

Senzori, sisteme senzoriale/ Măsurarea mărimilor electrice și neelectrice 2

Note de curs

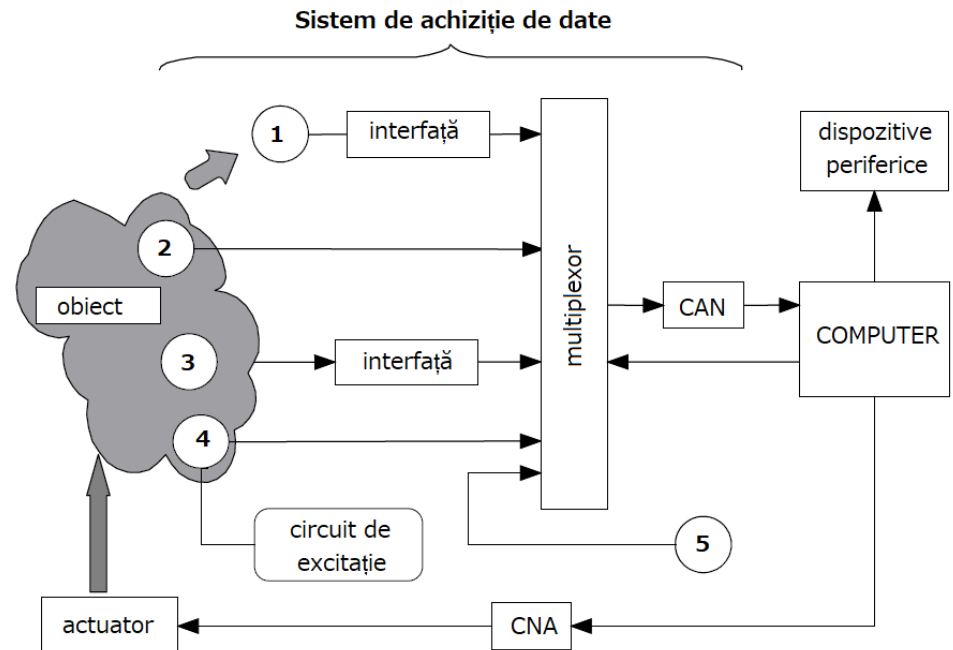
Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

1. Introducere

- *Senzor = dispozitiv ce recepționează și reacționează la un stimul*
- *Senzor = un dispozitiv ce reacționează la un semnal sau stimul și răspunde cu un semnal electric*
- Caracteristica principală a unui senzor este de a reacționa la anumite fenomene fizice și de a le converti într-un semnal electric compatibil circuitelor electronice.

- **Sistem de achiziție date**

- 1 – senzor noncontact
- 2,3,4 – senzori interni, cu contact
- 5 – senzor al aparatului de măsură
- Interfața – circuit de condiționare a semnalelor
- 4 – senzor activ, are circuit de excitație
- 1,2,3,5 – senzori pasivi,
- MUX – multiplexor,
- CAN – convertor analog-numeric
- CNA – convertor numeric-analog,
- Actuator = motor electrice, electromagnet, releu, valve.



Clasificarea senzorilor

- După tipul semnalului de intrare:

Categoria	Mărimea măsurată
Mecanică	Lungime, grosime, deplasare, nivel de lichid, viteză, accelerație, unghi, număr de rotații, masa, forță, presiune, moment, cuplu, debit, oscilații
Electricitate	Curent, tensiune, potențial, energie, impedanță, rezistență, capacitate
Magnetism	Câmp magnetic, inducție magnetică
Termică	Capacitate calorică, temperatură, căldură specifică, cantitate de căldură.
Umiditate	Umiditate, duritatea apei
Chimie	Densitate, pH, granulație, masa specifică
Bioinginerie	Bătăi cardiace, presiune sanguină, puls.

- **Clasificarea senzorilor**

Există mai multe criterii de clasificare a senzorilor, cele mai importante fiind :

- dacă intră sau nu în contact cu obiectul a cărui proprietate fizică o măsoară, distingem:
 - senzori cu contact;
 - senzori fără contact;
- în funcție de proprietățile pe care le pun în evidență:
 - senzori pentru determinarea formelor și dimensiunilor (pentru evaluarea în mediu de lucru);
 - senzori pentru determinarea proprietăților fizice ale obiectelor (de forță, presiune, de cuplu, de densitate și elastici);
 - senzori pentru proprietăți chimice (de compoziție, de concentrație, analizatoare complexe);
- în funcție de mediul de culegere a informației se disting:
 - senzorii pentru mediul extern,
 - senzorii pentru funcția internă,

Caracteristicile și performanțele senzorilor.

Domeniu de măsurare

- reprezintă intervalul de variație al mărimii de intrare, pentru care un senzor sau un traductor poate furniza informații de măsurare, cu o incertitudine de măsurare prestabilită.
- Intervalul de măsurare este cuprins între o limită inferioară $x_{\min}$ și o limită superioară $x_{\max}$.
- De obicei acest interval de măsurare este specificat chiar în denumirea senzorului (în codul lui conform unei structuri stabilite de producător Ex: Senzor de presiune P10_50_24V – senzor de presiune 10-50 bar,).

Domeniul de deteriorare.

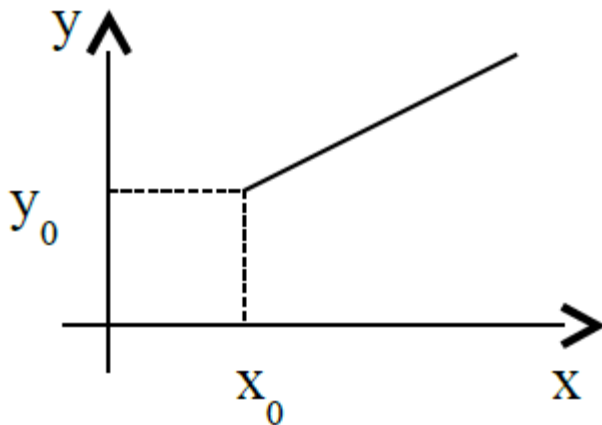
- Odată depășite valorile nominale ale domeniului de măsură, dar rămânând în anumite limite prescrise care nu duc la distrugerea traductorului, caracteristicile acestuia riscă să se modifice.
- Revenirea la domeniul nominal readuce traductorul în parametrii nominali prescriși de fabricant;

Domeniul de distrugere.

- Odată depășite valorile domeniului de deteriorare dar rămânând în anumite limite ce nu duc la distrugere, caracteristicile traductorului se modifică ireversibