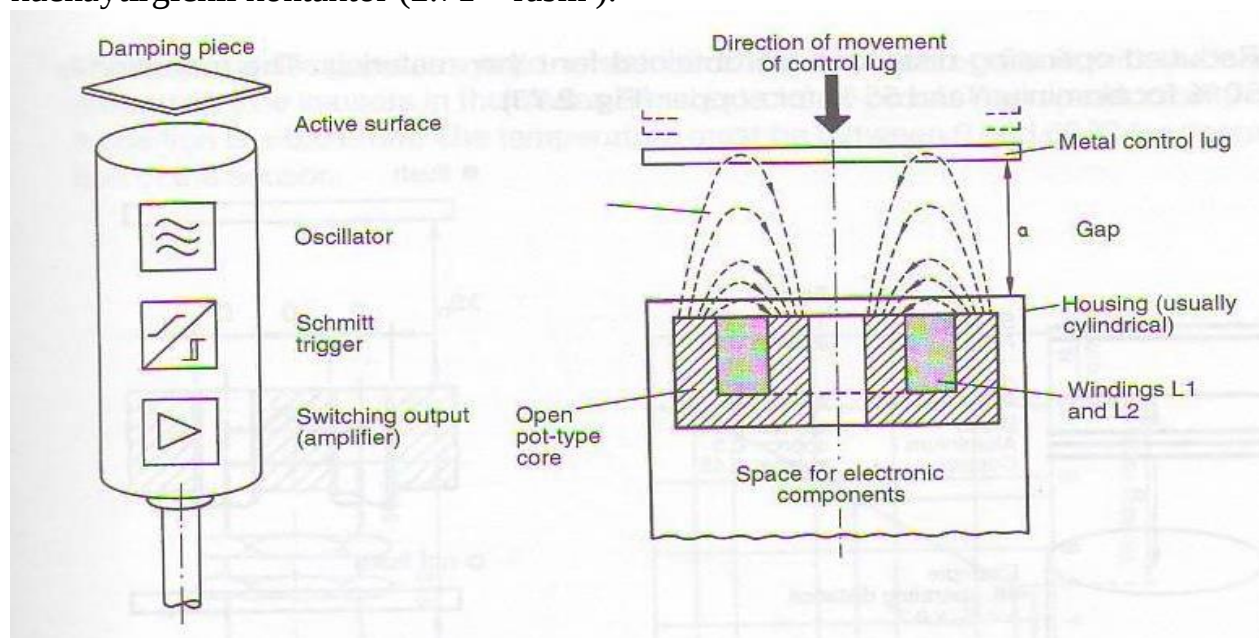
b) Oqimni siqib chiqarish

2.70 – rasm Induktiv sensorlarning asosiy turlari

Induktiv sensorlarning qo'llaniladigan konstruksiyalari 1.4.4.5 – bobda ko'rib chiqilgan. Induktiv sensorlarning chiqishi analogli, yaqinlashishga ishlaydigan plunjer turidagi o'zakligi va differensial transformator prinsipida ishlaydigan turlari eng keng tarqalgan.

Induktiv yaqinlashish kontaktorlari va yaqinlashish sensorlari

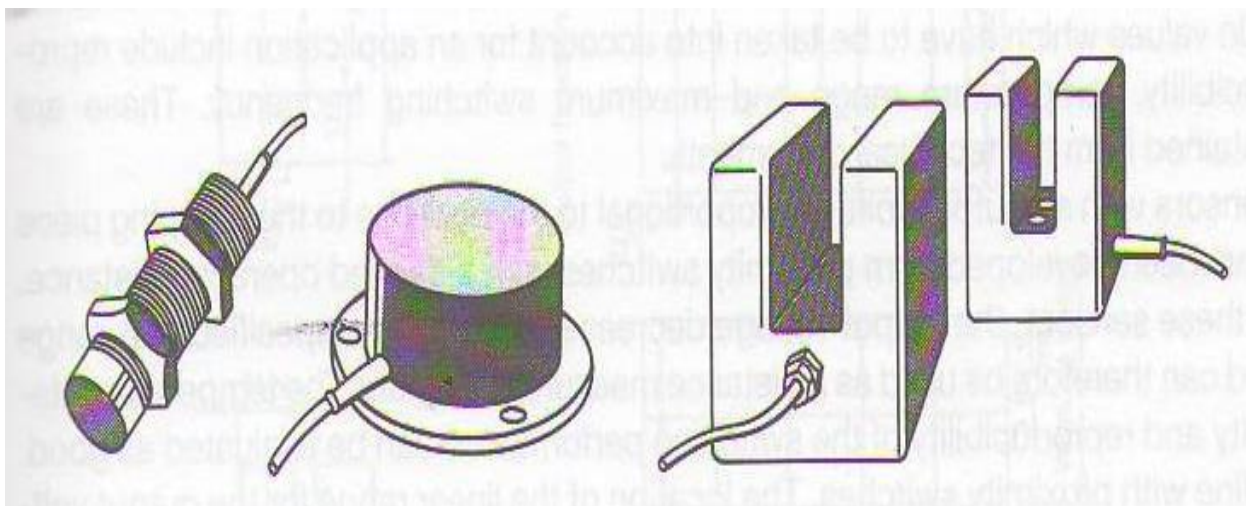
Induktiv yaqinlashish kontaktorlari jisimga tegmasdan ishlaydi. Ularning tarkibida uchta qurilma mavjud: generator, Shmitt triggeri va elektron kuchaytirgichli kontaktor (2.71 – rasm).



2.71 – rasm Induktiv yaqinlashish kontaktorining konstruksiyasi va ishlash prinsipi

Generator yaratgan o'zgaruvchan elektromagnet maydon sensorning aktiv yuzasidan tashqariga chiqib, ma'lum masofaga tarqaladi. Sensor to'g'risidagi maydonga kirgan xar qanday elektr o'tkazuvchan materialda aylanma toklar

paydo bo‘lib, generatordan energiya oladi. Shunda generator ishlab chiqargan kuchlanishning amplitudasi o‘zgaradi va bu o‘zgarishni Shmidt triggeri impulsiga o‘zgartiradi. Impuls kuchaytirilib, tashqaridagi hisoblash qurilmasiga beriladi. Shunday qilib, o‘tkazuvchan yuzaning sensorning aktiv yuzasiga har yaqinlashishi uning chiqishida bitta impuls yaratadi. 2.72 – rasmda bunday sensorlarning amalda qo‘llanilib turgan namunalari keltirilgan.



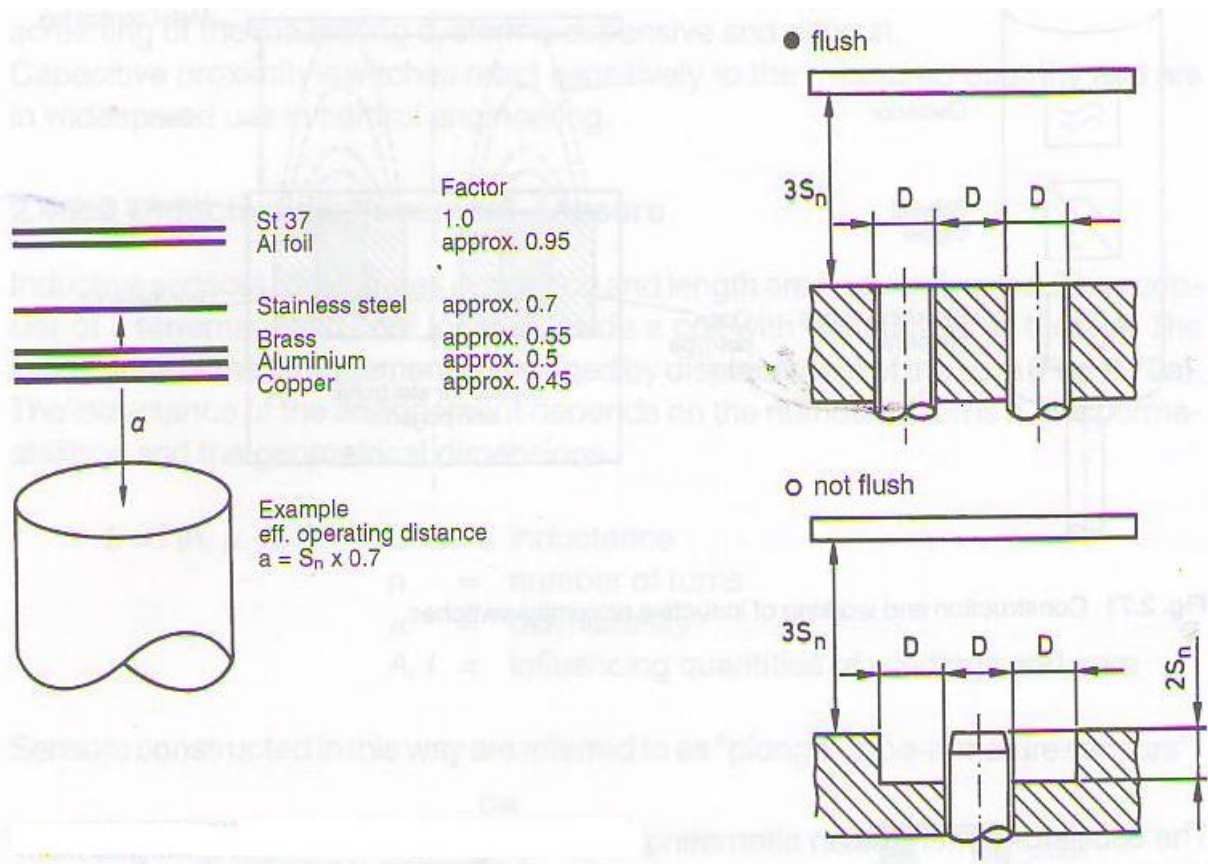
2.72 – rasm Induktiv yaqinlashish kontaktorlarining amaldagi namunalari

Qalinligi 1 mm bo‘lgan o‘tkazuvchan yuzaning sensorning aktiv yuzasiga yaqinlashib, uni impuls ishlab chiqarishga majburlash nominal masofasi S_n sensorning o‘lchamlariga bog‘liq bo‘ladi. O‘tkazuvchan o‘lchash plastinasining materiali St 37 markali po‘lat bo‘ladi. Bu material ferromagnit bo‘lgani sababli magnit maydonni so‘ndirishi juda kuchli bo‘ladi.

Sensorning ishlash masofasini kamaytish uchun boshqa o‘tkazuvchan materiallar ishlatiladi. Aluminiy plastina ishlatilsa masofani 50 % ga, mis plastina bilan 55 % ga qisqartirish mumkin (2.73 – rasm).

Sensor o‘rnatilishida elektr o‘tkazuvchi materialning ta’sirini e’tiborga olish zarur. Sensorning aktiv yuzasiga nisbatan o‘tkazuvchan plastinani ikki usulda o‘rnatish mumkin (2.73 – rasm).

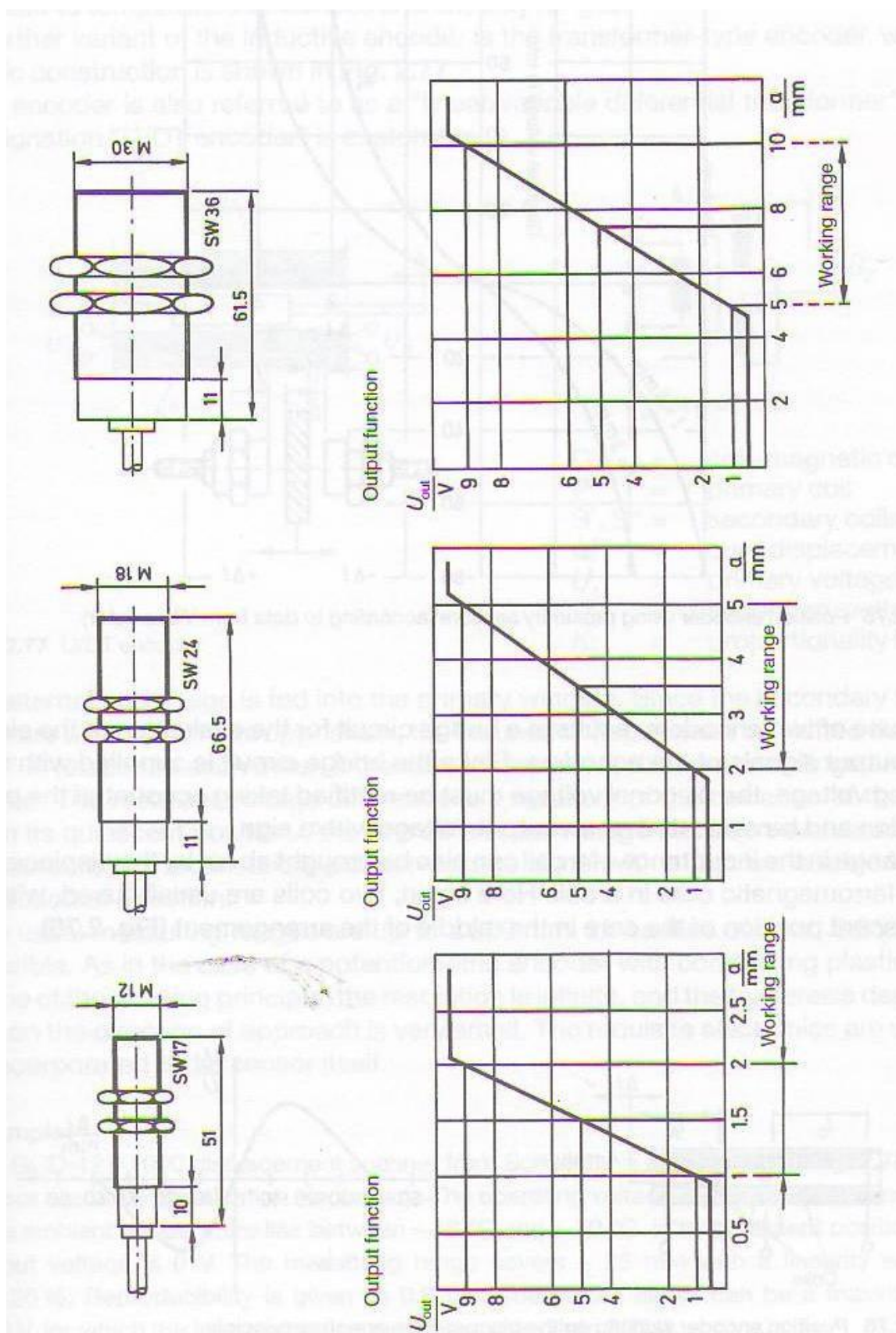
Sensorning konstruksiyasiga qarab uni ulanish va uzilish nuqtalari orasidagi gisterezis ishlash masofasi bo‘yicha 5 % dan 20 % gacha bo‘lishi mumkin. Bu sensorlar ishlatilganda ularning reproduktivligi (doyim aniq ishlashi), ishlash temperaturalari va maksimal ishlash chastotasi e’tiborga olinadi. Sensorning bu xarakteristikalarini texnik xujjatlarida keltiriladi.



2.73 – **rasm** Ishlash masofasini qisqartiruvchi faktorlar va sensori oʻrnatish usullari

Chiqish kuchlanishi masofaga proporsional boʻlgan sensorlar aniq masofaga moʻljallangan proksimal kommutatorlar asosida yaratilgan. Bu sensorlarning chiqish kuchlanishi masofa ortishi bilan proporsional kamayib boradi va bu funksional bogʻliqlikning chiziqli boʻlganligi sensori masofa oʻlchash uchun ishlatishga imkon beradi. Bu sensorlarning temperaturaga stabiligi va reproduktivligi proksimal kommutatorlarda boʻlgani kabi aniqlanishi mumkin. Masofani oʻlchash diapazoni sensorning diametriga bogʻliq boʻladi. Albatta, sensorda ishlatilgan materiallarning oʻzgaruvchan maydondagi taʼsiri alohida eʼtiborga olinishi kerak boʻladi. 2.74 – rasmda bu turdagi sensorlarning xarakteristikalarini koʻrsatilgan.

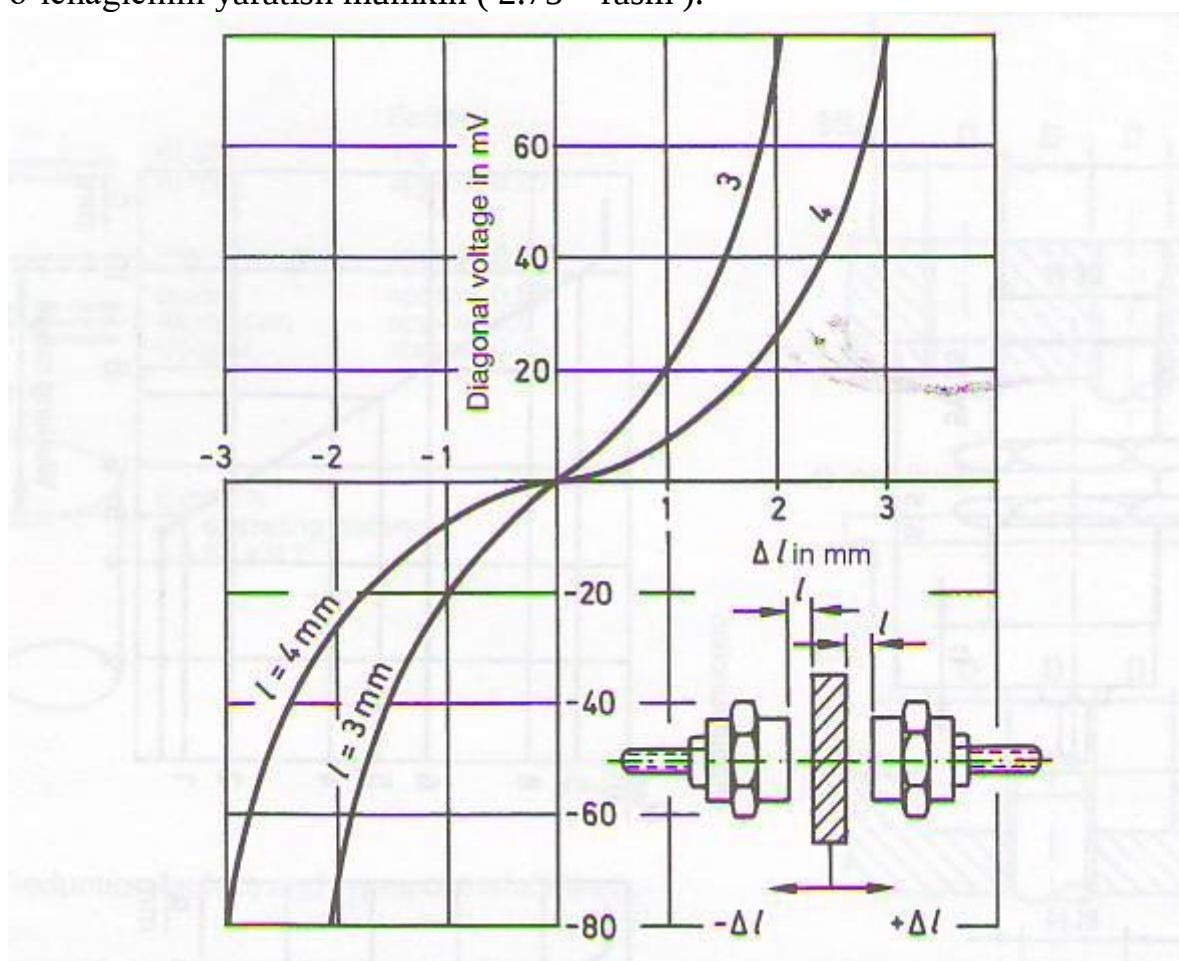
Misol uchun, Baumer firmasining IWA 30U 9001 turdagi sensorining (rasmning oʻng tomonida) diametri 30 mm boʻlgani uchun masofani oʻlchash diapazoni ishlash xarakteristikasining 5 dan 30 mm gacha boʻlgan qismiga joylashgan. Bu diapazonda xarakteristikaning chiziqlilikdan chekinishi $\pm 0,2$ mm dan oshmaydi. Sensorning chiqish xarakteristikasi 1,6 V/mm qiyalikka ega. Sensor 13,5 V dan 30 V gacha boʻlgan manba kuchlanishlarida stabil ishlaydi. Sensorning chiqishi yuklamasi yerga ulangan, ochiq kollektor sxemasida yigʻilgan pnp tranzistoridan iborat. Bu seriyadagi sensorlar zanjirining qisqa tutashuviga chidamli. Oʻlchash reproduktivligi $\pm 0,01$ mm. Atrof muhit temperaturasi 0 dan 60 °S gacha boʻlganda sensor stabil ishlaydi.



2.74 – **rasm** Induktiv masofa sensorlarining (Baumer)xarakteristikalari

Differensial induktiv pozitsiya enkoderlari

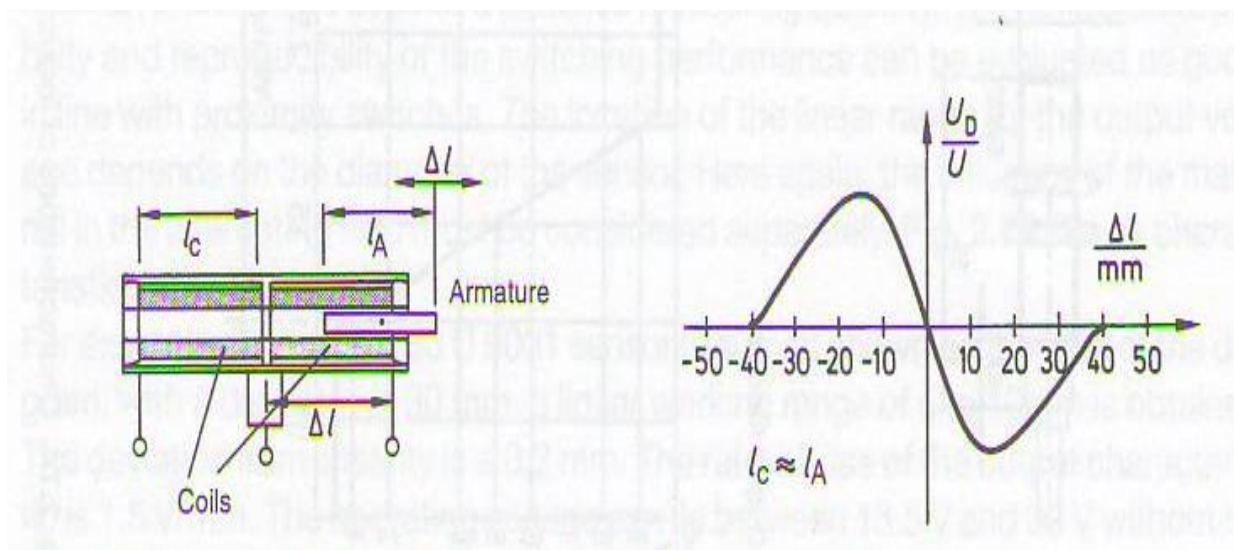
Analog signalli ikkita proksimal va metall yuza bilan masofani differensial o'lchagichini yaratish mumkin (2.75 – rasm).



2.75 – **rasm** Proksimal sensorlar asosida qurilgan pozitsiya enkoderi (Vibrometer firmasining manbalaridan olingan)

Enkoderlardan signal olish uchun ular ko‘prik sxemasiga ulanadi. Ko‘prik sxemasiga manba sifatida o‘zgaruvchan kuchlanish beriladi, o‘lchash diagonalidagi kuchlanish to‘g‘rilagich yordamida o‘zgarmas kuchlanishga o‘zgartirilib, o‘lchanadi. Bunda signallarning fazasini e‘tiborga olish kerak, uni chiqish signalining ishorasi bilan ajratish mumkin.

Induktiv g‘altak ichida xarakatlanuvchi ferromagnit o‘zak g‘altakning induktivligini o‘zgartiradi. Shu xodisa ham siljish va distansiyalarni o‘lchash uchun ishlatilishi mumkin. Bunday siljish sensorlari odatda yagona karkasga o‘ralgan ikkita induktiv g‘altakdan tuzilgan bo‘lib, karkas ichida ferromagnit o‘zak xarakatlanadi va uning o‘rtada to‘htashi sensorning sokinlik xolati deb ataladi (2.76 – rasm). Sokinlik xolatida signal qiymati nolga teng bo‘ladi va bu xolatdan ikki tomonga o‘zakni siljishi signalning ishorasini o‘zgarishiga olib keladi.

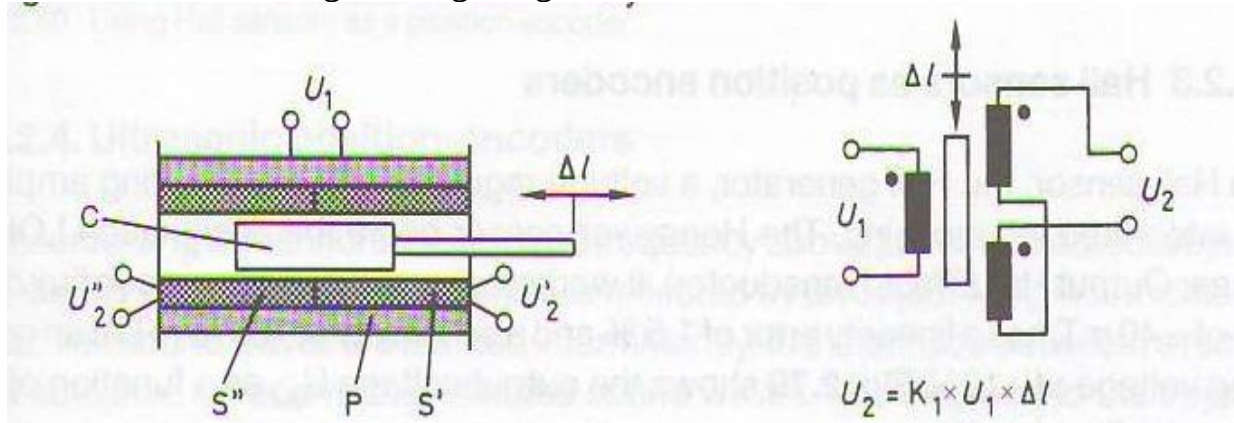


2.76 – **rasm** Plunjer prinsipida qurilgan pozitsiya enkoderi

Plunjerli konstruksiyali sensorlarda ikki g'altakning induktivligi bilan birga ular birgalikda yaratgan magnit maydon ham ahamiyatga ega bo'ladi. Bunday enkoderlarning turli konstruksiyalari masofani 100 mm gacha o'lchashga imkon beradi. Bu sensorlar sodda konstruksiyaga ega bo'lib, o'ziga potensiometrlik sensorlarga o'hshab, mahsus qobiq talab etmaydi. Faqat sensor ko'rsatgichlariga temperaturaning ta'siri va chiqish signalining chiziqlilik diapazoniga ahamiyat berish kerak bo'ladi.

Induktiv enkoderlarning keyingi varianti bu trasformator turidagi enkoder. Uning asosiy konstruksiyasi va ishlash prinsipi 2.77 – rasmda ko'rsatilgan.

Bu enkoderni *chiziqli / o'zgaruvchan differensial transformator* deb ham atashadi. Enkoderning odatdagi belgilanishi *LVDT encoder*.



C – magnit o'zak
 R – birlamchi g'altak
 S', S'' - ikkilamchi g'altaklar
 Δl – o'zakni siljish masofasi
 U_1 - kirish kuchlanishi
 U_2 - chiqish kuchlanishi
 K_1 –proporsionallik faktori

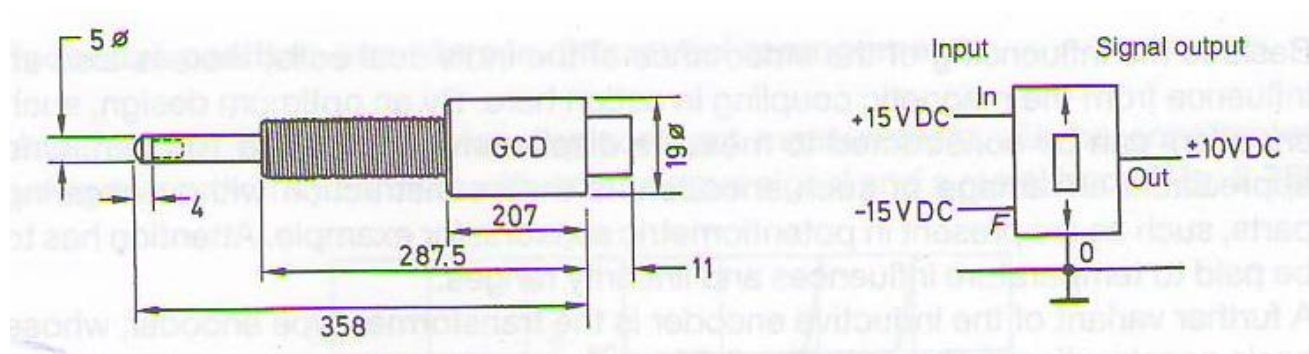
2.77 – **rasm** VLDT enkoderi

Transformatorning birlamchi g'altagiga o'zgaruvchan kuchlanish beriladi. Transformatorning ikkilamchi ikkita g'altaklaridagi o'ramlar biri biri bilan tekari fazada ulangan (birinchi o'ramning chiqishi ikkinchi o'ramning chiqishi bilan ulangan) bo'lgani sababli ulardagi signallar fazalari 180° ga farq qiladi. Enkoderning o'zagi siljisa, ikkilamchi g'altaklarda induksiya yo'li bilan hosil bo'lgan kuchlanishlar qiymatlari o'zgaradi. Enkoderning chiqish signali ikki ikkilamchi g'altaklarda hosil bo'lgan kuchlanishlarning ayirmasiga teng bo'ladi. Magnit o'zak o'rta holatda bo'lganda ikkilamchi g'altaklardagi kuchlanishlar biri biriga teng bo'ladi va natijada enkoderning chiqish signali nolga teng bo'ladi. Magnit o'zak siljishi bilan kuchlanishlar farq qila boshlaydi va natijada chiqishda kuchlanish paydo bo'lib, uning qiymati magnit o'zakning siljish masofasiga proporsional bo'ladi. Bu kuchlanish to'g'rilanib, o'lchanadi. Bunda to'g'rilangan kuchlanishning ishorasi o'zakni sokin holatidan ikki tomonga siljishini farqlashga imkon beradi.

Bu enkoderning o'lchash diapazoni $\pm 200 \text{ mm}$ gacha bo'ladi. Sensor xarakteristikasining chiziqliligi $0,25 \%$ gacha bo'lishi mumkin. Plastik o'tkazuvchan elementli potensiometrlik siljish sensorlariga o'xshab bu sensorlarning o'lchash prinsipiga muvofiq masofani farqlash xususiyati cheksiz va xarakat yo'nalishiga bog'liq bo'lgan gisterezisi xam juda kichik. Ishlab chiqaruvchilar sensor bilan birga o'lchash elektronikasini ham taklif qiladilar.

Misol:

2.78 – rasmda Schaenitz firmasining GCD -121 – 1000 turdagi siljish skaneri keltirilgan. Bu sensorning o'lchash elektronikasi o'zining korpusiga o'rnatilgan. Manba kuchlanishi $\pm 15 \text{ V}$. Ishlash temperaturalari -18° S dan $+70^\circ \text{ S}$ gacha. Sensorning sokinlik xolatida chiqish kuchlanishi 0 V . O'lchash diapazoni $\pm 25 \text{ mm}$, xarakteristikasining nochiqliligi $\pm 0,25 \%$. Reprodukativligi $0,6 \mu\text{m}$ darajasida berilgan. Sensorning maksimal chiqish kuchlanishi $\pm 10 \text{ V}$, chiqishidagi yuklamaning qarshiligi 200Ω .

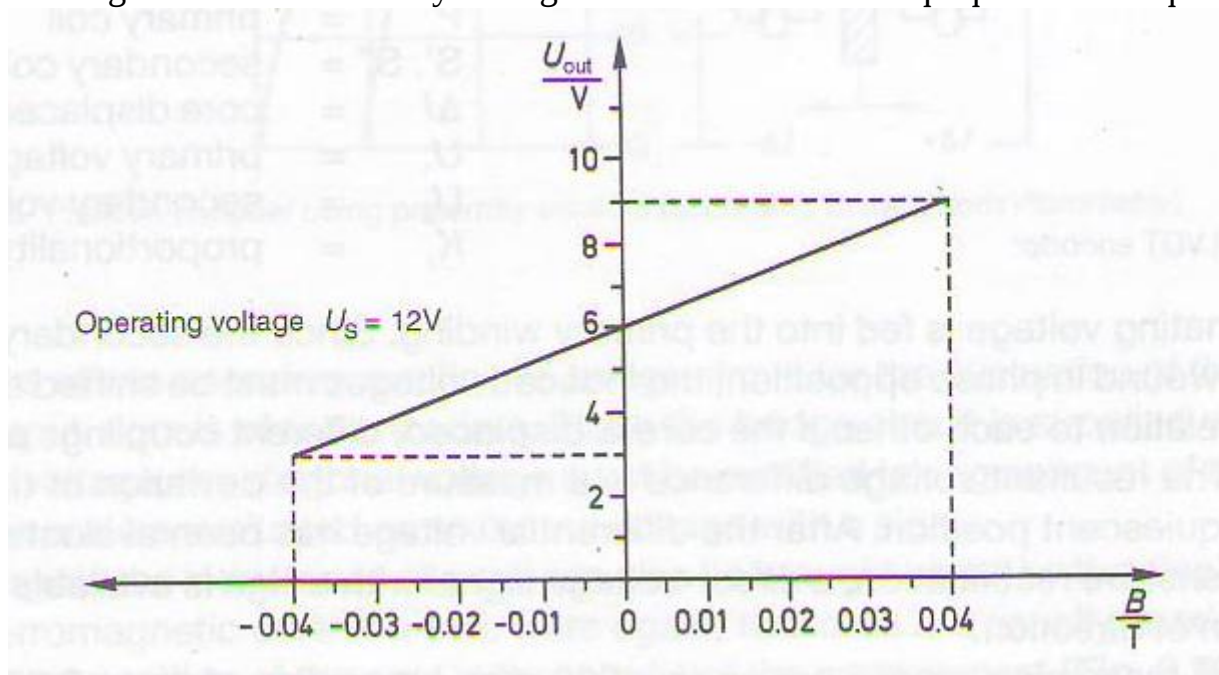


2.78 – rasm Pozitsiya sensori (Schaenitz)

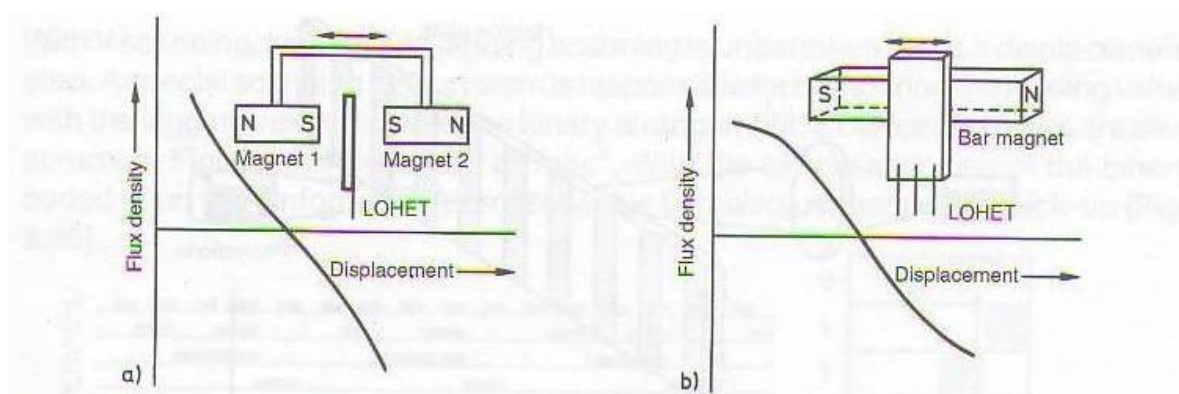
2.4.2.3 Pozitsiya enkoderi sifatida ishlatilgan Xoll sensori

Xoll sensori, Xoll generatorida, kuchlanish stabilizatori bilan kuchaytirgich yagona korpusga o'rnatilgan. Honeywell firmasining pozitsiya enkoderi LOHET (Linear Output Hall Effect Transducer – chiziqli chiqishli Xoll effekt o'zgartgichi) nomi bilan belgilanadi. Bu sensor $\pm 40\text{mT}$ magnit oqimi diapazonida ishlaydi, uning noxizirlilik xatosi 1,5 % va sezgirligi 75 mV/mT , manba kuchlanishi +12 V. 2.79 – rasmda sensorning chiqish kuchlanishini magnit oqimga bog'liqligi ko'rsatilgan.

Sensorning 2.80a – rasmda keltirilgan konstruksiyasida chiqish kuchlanishining yaxshi chiziqliligi va yuqori sezgirlikka erishish mumkin. Bunda, agar magnitlar chap tomonga xarakat qilsa 2 –magnitning ta'siri 1-magnitning ta'siridan kattaroq bo'ladi va shunda sensorning chiqishidagi kuchlanish qiymati o'rta xolatiga nisbatan kamayadi. Magnitlar o'ng tomonga xarakat qilsa, aksincha, chiqish kuchlanishi ko'payadi. 2.80 b – rasmda keltirilgan sensor konstruksiyasining xarakteristikasida chiziqli qismi uzunroq .



2.79 – rasm LOHET Xoll sensorining (Honeywell) chiqish xarakteristikasi



2.80 – rasm Xoll sensorini pozitsiya enkoderi sifatida ishlatish

2.4.2.4 Ultratovushli pozitsiya enkoderlari

Ultratovushli masofa sensorlari ob'ektni aniqlash uchun 200 *kHz* chastotasidagi tovush signalini ishlatadi. Sensor ultratovush impulsini ob'ekt tomon yo'naltiradi va undan aks etgan tovush signalini qabul qiladi. Impulslar uzliksiz yuborilib turadi. Ikki yuborilgan impulslar oralig'ida sensor signalni qabul qilish rejimida ishlaydi. Shunda sensordan ob'ektgacha bo'lgan masofa x_L tovush sensoridan ob'ektgacha borib qaytgan vaqt T qiymatidan quyidagicha xisoblab aniqlanadi:

$$x_L = \frac{1}{2} \times c \times T$$

x_L – sensordan ob'ektgacha bo'lgan masofa
 T – tovush sensoridan ob'ektga borib qaytishiga sarflagan vaqti
 c – tovush tezligi

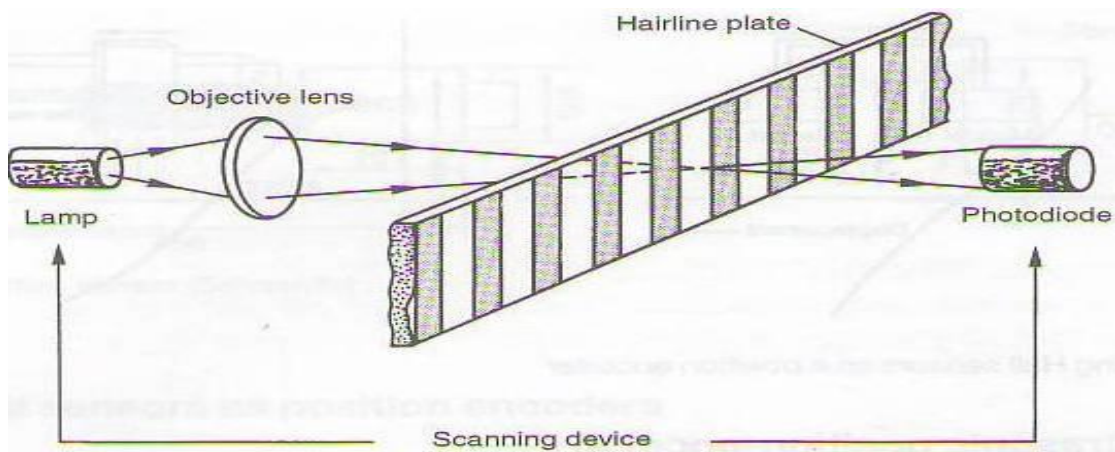
Sensorning elektron qurilmasi yuborilgan va qabul qilingan impulslar oralig'idagi vaqtni o'lchaydi. Ko'p ultratovush sensorlarida vaqtni o'lchash va masofani xisoblash amallari mikroprotsessor yordamida bajariladi. Bu sensor bilan o'lchanadigan masofa odatda 150 *mm* dan 1500 *mm* gacha bo'ladi. Masofani farqlash xususiyati 1 *mm* dan yaxshi.

Bu usul suyuqlik satxini o'lchash uchun ham ishlatiladi. Bunday sensorlar kitob maqsadiga kirmagan.

2.4.2.5 Optik prinsipda ishlaydigan pozitsiya sensorlari

Optik pozitsiya sensorlari asosan 2.81 – rasmda ko'rsatilgan prinsipda quriladi.

Rasmda ko'rsatilgan usulda o'lchanadigan masofa bo'laklarga bo'linadi. Bu yorug'likni o'tkazadigan va o'tkazmaydigan bo'laklardan iborat panjara bo'ladi. Panjara yorug'lik nuri bilan skanerlanadi (nur panjara bo'ylab xarakatlanadi). Panjaradan o'tgan yorug'likni fotoelement qabul qilib, elektr impulslarga aylantiradi va bu impulslar soni sanaladi. Impulslar soni o'lchanadigan masofaga teng bo'ladi. Bunday o'lchash usuli, alohida o'lchash qadamlaridan iborat bo'lgani sababli, inkremental o'lchash usuli nomi bilan ataladi. O'lchash aniqligi alohida qadam kengligi bilan belgilanadi. Ko'rib chiqilgan o'lchash usuli nisbiy o'lchash usuli, chunki o'lchash xoxlagan yerdan boshlanishi mumkin. Boshlang'ich belgi qo'yib, bu usulni mutlaq o'lchash usuliga o'zgartirish mumkin. O'lchash aniqligini oshirish uchun panjara qadamini kichiklashtirish kerak. Shisha yuzasida kimyoviy usulda yaratilgan chiziqlar bilan panjara orasidagi masofani 0,005 *mm* gacha tushirish mumkin.



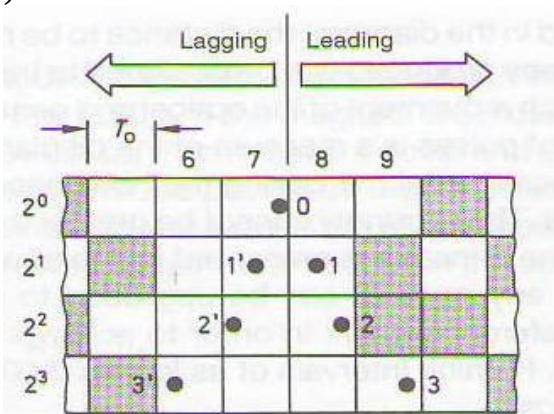
2.81 – **rasm** Optik pozitsiya sensorlarining asosiy ishlash prinsipi

O‘lchashni boshlash nuqtasini o‘lchash bilan bir vaqtda belgilash maqsadida xisoblash texnikasida ishlatiladigan ikkilik kodlar qo‘llaniladi. Shunda o‘lchash maskasi xar bir qadami ikkilik shaklda yaratilgan kodga to‘g‘ri keladi(2.82 – rasm)



2.82 – **rasm** Masofani o‘lchash uchun ishlatiladigan ikkilik “kod – chizg‘ich”

Bu o‘lchash usulida o‘lchashni boshlangan nuqtasi kod bo‘yicha panjaraning aniq chizig‘i yoki oralig‘igachan aniq belgilanadi. Shunda xatolikni kamaytirish uchun maska nur bilan ikki marotaba skanerlanadi. Skanerlovchi qurilmaning ishlash tartibidan bu amal “V skanerlash” deb ataladi (2.83 – rasm).

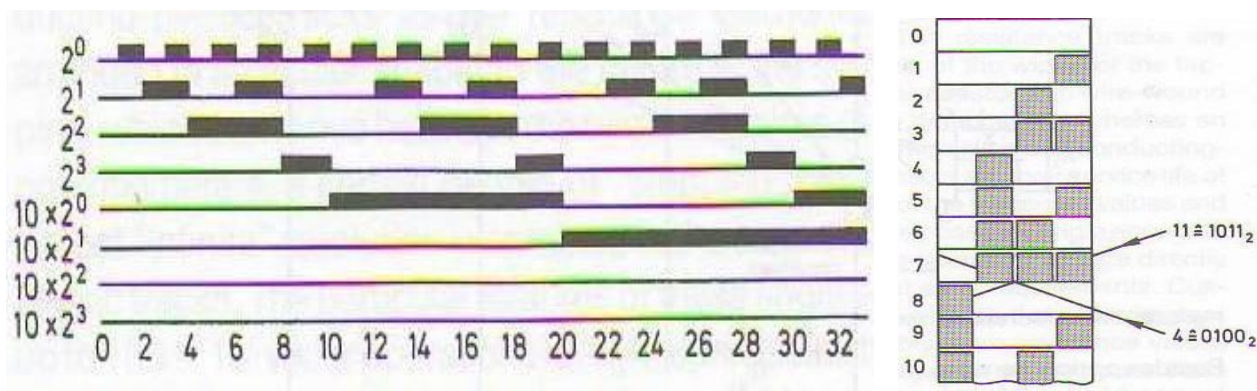


2.83 – **rasm** V skanerlash

V skanerlashda yorug‘lik nuri xar o‘lchash qadamida oldiga xarakatlanib, orqaga qaytadi. Mahsus logik qurilma nurni oldi va orqaga xarakatlangandagi masofalarni solishtirib turadi. Ikkilik kodlar bilan birga optik pozitsiya sensorlarida BCD – kodlar ham qo‘llaniladi. Shunday “chizg‘ichning”

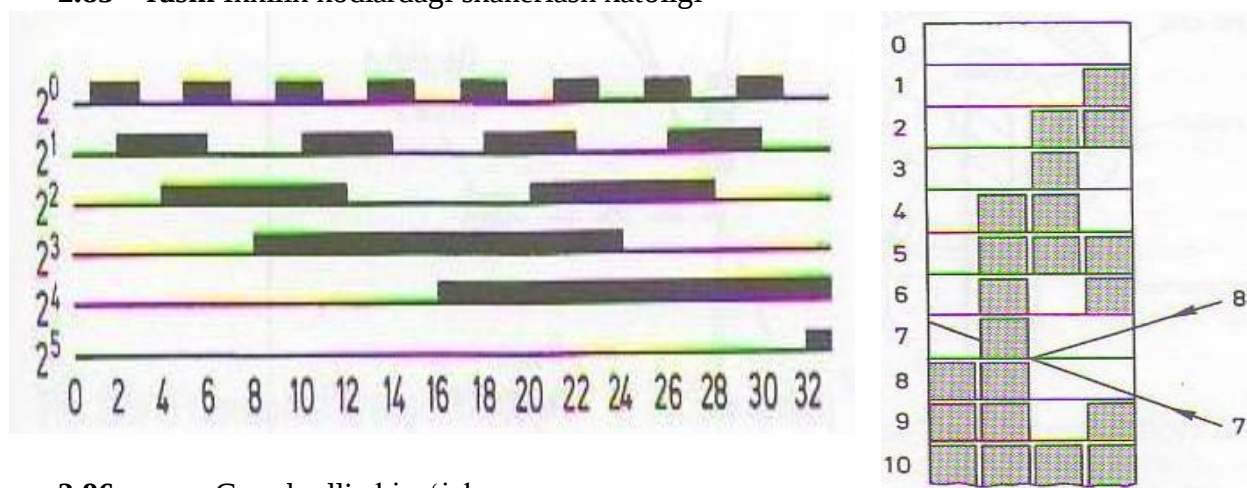
ko‘rinishi 2.84 – rasmda keltirilgan. Ikkilik kodli chizg‘ichlar noto‘g‘ri skanerlanganda xato informatsiya paydo bo‘lishi mumkin (2.85 – rasm).

Bunday skanerlash xatolarini yo‘q qilish uchun xar qadamda o‘zgaradigan kod ishlatiladi. Buning uchun Grey kodi ishlatiladi (2.86 – rasm). Rasmda aniq ko‘rinib turibdiki, ikkilik kodlariga nisbatan Grey kodlarida pozitsiya xatosiz belgilanadi.



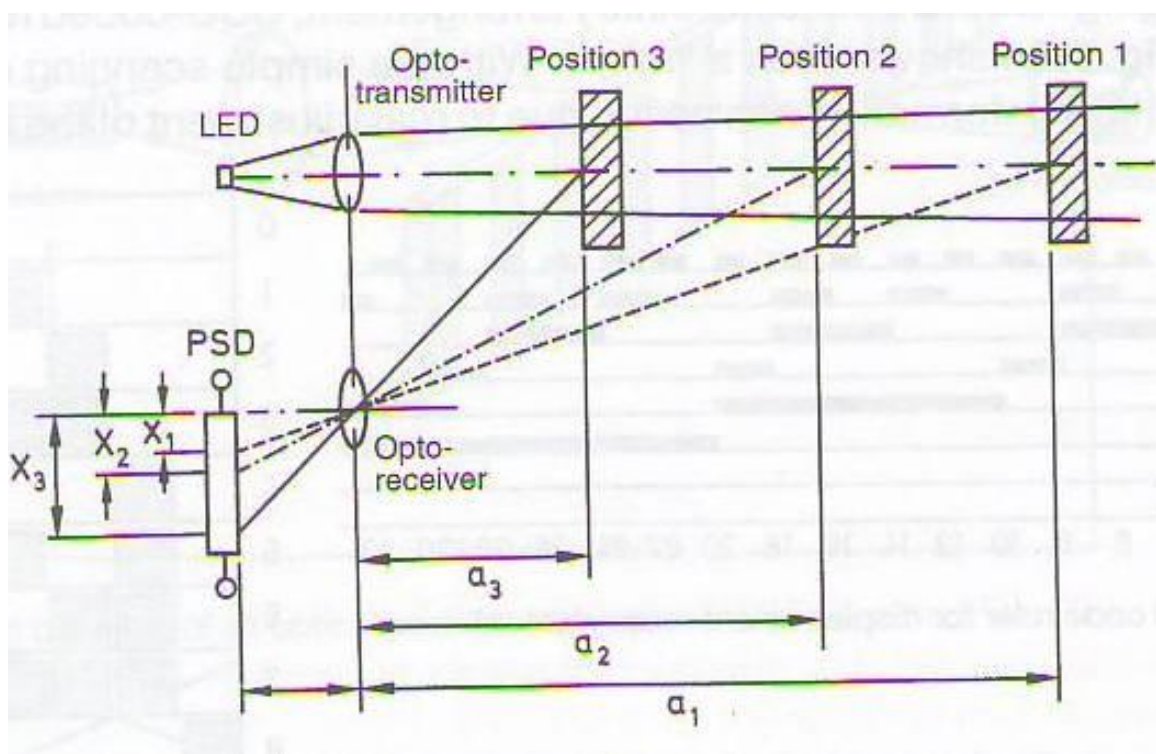
2.84 – rasm Masofani o‘lchash uchun BCD kodli chizg‘ich

2.85 – rasm Ikkilik kodlardagi skanerlash xatoligi



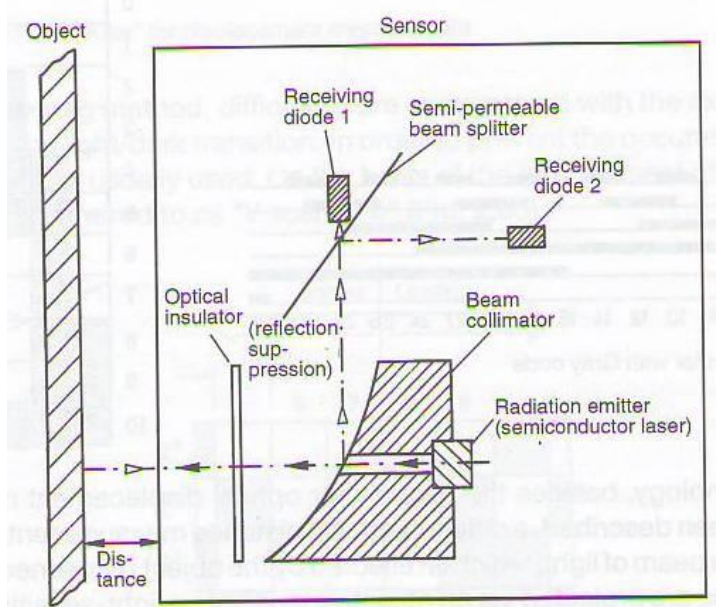
2.86 –rasm Grey kodli chizg‘ich

Robot texnologiyalarida ko‘rib chiqilgan optik pozitsiya sensorlari bilan bir qatorda boshqa optik masofa o‘lchagichlari ham ishlatiladi. Lazer nuri o‘lchanadigan ob‘ektga yo‘naltiriladi va aks etgan lazer nuri yorug‘likni sezadigan chiziqli sensor yuzasiga turli burchakda tushadi. Shunda chiziqli sensorga tushgan lazer nurining joyidan masofa aniqlanadi (2.87 – rasm). Lekin bu usulda yuqorida ko‘rib chiqilgan optik sensorida bo‘lgan o‘lchash aniqligiga erishib bo‘lmaydi.



2.87 – **rasm** Masofani optik usulda o‘lchash prinsipi.

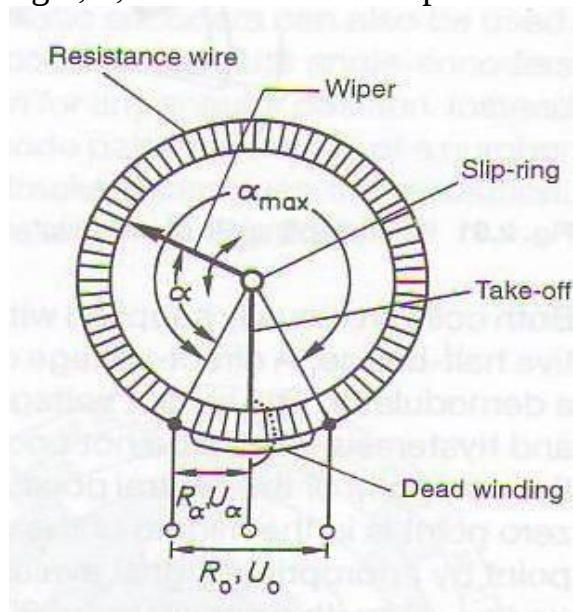
Ko‘rib chiqilgan optik masofa sensorlari bilan bir qatorda yorug‘lik nurini bir yerdan ob’ektga yo‘naltirib, shu yerning o‘zida ob’ektdan aks etgan nurni qabul qilib masofani o‘lchaydigan sensorlar xam mavjud. Bunda lazer nurining intensivligi (kuchi) o‘lchanadi. Qabul qilingan lazer nurining intensivligi masofa aks etuvchi yuzaning tekisligiga bog‘liq bo‘ladi. Ikki fokus masofasida ikki effekt biri biridan ajratilib o‘lchanishi mumkin. Bu usulning afzalligi katta masofani o‘lchashi va juda kichik diametrda ega chuqurliklarni o‘lchashida. Masofa o‘lchagichining konstruksiyasi 2.88 – rasmda keltirilgan.



2.88 – **rasm** Optik masofa sensori

2.4.2.6 Burchaklarni o'lchash

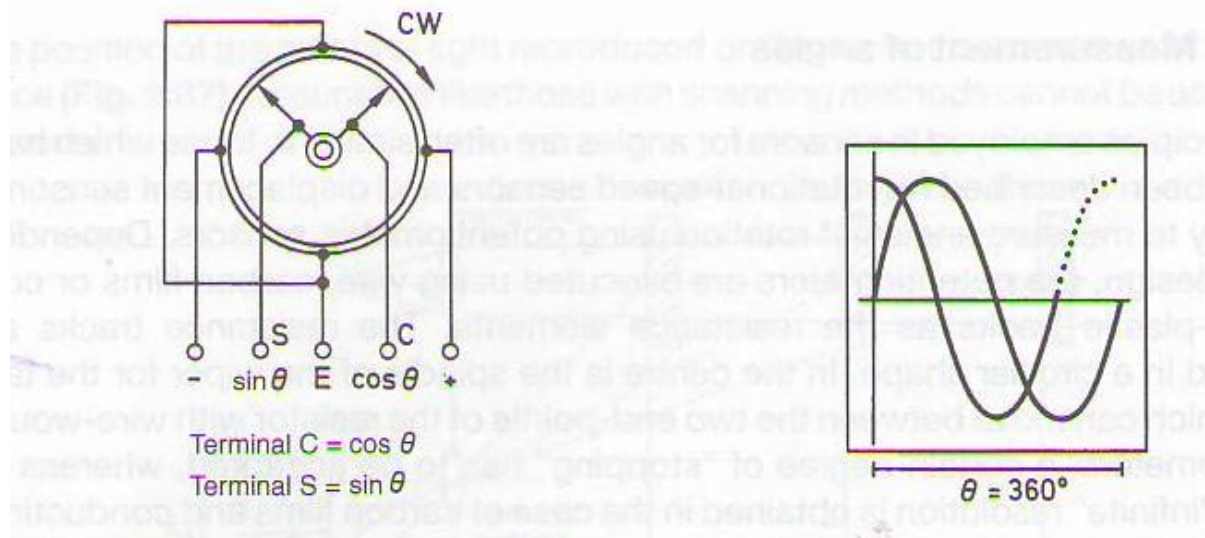
Burchakni o'lchashda ishlatilgan prinsiplar yuqorida ko'rib chiqilgan aylanish tezligini o'lchash va siljishni o'lchash usullariga o'xshaydi. Potensiometrik sensor yordamida aylanish burchagini o'lchash oson. Sensorga qo'yilgan talablarga qarab potensiometrning rezistiv elementi simdan, uglerod yoki o'tkazuvchan plastikdan bo'lishi mumkin. Potensiometrning rezistiv treklari aylana shaklida bo'ladi. Burchak enkoderining markazida aylanadigan shpindel joylashgan bo'lib, uning uchidagi kontakt shpindel aylanishi bilan aylana bo'yicha joylashtirilgan rezistiv element yuzasiga ishqalanib xarakat qiladi. Shunda markaziy shpindel kontakti bilan potensiometrning bir uchi orasidagi aylanish burchagiga proporsional ravishda elektr qarshilik o'zgara boradi. Agar rezistiv element uglerod yoki o'tkazuvchan plastikdan bo'lsa o'lchash aniqligini ancha yuqori qilish mumkin. Bunday burchak sensorlarining afzalliklari ularning katta ishlash muddati (100×10^6 aylanish), o'lchangan qiymatlarning yuqori reproduktivligi va kichik gisterezislikdan iborat. Sensorlarning chiziqliligini 0,025 % gacha ko'tarish mumkin. Bu burchak enkoderlari kuchlanish bo'luvchisi sxemasida ishlaydi. Kuchlanishning stabiligi o'lchash natijasiga katta ta'sir ko'rsatgani sababli, unga katta talab qo'yiladi. Burchak enkoderlarining to'liq qarshiligi odatda 1 – 4,7 – 10 k Ω bo'ladi. Agar burchak enkoderi sifatida standart potensiometr ishlatilsa, boshqa qiymatlardagi qarshiliklar xam bo'lishi mumkin. Kuchlanishning qiymati enkoderning quvvat sinfiga bog'liq bo'ladi. Oddiy potensiometrik burchak enkoderlarining o'lchash diapazoni 0 dan 350°gacha bo'ladi (2.89 – rasm), chunki shpindel to'liq aylana bo'ylab burila olmaydi. Katta burchaklar diapazonida ishlash uchun multipleksli potensiometrlar ishlatiladi; ular bir nechta potensiometrdan iborat bo'ladi. Bunday enkoderlarning 2, 5, 10 va 20 x 360° diapazonli turlari mavjud.



2.89 – rasm Potensiometrik burchak enkoderi

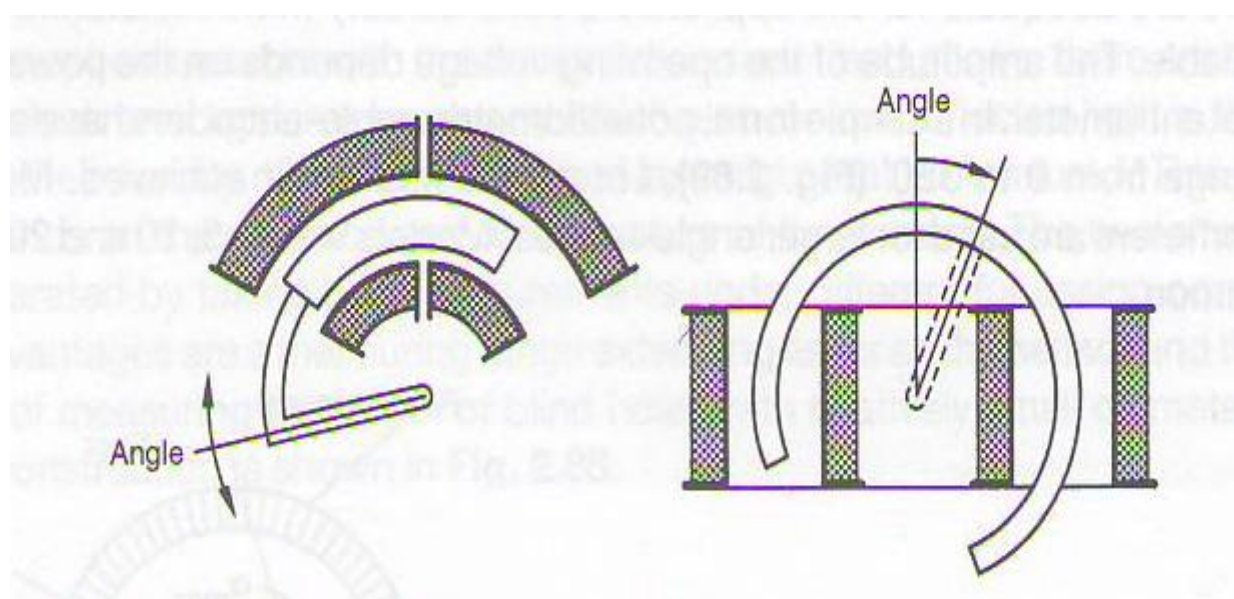
Aylana bo'yicha to'liq xarakatlanadigan enkoderlarda sin – cos potensiometrlari ishlatiladi. Ularning konstruksiyasi va kuchlanish xarakteristikasi 2.90 – rasmda ko'rsatilgan.

Chiziqli va burchak potensiometrik enkoderlari bilan ishlash uchun mahsus funksional modullar mavjud bo'lib, ular potensiometrni 2,5 V stabil kuchlanish yoki 0,5 – 2,5 mA stabil tok bilan ta'minlaydi. Bu modullar o'lchash signalini xam muvofiqlashtirib beradi. Enkoder qurilmalarining chiqish signali 0 dan 20 mA yoki ± 10 mA bo'ladi.



2.90 – **rasm** Potensiometrik sin / cos burchak enkoderlari

Enkoderlarning nol nuqtasi va diapazonini o'rnatish va o'zgartirish mumkin. Induktiv enkoderlar ham burchak enkoderlari sifatida ishlatilishi mumkin. Ularda magnit o'zak aylanma xarakat qiladi. Bunday enkoderlarning ishlash prinsipi 2.91 – rasmda ko'rsatilgan.



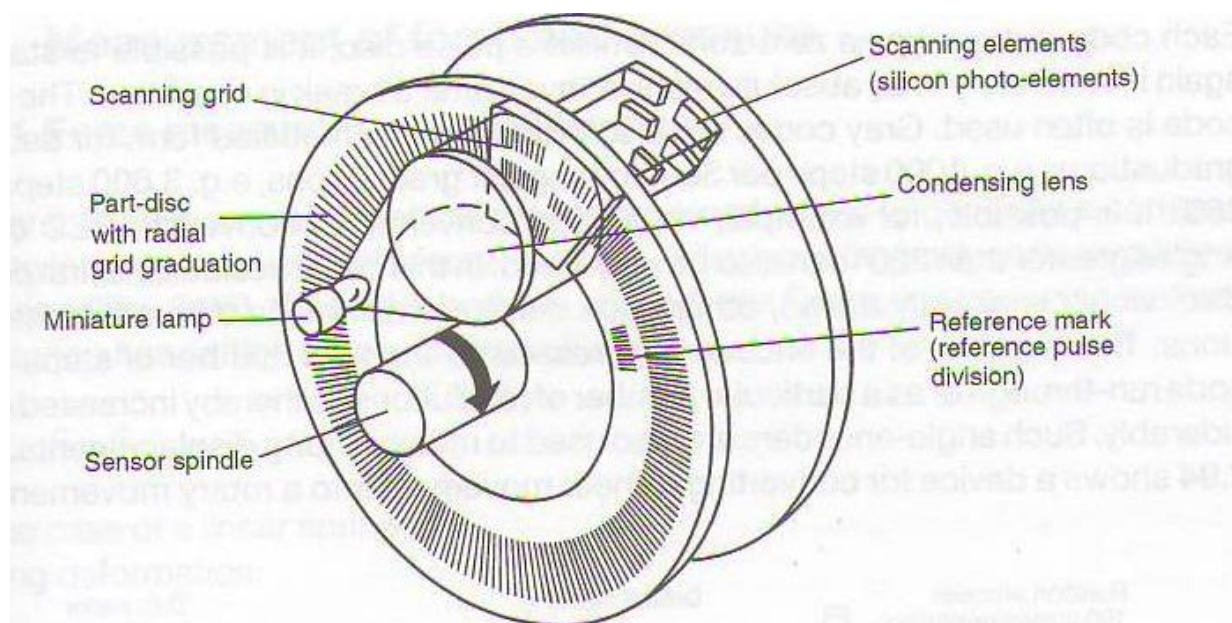
2.91 – **rasm** Induktiv burchak enkoderlarining ishlash prinsipi

Enkoderning ikki induktiv g'altagiga o'zgaruvchan kuchlanish beriladi. G'altaklar induktiv yarim – ko'prik sxemasida yig'ilgan. Enkoder chiqishidagi o'zgarmas tok signali demodulyatordan olinadi. Chiqishdagi o'zgarmas tok signali pog'onasiz va stabil bo'ladi. O'lchangan burchaklarning reproduktivligi yuqori bo'lib, gisterezisi bo'lmaydi. Chiziqlilik xatosi enkoderning nol nuqtasi yoki neytral xolati atrofida eng kichik qiymatga egabo'ladi. Enkoder konstruksiyasi simmetrik bo'lgani tufayli uning nol nuqtasi o'lchash diapazonining markazida joylashgan va signal qiymatini o'zgartirish bilan nol nuqtasini siljitish mumkin. Induktiv burchak enkoderlarining o'lchash diapazoni $\pm 45^\circ$ va sezgirliги bir darajaga 60 mV bo'lishi mumkin, misol uchun.

Chiziqli enkoderlar bilan birga burchakni o'lchash uchun aylanuvchi inkremental enkoderlar ham ishlatiladi. Bu enkoderda shtrix belgilari yoki nurni o'tkazadigan va o'tkazmaydigan zonalar aylana bo'ylab joylashtiriladi (2.92 – rasm).

Enkoderning rotori ma'lum burchakka aylanganda shtrix kodlardan o'tgan yorug'liq foto qabul qiluvchi qurilmada impulslarga o'zgartirilib, sanaladi. Shunda, xisoblagichda to'plangan impulslar soni burchak qiymatiga proporsional bo'ladi. Kodli diskning xar bir nuqtasi o'lchashning boshlanish nuqtasi etib olinishi mumkin, chunki hisoblagich xisobni doym noldan boshlaydi. Avval chiziqli enkoderlarda ko'rsatilgani kabi, xar o'lchashdan so'ng nol nuqtasi qayta o'rnatiladi.

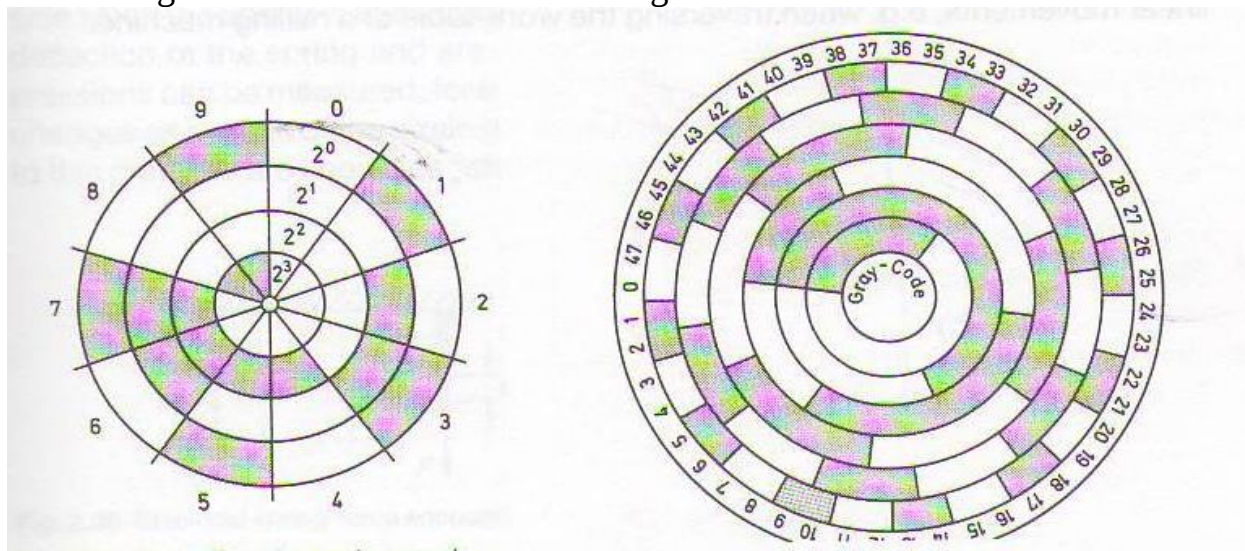
Bu amal har bir o'lchash tugagandan so'ng enkoderning kodli diski boshlang'ich nuqtasigacha buralib, hisoblagichni nolga o'rnatish bilan bajariladi.



2.92 – rasm Inkremental burchak enkoderining konstruksiyasi (Heidenhain)

Aylanish sensorlarida ishlatilgan usullardan foydalanib aylanish yoʻnalishini aniqlash mumkin. Sensorning skanerlash qurilmasini oʻlchanadigan burchak boʻylab toʻgʻri va teskari xarakatlantirish bilan sanalgan impulsar soni koʻpaytiriladi va shu bilan sensorning sezgirlikini oshirish mumkin. Bunda sanalgan impulsar sonini bir aylanishda 5000 dan 20000 gacha olib borish mumkin.

Aylanish tezligini oʻlchashda ishlatilgan elektromagnit enkoderlar ham optik enkoderlari qatorida burchakni oʻlchash uchun ishlatili mumkin. Mutlaq burchak (oʻlchangan burchak qiymatini mutlaq birliklarda aks etuvchi) enkoderlarining konstruksiyasi burchak qiymatini ikkilanmasdan aniqlash imkonini beradi. Shunda enkoderning barcha holatiga muvofiq yagona burchak qiymati toʻgʻri keladi. Bunda impulsli disklar bilan bir qatorda mahsus kodli disklar xam ishlatiladi. Kodli disk aylana boʻylab joylashtirilgan boʻyalgan va boʻyalmagan zonalardan iborat boʻlgan treklardan tashkil topgan. Kodli disk yuzasidagi treklar soni enkoderning oʻlchash aniqligini belgilaydi. Bunday kodli diskarning koʻrinishi 2.93 – rasmda keltirilgan.

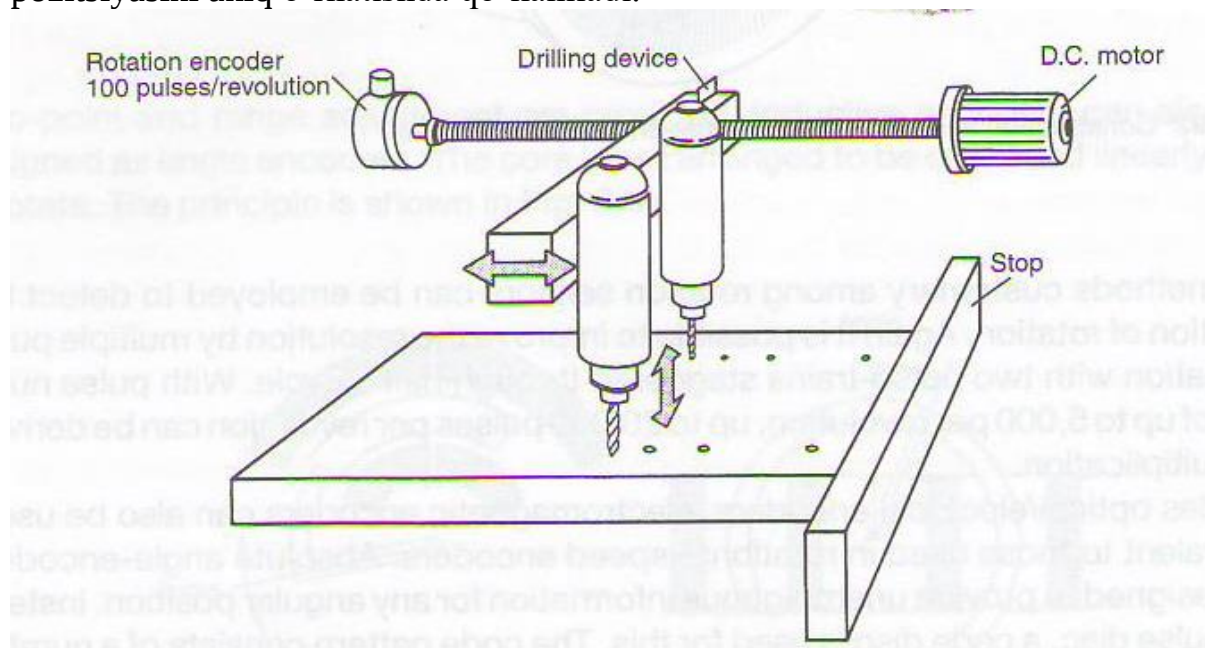


2.93 – rasm Burchak enkoderlarining kodli diskleri

Diskdagi har bir kodli trekning boshlangʻich nol nuqtasi boʻladi. Shuning uchun bu kodli disklar bilan burchak oʻlchamini, diskni nol xolatiga oʻrnatmasdan, doyim mutlaq qiymatlarda olish mumkin. Bu kodli disklarda koʻp hollarda Grey kodi ishlatiladi.

Grey kodining modifikatsilangan turlari, misol uchun toʻliq aylana 360° ga 1000 ta chiziq yoki 3600 chiziq joylashtirilgan kodlar xam ishlatiladi. Qiymati 360° dan katta boʻlgan burchaklarni oʻlchash uchun bir necha kodli disklar ishlatiladi. Bunda disklar har xil transmissiyali boʻlib, har xil tezlikda aylanadi. Burchak qiymatini oʻlchash aniqligini oshirish maqsadida kodli qatorlarga joylashtirilgan kod chiziqlarining soni yuqori darajada koʻpaytiriladi. Bunday burchak enkoderlari katta siljishlarni oʻlchash uchun ham ishlatiladi 2.94 –

rasmda chiziqli harakat aylanma harakatga o'zgargatirib, masofani o'lchaydigan qurilma ko'rsatilgan. Bu usul aylanma harakatidan chiziqli xarakat olinadigan qurilmalarda ko'p ishlatiladi, misol uchun, ishchi stolning pozitsiyasini aniq o'rnatishda qo'llaniladi.



2.94 – rasm Siljish masofasini o'lchash uchun ishlatilgan aylanuvchan burchak enkoderi

2.5 Kuch va bosimni o'lchash

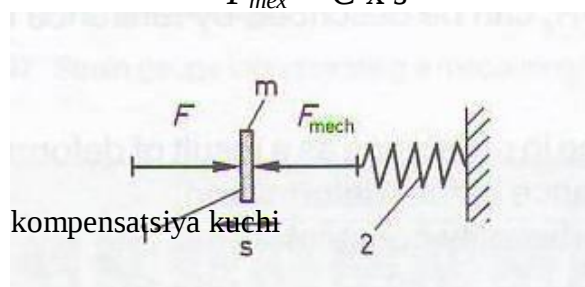
2.5.1 Prujina bilan kuchni o'lchash

Kuchni o'lchash usullaridan eng tarqalgani mexanik yo'l bilan o'lchanadigan kuchni kompensatsiya qiluvchi kuchni yaratishga asoslangan. Paydo bo'lgan kuch F jismga ta'sir etib uni siljitadi va prujinani siqadi (2.95 – rasm). Kuch ta'sir etgan jism muvozanat holatiga kelganda prujina jismga aks ta'sir kuch (kompensatsion kuch) bilan ta'sir qiladi. Kuchlar teglashadi:

$$F = F_{mex}$$

Prujaning siqilish – kuch xarakteristikasi chiziqli bo'lsa kuch bilan prujinaning deformatsiyasi orasida proporsionallik mavjud bo'ladi:

$$F_{mex} = C \times s$$

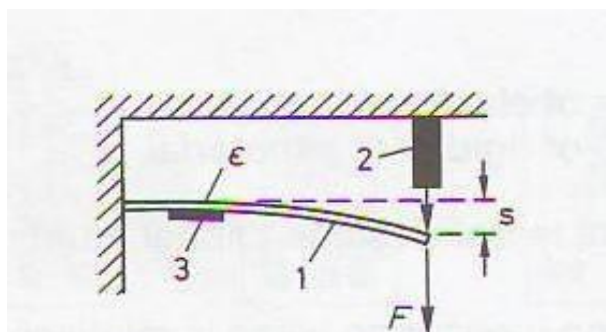


- 1- jism
- 2- prujina
- F – o'lchanadigan kuch
- F_{mex} – prujina ko'rsatgan

S – prujinaning koeffitsienti
 s - jismning siljishi

2.95 – rasm Kuchni prujinaning kompensatsiya kuchini yaratish yo‘li bilan o‘lchash

Prujinaning xarakteristikasini chiziqli qilish texnik jixatdan oson ish emas va biz bu mexanik muammolar ichiga kira olmaymiz. Prujina kuchini ishlatishga asoslangan elektr enkoderning ishlash prinsipi 2.96 – rasmda ko‘rsatilgan. O‘lchanadigan kuch F prujinani egadi. Prujina uchining siljishini sensor, misol uchun, potensiometrik yoki induktiv sensor, yordamida o‘lchash mumkin. Kuchni yassi prujinaning egilgandagi ustki qismining cho‘zilish / uzayishi yoki pastki qismining ezilishini aniqlash yo‘li bilan ham o‘lchash mumkin. Prujinaning cho‘zilishi va ezilishi kuch ta‘sirida bo‘lgani tufayli, ularni aniqlash bilan kuchni o‘lchash mumkin. Cho‘zilish va ezilishni, misol uchun, simning qarshiligining cho‘zilgan yoki ezilgandagi o‘zgarishlarini aniqlash yo‘li bilan o‘lchash mumkin. Ishlashi shu prinsipga asoslangan enkoderlar *cho‘zilish o‘lchovi* nomini olgan.



- 1 - prujina
- 2 - siljish sensori
- 3 - cho‘zilish o‘lchovi

2.96 – rasm Prujina kuchning elektr enkoderi

2.5.2 Cho‘zilish o‘lchovlari

Cho‘zilish o‘lchovlarining ishlashi simning cho‘zilishi va ezilishini o‘lchashga asoslangan. Bunday o‘lchashlar simning faqat elastiklik chegarasida bajariladi va bundan sim o‘zining asl shaklini yoqotmaydi. Jismlarning cho‘zilishini o‘lchash uchun sim uning yuzasiga mustahkam biriktirilgan bo‘lishi kerak. Shunda jismning cho‘zilishi va ezilishi simning muvofiq cho‘zilishi va ezilishiga olib keladi. Bundan simning kesimi va uzunligi o‘zgaradi va shu sababli simning elektr qarshiligini o‘zgartiradi. Mexanik deformatsiya ta‘sirida simning shakli bir oz o‘zgargani uni qarshiligining o‘zgarishlari deyarli faqat chiziqli diapazonda sodir bo‘ladi. Simning cho‘zilishi yoki ezilishi $\varepsilon = 0$ dan 0,5 % gacha bo‘lsa, chiziqlilik 0,0001% dan kam o‘zgaradi:

$$1\% = 1000 \frac{\mu m}{m} = 1 \text{ promile}$$

Cim qarshiligining nisbiy o‘zgarishi $\Delta R/R_0$ quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \times \varepsilon$$

ΔR - deformatsiya ta‘sirida sim qarshiligining o‘zgarishi

R_0 - deformatsiyadan avvalgi simning qarshiligi

K - proporsionallik koeffitsienti

ε - cho‘zilish

Tenglamadagi K faktori sim materialining konstantasi bo‘lib, qiymati 2 dan 4 gacha bo‘ladi. R_0 - simning ikki uchi orasidagi elektr qarshiligi. Bu qarshilikning qiymati 120 Ω , 350 Ω , 600 Ω va 700 Ω bo‘ladi.

Sim qarshiligining chiziqli o‘zgarish diapazonida cho‘zilish ε ni nisbiy uzayish $\Delta l / l$ bilan almashtirish mumkin, shunda :

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \times \frac{\Delta l}{l_0}$$

Δl – o‘lchash simi uzunligining chiziqli o‘zgarishi

l_0 – simning deformatsiyadan avvalgi uzunligi

Tenglamadagi K konstantasi sim materialining cho‘zilishi, kesimi va elektr qarshiligining birgalikda o‘zgarishini aks etadi. Agar K konstanta tarkibidagi qarshilik o‘zgarishini e‘tiborga olmasdan faqat simning kesim o‘zgarishlarini nazarda tutsak, tenglama quyida keltirilgan odatdagi shakliga keladi:

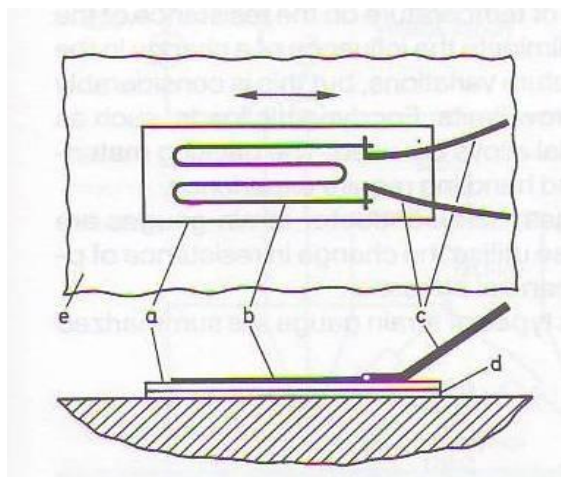
$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \times \frac{\Delta l}{l_0} = (1 + 2\mu) \times \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1$$

E – elastiklik moduli

G – materialning qattqlik moduli

Amalda ishlatiladigan sensorlarda sim egiluvchan materialning yuzasiga spiral shaklida (2.97 – rasm) biriktiriladi.



Cho‘zilish o‘lchovining tuzilishi

a) egiluvchan asos

b) o‘lchash simi

c) ulash terminallari (chiqishlari)

d) biriktiradigan adgeziv yelim

e) jism

2.97 – rasm Cho‘zilish o‘lchovida o‘lchash simining o‘rnatilishi

Simni egiluvchan materialga biriktirish yo‘li bilan cho‘zish o‘lchovlarini yaratish nisbatan qimmat texnologiya hisoblanadi.

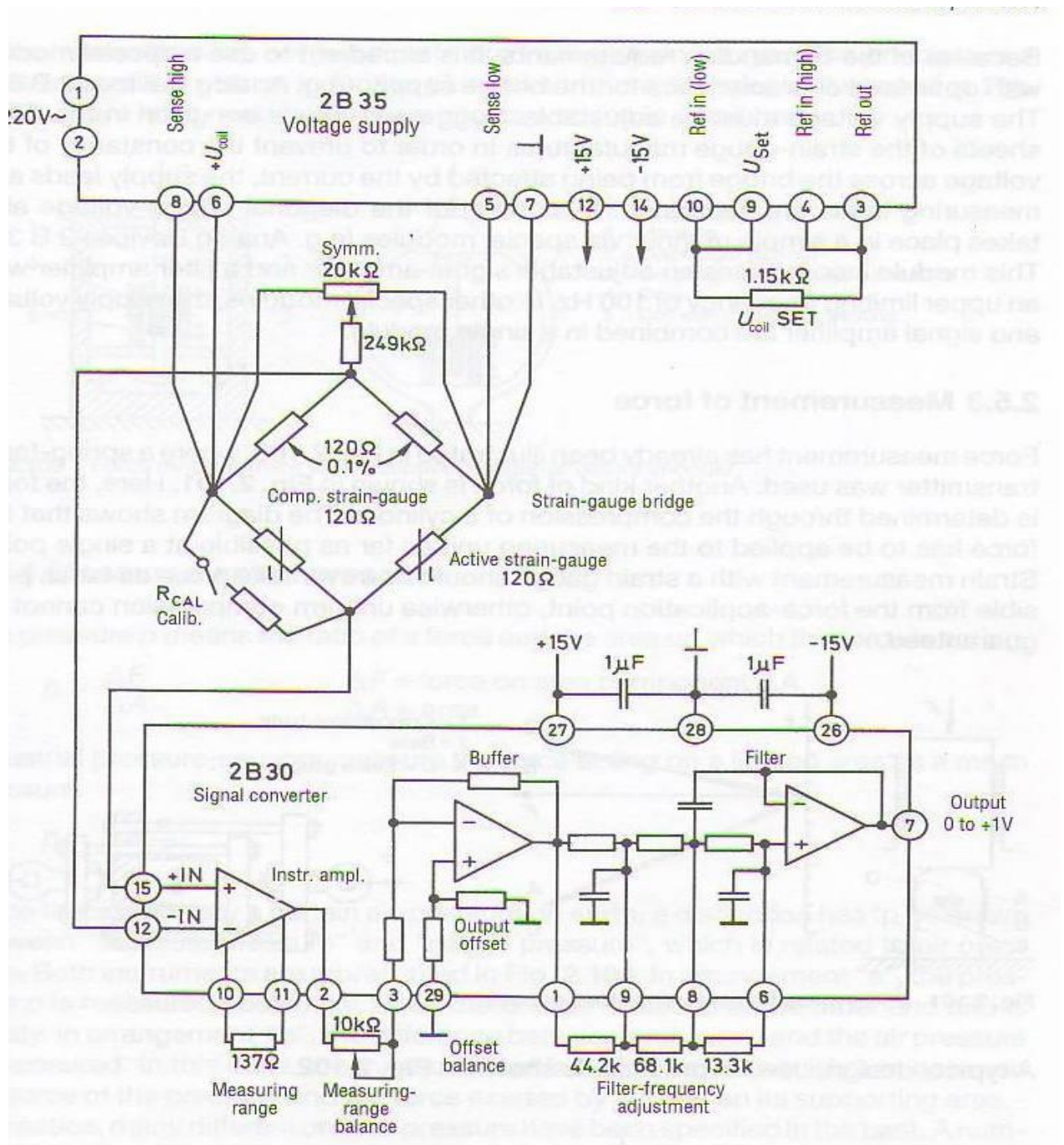
o'lovlarda mexanik deformatsiya ta'sirida r – tur va n- tur yarimo'tkazgich materiallar qarshiligining o'zgarish xodisasi ishlatiladi.

Quyidagi jadvalda (2.99 – rasm) cho'zilish o'lovlarining xarakteristikalarini keltirilgan.

2.9 - jadval

Cho'zilish o'lovining xarakteristikalarini	Kattalik belgisi / birligi	Simli cho'zilish o'lovlarini	Plyonka turidagi cho'zilish o'lovlarini	Yarimo'tkazgichli cho'zilish o'lovlarini
Nominal qarshiligi	R_o / Ω	120;600	120;300;350;600	120;600
10 ta o'lovning nisbiy aniqligi	$\pm \frac{\Delta R}{R_o} / \%$	0,25... 0,5	0,2	0,5
Aktiv o'lchash uzunligi	l / mm	3...6...150	0,6...6...30	1...5
Cho'zilish sezgirligi	K	2	2	100...160
Sezgirlikning aniqligi	$\pm F_s / \%$	0,5	1	2
O'lchash chastotasining chegarasi	F_M / kHz	0...100	0...100	-
Ruhsat etilgan o'lchash toki	I_M / mA	10...40	20..40	10..20
O'lchash ko'prigiga beriladigan maksimal kuchlanish	U_s / V	2...60	2..20	1...2
Maksimal kengayishi	$\varepsilon_{max} / 10^{-3} m/m$	5...50	50...80	3...5
Xatoligi $\pm 0,1 \%$ bo'lgan chiziqlilik chegarasi	$\pm \varepsilon / \frac{\mu m}{m}$	4000...10000	4000...10000	1000
Temperaturani kompensatsiya qilish diapazoni	$\Theta_K / ^\circ S$	- 10 ...+150	- 10...+130	-
Temperatura ko'effitsienti	$\pm \alpha / \left(\frac{\mu m}{m} \right) / K$	1	1	-
Inersionligi soatiga $\varepsilon = 1000 \frac{\mu m}{m}$	$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}$	1...10x10 ⁻³	1...10 x 10 ⁻³	1...10 x10 ⁻³

2.99 – rasm Cho'zilish o'lovlarining sifat va xarakteristikalarini



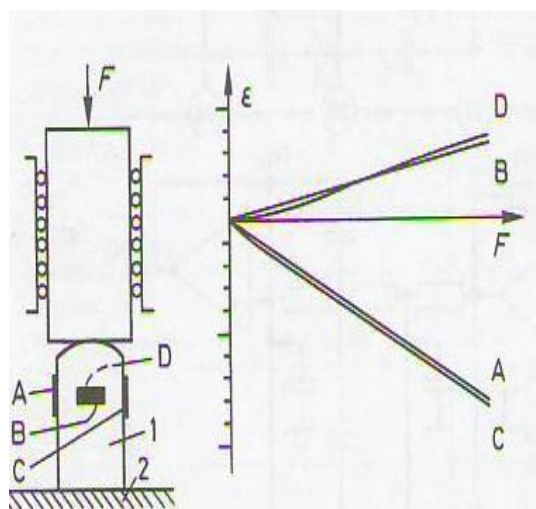
2.100 – rasm O‘lhash sxemasiga ulangan cho‘zilish o‘lchovi

Cho‘zilish o‘lchovlari qarshiligining o‘zgarishi ko‘prik sxemasida o‘lchanadi. Bu sxema o‘lhash sensori, temperatura kompensatsiyasi uchun ishlatilgan ikkinchi sensor va qarshiligi cho‘zilish o‘lchovining nominal qarshiligiga teng bo‘lgan ikkita rezistordan tashkil topgan. Temperatura kompensatsiyasi uchun ishlatilgan ikkinchi sensor deformatsiya yo‘q yerga joylashtirilgan, ikkita rezistor qarshiliklarining aniqligi 0,1 %. Sxemadagi qolgan zanjirlar ko‘prikni muvozanat holatiga keltirish uchun ishlatilgan (2.100 – rasm).

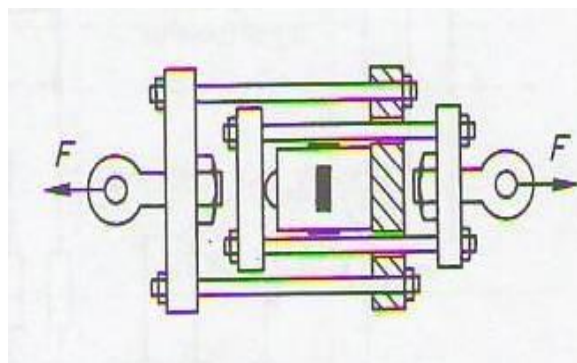
Qo'yilgan talablarga javob berish uchun o'lchash ko'priga xarakteristikalarini optimizatsiya qilingan mahsus kuchlanish manbasidan manbalash kerak (misol uchun Analog Devices 2B35 stabil kuchlanish manbasi). Manbaning kuchlanish qiymatini o'zgartirish imkoni bo'lishi kerak. Cho'zilish o'lchovlarini ishlab chiqaruvchilari ularning xarakteristikalarida manba kuchlanishining qiymatini ko'rsatadilar. Ko'priikka berilgan manba kuchlanishining o'zgarmasligini ta'minlash maqsadida ko'prikn manbaga ulash va o'lchash zanjirlari ajratib qo'yilgan. Ko'prikn o'lchash diagonalidan olingan signal mahsus kuchaytirish moduli bilan kuchaytirilib, o'lchash asbobiga beriladi (misol uchun Analog Devices 2B30). Bu modul, kuchaytirish koeffitsienti o'zgartirish imkoni bor bo'lgan, kuchaytirgich bilan yuqori chastotasi 100 Hz bo'lgan aktiv filtrdan iborat. Ba'zi hollarda manba moduli bilan kuchaytirgich moduli birlashtirilgan yagona modulda bo'ladi.

2.5.3 Kuchni o'lchash

2.100 – rasmda keltirilgan sxemani, egiluvchan plastina yuzasiga joylashtirilgan cho'zilish o'lchovlari bilan, kuchni o'lchash uchun ishlatish mumkin. Kuch o'lchashning boshqa usuli 2.101 – rasmda ko'rsatilgan. Bunda kuch silindrni ezilishidan aniqlanadi. Diagramma ko'rsatib turibdiki, o'lchanadigan kuch o'lchash qurilmasiga iloji boricha uzoq joylashgan yagona nuqtadan berilishi kerak. Bu talab cho'zilish o'lchovlari bir maromda ezilishini ta'minlash uchun qo'yilgan.



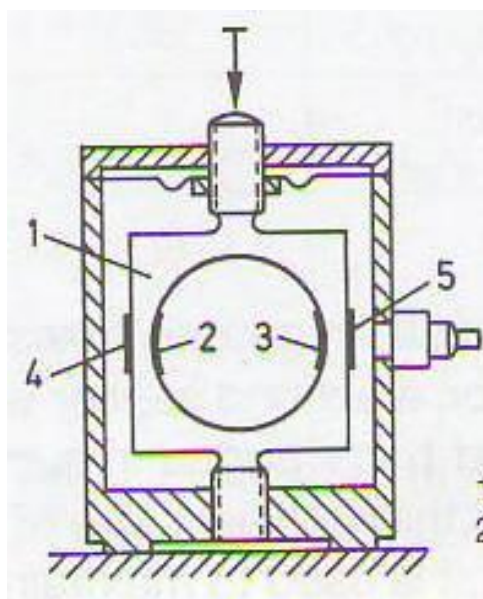
1 – ezilgan jism
2 - asos
A – D – cho'zilish o'lchovlari



2.101 – rasm Cho'zilish o'lchovlari bilan kuchni o'lchash

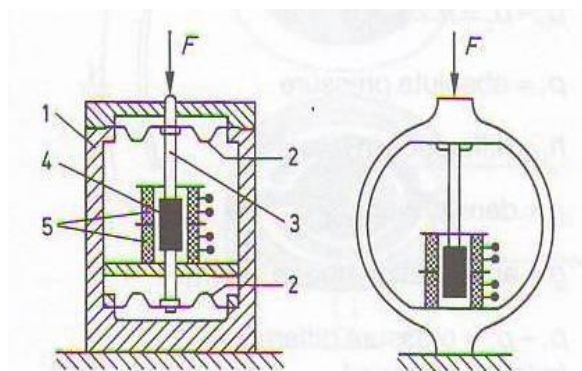
Kuchni o'lchash qurilmasining amaliy namunasi 2.102 – rasmda ko'rsatilgan.

Kuch transmitterlari (o'zgartgichlari) faqat cho'zilish o'lchovlari bilangina yaratilmaydi. Plunjer o'zakli induktiv enkoder ishlatilgan kuch transmitterinig ishlash prinsipi 2.103 – rasmda ko'rsatilgan. Biz uchun uning ishlash prinsipini batafsil ko'rib chiqishni xo'jati yo'q.



1 – prujina tanasi (xalqa)
2,3,4 va 5 – cho'zilish o'lchovlari

2.102 – rasm Xalqa simon o'lchash prujinali kuch transmitteri



1- korpus
2- diafragma (prujina)
3- plunjer turdagi o'zakning muftasi
4- o'zak
5- differensial o'ramli g'altak

2.103 – rasm Plunjer turidagi o'zakli induktiv enkoder bilan kuchni o'lchash

2.5.4 Bosimni o'lchash

Bosim p bu kuchning, shu kuch ta'sir etgan maydon yuzasiga bo'lgan nisbatini ko'rsatadi.

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

ΔF – ΔA maydon komponentiga ta'sir etgan kuch

ΔA - maydon yuzasi

Sanoatda ishlatiladigan bosim sensorlari chegaralangan maydonga ta'sir etgan kuchni o'lchaydi va o'rtacha bosim bo'ladi:

$$\bar{p} = p = \frac{F}{A}$$

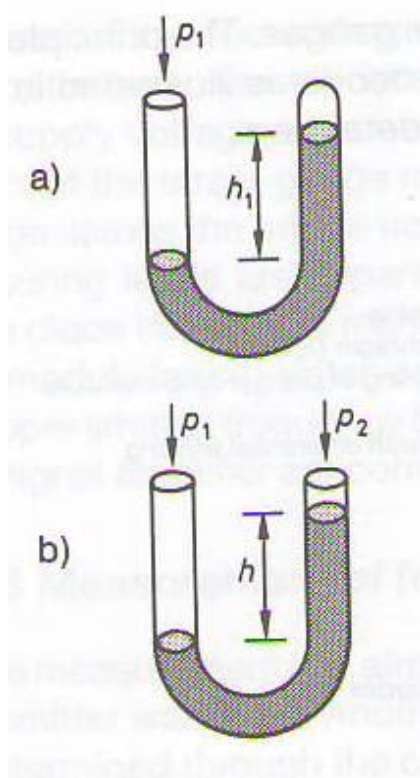
Yer yuzasida atmosfera bosimi doyim mavjud bo'lgani sababli *mutloq bosim* bilan *o'lchov bosimi* orasida farq bor. O'lchov bosimi havo bosimiga nisbatan o'lchanadi. 2.104 – rasmda shu ikki bosimni o'lchash uchun ishlatiladigan o'lchash prinsiplari ko'rsatilgan. "a" prinsipida mutlaq bosim p o'lchanadi, chunki U shaklidagi trubkaning bir uchi yopiq va bo'sh. "b" prinsipida p bosim bilan havo bosimining farqi o'lchanadi. Bu usulda o'lchash trubkasining bir uchiga ta'sir etuvchi bosimni yaratgan kuch bilan ikkinchi uchidagi havo massasi yaratgan kuch orasidagi muvozanat holatiga asoslangan. Bosimni o'lchashda turli o'lchash birliklaridan foydalaniladi. Ular bosimni o'lchash tarixida yaratilgan. Ulardan ba'zilar shu kungacha ishlatilib keladi (misol uchun, *torr*, *at*, *ata*, *atg*). Bosim o'lchovi va o'lchash birligining standartlashtirilishi kuch birligi nyutonda N kvadrat metrlarda o'lchangan m^2 maydon birligiga bo'lgan nisbatiga asoslangan.

$$1 \text{ Pa (Pascal)} = \frac{1N}{1m^2}$$

Paskal birligi bosimni o'lchashda noqulay bo'lgan hollarda, uning karrali birliklari ishlatiladi:

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = \frac{1N}{1mm^2} = \frac{10^6 N}{1m^2}$$

$$1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa} = \frac{1N}{1dm^2} = \frac{100N}{1m^2} \quad (\text{havo bosimini qayd etishda qulay birlik})$$



Mutlaq bosim

$$p_1 = h_1 \times \rho \times g$$

Nisbiy bosim

$$p_1 - p_2 = h \times \rho \times g$$

p_1 – mutlaq bosim

$$\frac{N}{m^2}$$

h_1 – satxlar farqi

$$m$$

ρ – zichlik (suyuqlik)

$$\frac{kg}{m^3}$$

g – gravitatsiya tezlanishi

$$\frac{m}{s^2}$$

$p_1 - p_2$ – bosimlar farqi
(nisbiy bosim)

$$\frac{N}{m^2}$$

h – satxlar farqi

$$m$$

2.104 – rasm Mutlaq va nisbiy bosim

Pnevmatika va gidravlikada shu kungacha *bar* bosimni o'lchash uchun ishlatiladi:

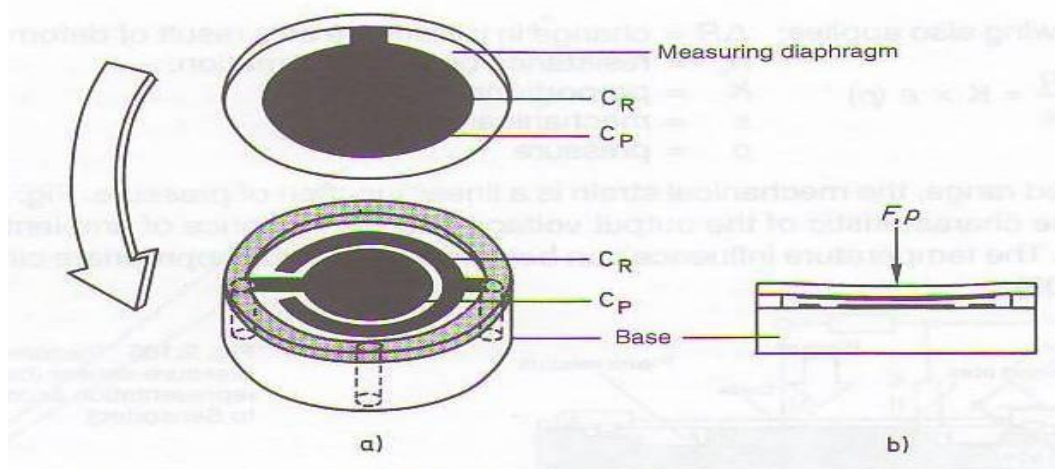
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = \frac{10^5 \text{ N}}{\text{m}^2}$$

Bosim sensorlarining ishlash prinsipi asosan maydoni aniq bo'lgan yuzaga ta'sir etgan bosimni muvozanatga keltirgan kuchni o'lchash yoki bosim bosimni sezuvchi elementga ta'sir ko'rsatganda, misol uchun, uning qarshiligini o'zgartirishi yoki ma'lum kuchlanish hosil qilishiga asoslangan.

Bosimni o'lchash sig'imli sensorlari

Bosimni elektr sig'im vositasida o'lchash usulida bosim ta'sirida harakatga keladigan diafragma bilan elektrodlar orasidagi sig'im o'lchanadi. Bunda elektrodlar bilan diafragma orasidagi masofa bosim ta'sirida o'zgarib, sensorning elektr sig'imini o'zgartiradi. Sig'imning qiymati va uning o'zgarishlari juda kichik bo'lishiga qaramay yaxshi konstruksiyada yaratilgan sig'im sensorining o'lchash aniqligi va reproduktivligi (bir qiymat qayta o'lchanishida yagona o'lchash natijasini berishi) yaxshi bo'ladi. Bunday hol siljishni o'lchash uchun ishlatiladigan sig'imli sensorlarida ham uchraydi. Bu ikki tur sensorlardan talab etiladigan sifat ularning xarakteristikasidagi chiziqlilik. 2.105 – rasmda zamonaviy sig'imli bosim sensorining asosiy konstruktiv ko'rinishi keltirilgan. Har bir sensorni alohida sozlash yo'li bilan xarakteristikasining chiziqliligini 0,05 % dan ham yaxshi qilish mumkin. Sensor sig'imining temperaturaga bog'liqligini temperaturaning – 20 dan + 70 °S diapazonida 0,015 % /K ga erishish mumkin.

Bosimni o'lchash diapazoniga qarab sensorning diafragmasi 0,03 dan 3 mm qalinlikka ega bo'lishi mumkin. Diafragma bilan elektrodlar orasidagi masofa 100 μm atrofida bo'ladi. Diafragma bosim ta'sirida muvozanat holatidan maksimal og'ish holatigacha egilganda, masofa to'liq qiymatining choragiga o'zgaradi.



2.105 – rasm Bosimni o'lchash sig'imli sensori (asosiy ko'rinishi)

P`yezorezistiv yarimo`tkazgichli bosim sensorlari

Yarimo`tkazgichli bosim sensorlari ikki turda bo`ladi:

- sezgir rezistorlari diffuziya yo`li bilan yaratilgan yoki implantatsiya qilingan kremniyli integral sensorlar;
- biriktirilgan sensor – kremniyli sezgir element bosim ta'sir ko'rsatadigan diafragmaning orqa tomoniga qotirilgan.

Ikinchi turdagi bosim sensorlari agressiv muhitda bosim o'lchash uchun ishlatiladi, chunki uning sezgir yarimo`tkazgichli elementi zaglamas po'lat membrannasining orqasiga joylashgan bo'lib, agressiv muhit bilan kontakt qilmaydi.

P`yezorezistiv bosim sensorlarida bosim sensorining sezgir elementi bo'lgan yarimo`tkazgichli diafragmasiga ta'sir ko'rsatadi (2.106 – rasm).

P`yezorezistorli sensorlar ko`prik o'lchash sxemasiga ulanadi va shu yo'l bilan xarakteristikasi chiziqli qilinadi. Ko`prikdagi rezistorlar quyidagi prinsipda tanlanadi: ko`prikning yonma yon yelkalaridagi rezistorlarning qarshiligi bosim tasirida diafragma egilganda qarama qarshi tomonlarga o'zgaradi. Birining qiymati shunda ortsa, ikkinchisining kamayadi (2. 107 – rasm).

Agar ko`prikning qarshiliklari bir qiymatda bo'lsa uning chiqishidagi kuchlanish quyidagi tenglamadan aniqlanadi.

$$U_{OUT} = U_S \times \frac{\Delta R}{R_0} + U_O$$

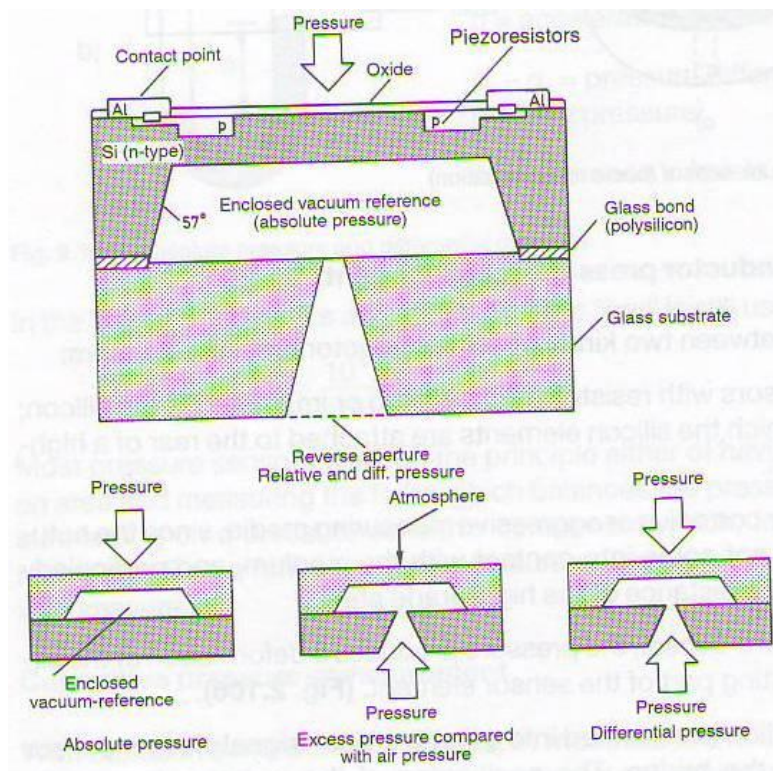
U_{OUT} – sensorning chiqish kuchlanishi
 U_S - sensorga berilgan manba kuchlanishi
 ΔR - deformatsiya ta'sirida qarshilikni o'zgarishi
 R_0 - rezistorning deformatsiyadan avvalgi qarshiligi
 U_O - siljish kuchlanishi

Quyidagi tenglamadan ham foydalanish mumkin:

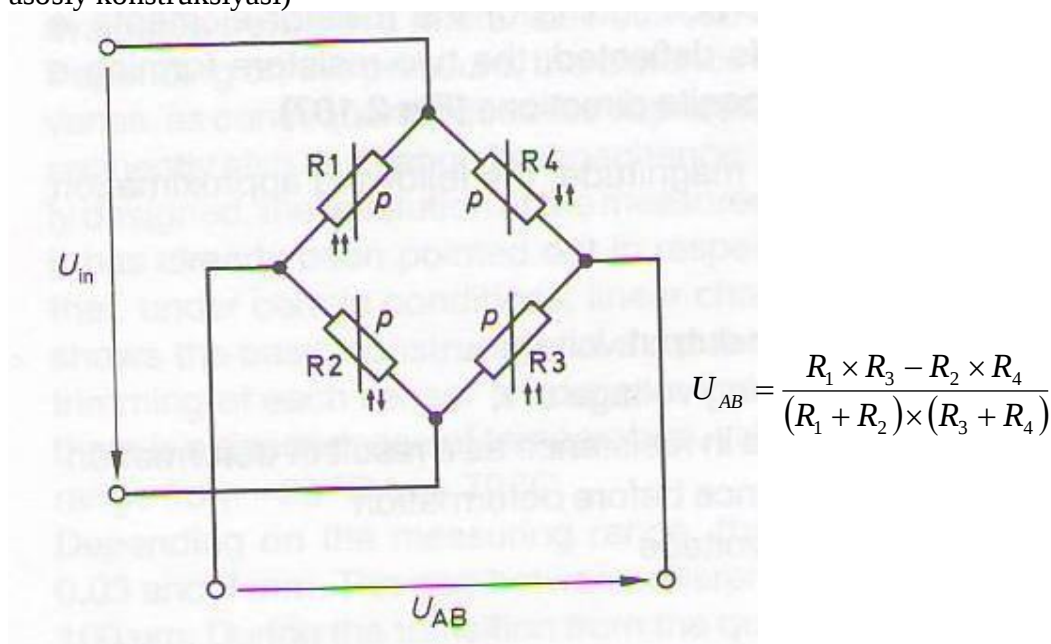
$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \times \varepsilon(\rho)$$

ΔR – deformatsiya tasiridagi qarshilikni o'zgarishi
 R - deformatsiyadan avvalgi qarshilik qiymati
 K – proporsionallik faktori
 ε - mexanik egilish
 (ρ) – bosim

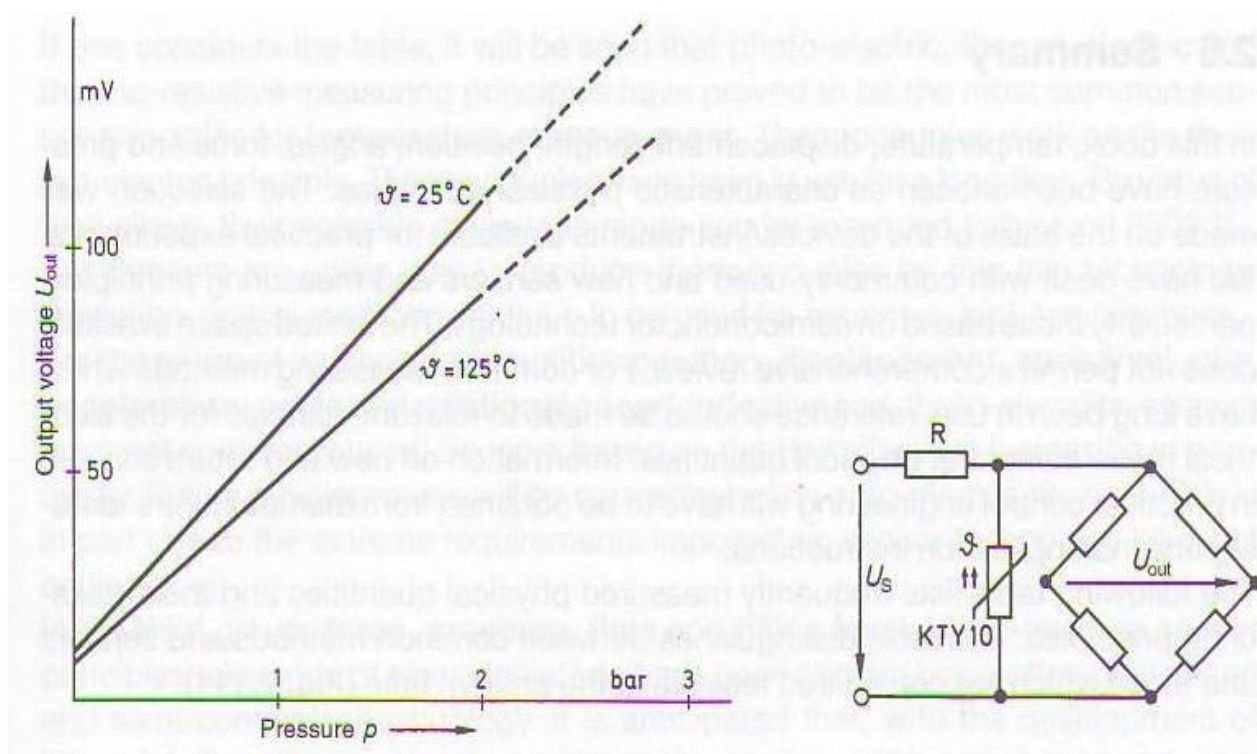
Chegaralangan bosim diapazonida membrana egilishi bosimga proporsional bo‘ladi. 2.108- rasmda ko‘priknig bosim/chiqish kuchlanishi xarakteristikasi va temperaturani ta’siri ko‘rsatilgan. Temperaturaning ta’siri sxematik usullar bilan kompensatsiya qilinishi mumkin (2.109 – rasm).



2.106 – rasm P`yezorezistiv bosim sensori (Sensortec firmasining asosiy konstruksiyasi)



2.107 – rasm P`yezorezistorli ko‘priknig sxemasi



2.108 –rasm Sensorning chiqish
xarakteristikasi
va temperaturaning ta'siri

2.109 – rasm Yarimo'tkazgichli
sensorlarning temperatura
kompensatsiyasi

Quyidagi jadvalda bosimni o'lchash sohalari va ularning bosim diapazonlari keltirilgan (2.110 jadval)

Bosim diapazoni	Sohalar
$< 0,04 \times 10^5$ Pa	Kir yuvish mashinasidagi suvning sathi
$0,1 \times 10^5$ Pa	Vakuumli tozalagichlar; filtrlarni tekshirish; oqimni o'lchash
$0,2 \times 10^5$ Pa	Arterial qon bosimini o'lchash
1×10^5 Pa	Barometrlar; motor kamerasidagi bosim- yonishi va yonilg'i purkalishi)
2×10^5 Pa	Motor kamerasi (yonilg'i purkalishidagi bosimning manfiy farqi)
10×10^5 Pa	Motor kamerasi (moyning bosimi; tormozdagi havo bosimi);refrejeratorlar (sovitgich)
50×10^5 Pa	Pnevmatika ; sanoat robotlari
500×10^5 Pa	Gidravlika; konstruksion mashinalar

2.110 – jadval P`zorezistiv bosim sensorlarini ishlash diapazonlari va sohalari

Jadval sanoatda o'lganadigan bosimlarning to'liq diapazonini o'z ichiga olgan. Kuch va siljishni o'lchash uchun ishlatilgan barcha usullar bosimni o'lchash uchun yaroqli.

2.6 Rezyume

Ushbu kitobda fizik kattaliklarining xarakteristikasini ta'riflash uchun temperatura, siljish, uzunlik, pozitsiya, burchak, kuch va bosim tanlandi. Tanlov amalda keng qo'llanilib kelinayotgan asbob va o'lchash vositalarlariga asoslangan. Biz bunda keng ishlatiladigan va yangi sensorlar, ularning ishlashiga asos bo'lgan prinsiplar va ayniqsa yarimo'tkazgich texnologiyalari asosida yaratilgan sensorlarni yoritishga harakat qildik. Kitobning chegaralangan xajmi barcha o'lchash prinsip va vositalarini ko'rib chiqishga imkon bermadi. Texnikada uzoq muddat ishlatilib kelingan o'lchash usullari bilan tanishish uchun fizik kattaliklarni elektr usullari yordamida o'lchash bo'yicha yaratilgan qo'llanmalarga murojaat qilish mumkin. Sanoatga kirib kelayotgan yangi sensorlarning ishlash prinsiplari va xarakteristikalari to'g'risidagi informatsiyani sensorlarni ishlab chiqaruvchi firmalarning qo'llanmalaridan olish mumkin.

Quyida keltirilgan jadvalda fizik kattaliklarning ro'yxati va ularni o'lchash uchun ishlatiladigan prinsiplar ko'rsatilgan. Jadvalda fizik kattaliklarni o'lchash uchun ishlatiladigan asosiy usullar bilan birga shu kun texnologiyalari asosida ishlatilish imkoni bor yo'llar ham ko'rsatilgan.

Fizik kattalik	Sensorning ishlash prinsipi								
	P'yezor ezistiv	Xoll. effekti	Permalloy	Ultra tovush	Foto elektrik	Induktiv	Sig'im li	Termo elektik	Termo Rezisti
Temperatura	○	○			●			●	●
Pozitsiya		●		●	●	●	●		
Siljish		●		●	●	●	●		
Tezlik		●		○	●	●			
Tezlanish	○	●		○	○	●	●		
Burchak		●			●	●	○		
Aylanish tezligi		●			●	●	○		
Bosim	●	○				○			
Oqim	●	●			○	○			●
To'ldirilish satxi	●	○		●	●	○			○
Kuch	●	●			○	●			
Magnit oqim zichligi		●	●						
Tok		●	●						

● Ishlatiladigan o'lchash prinsipi ○ Ishlatilishi mumkin bo'lgan o'lchash prinsipi

2.111 – rasm Fizik kattaliklarni turli sensor prinsiplarini ishlatib, o'lchash

Jadvalda keltirilgan usullarni ishlatishda narx kriteriyasiga ahamiyat berilmagan. Termoelektrik, termorezistiv va Xoll effekti asosida ishlaydigan sensorlar nisbatan qimmat emas, lekin ultratovushli masofa sensorlari va lazer – optikali masofa enkoderlari, misol uchun, qimmatroq.

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, **temperaturani o‘lchash** uchun asosan fotoelektrik, termoelektrik va termorezistiv prinsiplar ishlatiladi. Termojuftlar termoelektrik prinsipda ishlaydi. Termojuftlar temperaturani o‘lchash uchun ancha vaqtdan beri ishlatilib kelinadi. Termojuftlarni yaratishda yangi metall qotishmalarini ishlatish bilan ularning ishlash diapazonini 2000°S dan ham oshirish mumkin. Termojuftlarni yuqa plyonka texnologiyasi asosida yaratish bo‘yicha tajribalar olib borilmoqda. Juda katta temperaturalarni o‘lchash uchun radiatsion – optika usullari ishlatilib kelinmoqda. Mexanik kattaliklar guruhini tashkil qilgan **pozitsiya, siljish masofasi, tezlik, tezlanish, burchak va aylanish tezligini** o‘lchash uchun asosan induktiv va fotoelektrik sensorlar ishlatiladi. Xoll effekti prinsipida ishlaydigan sensorlarning ahamiyati ortib bormoqda. Kelajakdagi rivojlanish optoelektrik sensorlarniki. Buning sababi jadal ravishda rivojlanib borayotgan robototexnikaning bunday sensorlarga bo‘lgan katta talabi.

Uchinchi guruhni tashkil qilgan **kuch, bosim, oqim va sath** kattaliklarini o‘lchash uchun p‘yezorezistiv prinsip eng afzal. Bunda kremniy va yarimo‘tkazgich texnologiyalarini ishlatish bo‘yicha tajribalar o‘tkazilmoqda. Bu soxada “aqilliroq” sensor sistemalari va sig‘imli sensorlarni rivojlanishi kutilmoqda.

Jadvaldagi to‘rtinchi guruhni **magnit oqim - zichligi va tok** tashkil qiladi. Bu elektrik kattaliklar. Elektrik kattaliklarning turlari va o‘lchash prinsiplari ancha keng bo‘gani bilan biz faqat ko‘rsatilgan kattaliklarga ahamiyat berdik. Shu kun texnologiyalarida elektromagnit prinsipida ishlaydigan sensorlar asosan ishlatilib kelinmoqda.

Sensor Data Bank “Fachinformationzentrum Technik e.V” sensorlar spravochnikida turli kattaliklarni o‘lchash uchun yaratilib, ishlatilib kelinayotgan sensorlar turlarining soni ko‘rsatilgan (2.112 a – rasm). Shu jadvalda turli o‘lchash prinsiplari ishlashiga asos bo‘lgan sensorlar soni ham keltirilgan.

a) O‘lchanadigan kattaliklar bo‘yicha sensorlarning taqsimoti

	O‘lchanadigan kattalik	Umumiy soni	%
1	Siljish	2243	32,0
2	Temperatura	1054	15,0
3	Bosim	909	13,0
4	Kuch	490	7,0
5	Aylanish tezligi	232	3,3

b) O‘lchash prinsipi bo‘yicha sensorlarning taqsimoti

	O‘lchash prinsipi	Umumiy soni	%
1	Induktiv	1559	22,3
2	Cho‘zilish o‘lchovi	1535	21,9
3	Qarshilikni o‘lchash	1169	16,7
4	Optik	963	13,8
5	Mexanik	405	5,8

6	Burchak	230	3,3
7	Tezlanish	223	3,2
8	Differensial bosim	188	2,7
9	Volyumetrik oqim	183	2,7
10	Tezlik	174	2,5
11	Siqilish	115	1,6
12	Massa oqimi	29	0,4
13	Boshqalar	928	13,2

6	P`yezoelektrik	392	5,6
7	Termoelektrik effekt	314	4,5
8	Sig`imni o`lchash	174	2,5
9	Aylanma toklar	98	1,4
10	Akustik	39	0,6
11	Fotoelektrik effekt	37	0,5
12	Magnitoelektrik effekt	16	0,2
13	Boshqalar	698	10,0

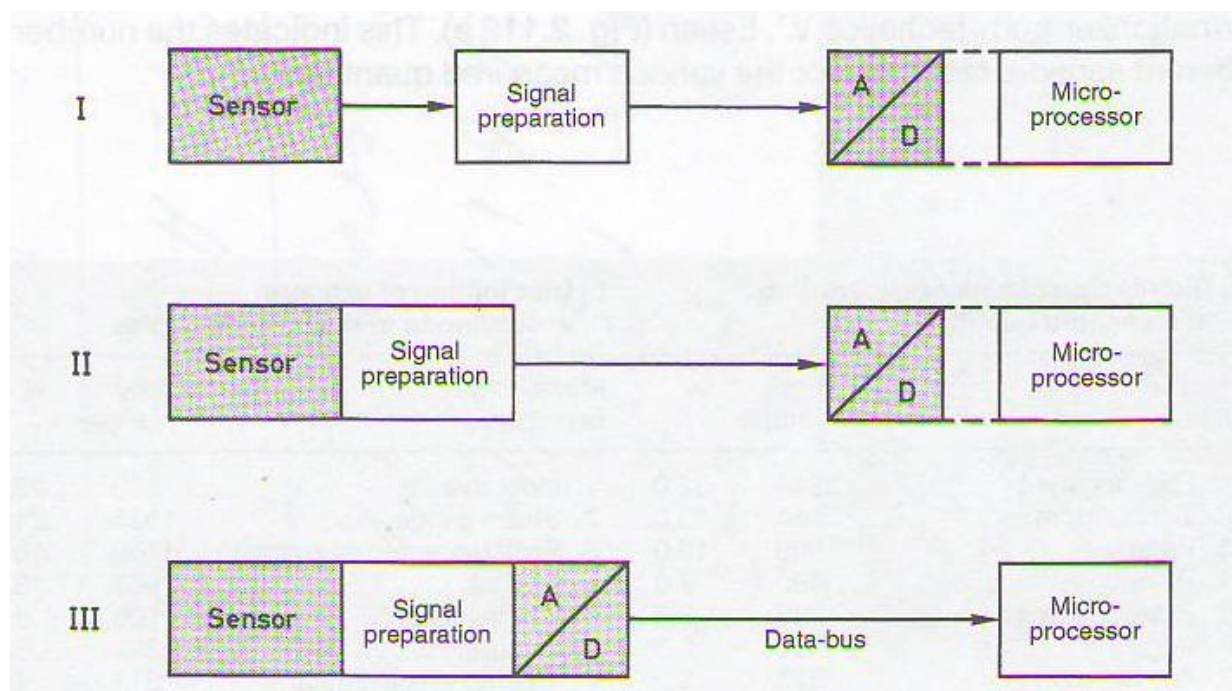
2.112 – rasm Sensorlarni ishlashiga asos bo‘lgan kattaliklar va o‘lchash prinsiplarga qarab taqsimlanishi

Sensor texnologiyalarida ishlatiladigan o‘lchash prinsiplariga sensorlarning taqsimotini ko‘rish mumkin (2.112 b-rasm). Bu turdagi klassifikatsida induktiv va cho‘zilish sensorlari asosiy o‘rinni oladi. Lekin boshqa prinsiplarda, ayniqsa optik prinsipda, ishlaydigan sensorlarning rivojlanishi kutilmoqda.

Va nixoyat, sensor texnologiyalari doym analog texnologiyalari bilan yaqin bog‘langan bo‘lgan. Sanoatda avtomatizatsiyaning rivojlanishi bilan sensorlar ham raqamli texnologik qurilmalar, mikroprotssessor va kompyuterlar bilan birga ishlashga to‘g‘ri keldi (2.113 –rasm). Bunday o‘lchash sxemalarining klassik namunasi (I) sensor elementi, signalni qayta ishlash qurilmasi va analog signalni raqamli signalga o‘zgartirib, mikroprotsessorga uzatish sxemasidan iborat bo‘ladi. Bu sxemaning rivojlangan namunasi klassik sxemaning ikki komponenti biri biri bilan muvofiqlashtirilgan holda yagona qurilmaga o‘zgartirilgan (II). Va, nihoyatda, eng zamonaviy o‘lchash qurilmalarida sensor, signalni qayta ishlash sxemasi va analog – raqam o‘zgartgichi yagona raqamli sensor blokiga o‘zgartirilgan bo‘lib, undan o‘lchanadigan signalga muvofiq bo‘lgan raqamli signal olinadi. Bunday sensorlar “aqlli” sensor deb ham ataladi. Bu sensorlar boshqa sensorlar bilan birga mikroprotsessorning data –bus iga ulanadi va protsessor tomonidan uzluksiz so‘rab turiladi. Bu raqamli o‘lchash sistemasi bo‘ladi. Bunday sistemalarning yanada rivojlanishi ma’lum bir texnologik jarayonni boshqarib turishda turli sensorlardan olingan raqamli signallar protsessorning tarmoqlangan data – bus sistemasi orqali protsessorning kirishiga kelib tushadi va unda qayta ishlanib dastur bo‘yicha boshqaruv buyruqlari yaratiladi. Bunday o‘lchash sistemasining yaxshi ishlashini ta’minlash uchun ko‘p sonli sensorlarni yagona texnologiyada

yarimo‘tkazgichlardan yaratish lozim bo‘ladi, chunki shunda sensorlarni ishlab chiqarish osonlashib, ularning metrologik xarakteristikalari talablarga javob beradigan bo‘ladi.

Kremniy asosida yaratilgan yarimo‘tkazgichli sensor sistemalari sanoatning kelajakdagi talablariga javob bera olmay qolsa III – V elementlari, misol uchun – Galliyning Arsenidi, asosida yaratilgan sensor sistemalarining rivojlanishi kutilmoqda. Sensorli o‘lchash sistemalarining yana bir rivojlanish yo‘li bu optika bilan elektronikaning uyg‘unlashishi.



2.113 – rasm Turi darajadagi integratsiya bo‘lgan sensor sigyalini protsessingi

ILOVA
FIZIKAVIY KATTALIKLAR BIRLIKLARINING LOTIN
ALIFBOSIDA BELGILANISHI

№	Nomi lotin alifbosidagi o'zbek tilida	Belgilanishi		
		Kirill alifbosida	Xalqaro	Lotin alifbosida o'zbekcha
1	2	3	4	5
1	Amper	A	A	A
2	Amper-soat	Asoat	A.h	A*soat
3	Angstrem	°A	°A	°A
4	Astronomik birlik	Ab	AU	Ab
5	Bar	bar	bar	Bar
6	Barn	b	b	B
7	Bekkerel	Bk	Bq	Bk
8	Bel	B	B	B
9	Ber	ber	rem	Ber

1.	Kelvinga kaloriya	kal/K	cal/K	kal/K
2.	Kilogramm	kg	kg	kg
3.	Kilogramm (grey)ga Joul	J/kg	J/kg	J/kg
4.	Kilogrammga kilokaloriya	kkal/kg	kcal/kg	kkal/kg
5.	Kilogrammga Vatt	Vt/kg	W/kg	Vt/kg
6.	Kilogramm-kuch	kg*k	kg.f	kg*k
7.	Kilogramm-kuch-metr	kgk*m	kgf*m	kgk*m
8.	Kilojoul	kJ	kJ	kJ
9.	Kilokaloriya	kakl	kcal	kkal
10.	Kilometr	km	km	km
11.	Kilomol	kmol	kmol	kmol
12.	Kilopaskal	kPa	kPa	kPa

13.	Kilovatt	kVt	kW	kVt
14.	Kilovatt-soat	kVt* soat	kWh	kVt*soat
15.	Kulon	Kl	C	Kl
16.	Kvadrat metr ga kandil	kd/m ²	cd/m ²	kd/m ²
17.	Kvadrat sekundga santimetr	sm/s ²	cm/s ²	sm/s ²
18.	Kyuri	Ki	Ci	Ki
19.	Litr	l	l	l
20.	Litr-atmosfera	l*atm	Uatrn	Uatrn
21.	Lyuks	lk	lx	lk
22.	Lyumen	lm	lm	lm
23.	Lyumen-sekund	lm*s	lmc	lm*s
24.	Maksvell	Mks	Mx	Mks
25.	Massaning atom birligi	m .a.b.	u	m.a.b.
26.	Megahertz	MGs	MHz	MHz
27.	Megakaloriya	Mkal	Mcal	Mkal
28.	Megapaskal	Mpa	MPa	MPa
29.	Megatonna	Mt	Mt	Mt
	Megavatt	MVt	MW	MW

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Buberd, H. Jonett Surface and tin film analysis WILEY-VCH, 2002.
2. Fizicheskaya ensiklopediya.- M.; «Rossiyskaya ensiklopediya», 1989- 95 gg, I-V tom.
3. S.K. Mazumder. High-Frequency Inverters. - Burlington, Massachusetts: Academic Press, 2014
4. П.Р. Исматуллаев, Ш.А.Кадыров, Г.А.Газиев Электрорадио-измерения.- Ташкент: ТГТУ, 2007.
5. Zolotarev V.M, Nikoyorov I d
6. Pilipenko V.A., Ponomar V.N., Gorushko V.N., Soloninko A.A. «Fizicheskie izmereniya v mikroelektronike», Minsk, BGU, 2003 g.
7. N.V.Yushmanov. «Elementi mejdunarodnoy terminologii».-M.;«Nauka» 1968.
8. Slovar inostrannykh slov.- M.; «Inostrannyye i natsionalnyye slovari», 1978.
9. S.G'ulomov, E.Nazirov, N.Xalilov «O'quv adabiyotini yaratish va uni baholash mezonlari».- T.; «Mehnat», 1998.
10. E.N.Nazirov, M.Xolikova, M.Baxodirxonov. «Elementlar davriy tizimini lotin yozuviga asoslangan o'zbek alifbosiga o'tkazish jarayonida uni matniy-uslubiy takomillashtirish imkoniyatlari»«Ta'lim muammolari»jurnal,1999,1-2-son,41-44b
11. R.X.Mallin, E.N.Nazirov, R.M.Qodirov. «Fizikadan ruscha-o'zbekcha terminlar lug'ati».- T.; «O'qituvchi», 1974.
12. A.Abdurazzoqov, E.N.Nazirov «Yadro fizikasidan ruscha-o'zbekcha terminlar lug'ati».- T.; O'zSE, 1988.
13. Журавлева Л.В. Электрорадиоизмерения. -М.: Академия, 2004. 144стр
14. Kratkoye metodicheskoye posobiye po razrabotke i uporyadocheniyu nauchno-texnicheskoy terminologii.-M.; «Nauka», 1979.
15. Etimologicheskiiy slovar.- M.; «Slovari», 1978.
16. Blyumenfeld L.A., Tixonov A.N. Elektronnyy paramagnitnyy rezonans. Sorosovskiy obrazovatelnyy jurnal, №9, 1997, 91 – 99 st.

Internet saytlari

1. www.lex.uz – O‘zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi.
2. www.lab.bmstu.ru
3. www.radio.ru;
4. www.electronic.ru;
5. www.radiotech.by.ru;
6. www.chip.com

MUNDARIJA

1-BOB. KIRISH. FIZIK O'LCHASH USULLARI .

1.1.Fanning maqsadi va vazifalari.....5

1.2. SIRTLARNING BIRLAMCHI VA IKKILAMCHI XOSSALARI..7

1.3.Sirt holatlari. Tamm va Shokli sathlari.....8

1.4. Materiallar sirtini analiz qilish metodlarining tasnifi..... 9

1.2.ANALIZNING EMISSION METODLARI

1. 2.1.Termoelektron metod..... 17

81.2.2.Termoelektronasboblari.....17

1.2.3.Termoelektron emission mikroskopiya (TEEM).....19

1.2.4.KONTAKT POTENSIALLAR FARQI METODI(KPF)

1.2.4.Kontakt potentsiallar farqi metodi (KPF)..... 20

1.2.5. Sirt ionizatsiyasi metodi.....21

1.2.6.Termik desorbsiya metodi.....22

1.2.7.Ekzoelektron emissiya metodi (EEE).....23

1.2.8.Avtoelektron emissiya metodlari (AEE).....24

1.2.9.Avtoelektron mikroskopiya.....25

1.2.10.MYULLERNING ELEKTRON PROYEKTORI

1.2.1.Myullarning elektron proyektori.....27

1.2.2. Atom zondi metodi.....29

1.3.1.Uchqunli mass-spektrometriya.....30

1.3.2. Rastrli elektron mikroskopiya (REM) .Rastrli elektron mikroskopiya- (REMMA)..... . 31

1.3.3.Sizib o'tuvchi rastrli elektron mikroskop..... 33

1.3.4. TEZ ELEKTRONLAR DIFRAKSIYASI METODI

1.3.4.Tez elektronlar difraksiyasi metodi.....34

1.3.5. Elektron-zondli mass spektrometriya (EZMS)..... 36

1.3.6.Elektron-pozitron anniglyasiyasi metodi (EPA).....37

1.3.7. Sekin elektronlar difraksiyasi metodi...

1.3.7.Ikkilamchi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti..... 38

1.3.8.Sekin elektronlar difraksiyasi metodi (SED)..... 40

1.3.9. Elektron oje-spektroskopiyasi.....41

1.3.10. Energiyani xarakterli yo'qotish spektroskopiyasi.....44

1.3.11. Energiyani xarakterli yo'qotishning ionizasion spektroskopiyasi...	45
1.3.12. Energiya xarakterli yo'qotishning past energetik spektroskopiyasi..	46
1.3.13. Energiyani xarakterli yo'qotishning tebranma spektroskopiyasi	48
1.3.14.Bo'sag'a potentsiallari spektroskopiyasi.....	49
1.4.1.Ikkilamchi elektronlar emissiyasi koeffitsiyentini o'lchashga asoslangan metodlar.....	51
1.4.2.Elektronlar jadallashtirgan desorbsiya metodi.....	53
1.5.1. Sirtni elektromagnit nur bilan zondlash.	
1.5.1.Fotoelektron emissiyasi metodi (FEE).....	54
1.5.2. Fotoelektron spektroskopiya metodi (FES).....	55
1.5.3.Fotodesorbsiya metodi (FD).....	57
1.5.4. Lazerli mass-spektrometriya (LMS).....	58
1.5.5.Sirtni ion va molekulyar dastalar bilan zondlash.	
1.5.6.1.Ikkilamchi ionlar mass-spektrometriyasi metodi (IIMS).....	59
1.5.7.Sekin ionlarning sochilish spektroskopiyasi (SISS).....	62
1.5.7.1.Rezerfordning orqaga sochilish spektroskopiyasi(ROS)	65
1.5.8.Ion-elektron emissiyasi metodlari.....	66
1.5.9.Changlatilgan zarralarning optik spektroskopiyasi.....	67
1.6.Ion Oje-spektroskopiyasi	
1.6.1.Miltillama razryad mass-pektrometriyasi.....	69

2- BOB. Noelektr kattaliklarni elektr o'lchash usullarida o'lchash

2.1 Umumiy tushunchalar.....	71
2.1.1 Sensor texnologiyasiga kirish.....	71
2.1.2 Ideal sensor.....	73
2.1.3 Aktiv va passiv sensorlar.....	74
2.2 Temperaturani o'lchash.....	77
2.2.1 Qarshilikni o'lchash sensorlari (qarshilik termometrlari) bilan temperaturani o'lchash.....	79
2.2.2 Termojuftlar(termoparalar)....	84
2.2.3 Termistorlar.....	91
2.2.3.1 NTC termistorlari.....	94
2.2.3.2 RTC rezistorlari.....	98
2.2.4 Kremniy asosida yaratilgan temperatura sensorlari.....	101
2.2.4.1 KTY10 va KTY16 seriyali temperatura sensorlari.....	102
2.2.4.2 AD590 temperatura sensori.....	104
2.2.4.3 LM35 temperatura sensori.....	107
2.3 Aylanish tezligini o'lchash.....	108

2.3.1	Taxogeneratorlar.....	109
2.3.1.1	Uch fazali taxogeneratorlar.....	111
2.3.1.2	O'zgaruvchan tok taxogeneratorlari.....	113
2.3.1.3	O'zgarmas tok taxogeneratorlari kommutatorlari bilan.....	114
2.3.1.4	Shchyotkali o'zgarmas tok taxogeneratorlari.....	115
2.3.2	Inkrementli tezlik enkoderi.....	117
2.3.2.1	Magnit sensorlari bilan aylanish tezligini o'lchash.....	119
2.3.2.2	Aylanish tezligini optik sensorlar bilan o'lchash.....	122
2.3.3	Impulslarni ko'paytirish va aylanish yo'nalishini qayd etish.....	127
2.3.4	Aylanish tezligini o'lchashda ishlatiladigan yangi sensorlar.....	129
2.4	Siljish va burchaklarni o'lchash.....	130
2.4.1	Potensiometrik siljish sensorlari.....	131
2.4.2	Sig'imli va induktiv sensorlar.....	135
2.4.2.1	Siljishning sig'imli sensorlari.....	136
2.4.2.2	Siljishning induktiv sensorlari.....	137
2.4.2.3	Pozitsiya enkoderi sifatida ishlatiladigan Xoll sensori.....	145
2.4.2.4	Ultratovushli pozitsiya enkoderlari.....	146
2.4.2.5	Optik prinsipda ishlaydigan pozitsiya sensorlari.....	147
2.4.2.6	Burchaklarni o'lchash	150
2.5	Kuch va bosimni o'lchash.....	154
2.5.1	Prujina bilan kuchni o'lchash.....	154
2.5.2	Cho'zilish o'lchovlari.....	155
2.5.3	Kuchni o'lchash.....	160
2.5.4	Bosimni o'lchash.....	161
2.6	Rezyume.....	167
Ilova		170
Foydalanilgan fdabiyotlar		172
Mundarija		175

O'quv nashri
2020-2021 o'quv yili

Rabbimov Eshboy Azimovich
Suyarova Matlyba Xusanovna

FIZIK O'LCHASHLARNING ZAMONAVIY USULLARI

FANIDAN
O'QUV QO`LLANMA

5310800 - “ Elektronika va asbobsozlik ” (tarmoqlar bo'yicha)
5350700 - “ Radioelektron qurilma va tizimlar ” (tarmoqlar bo'yicha)

yo'nalishlarida ta'lim olayotgan bakalavrlar uchun

o'quv qo'llanma

JIZZAX-20____ y.

Nashrga ruxsat berildi

Ofset qog'ozi. Buyurtma №

Bosma. Tiraj nusxa

Jizzax politexnika instituti

JizPI Ilmiy – uslubiy kengashining

20____" ____" _____dagi №____- sonli bayonnomasiga

asosan nashrga tavsiya etilgan

Javobgar muxarrir

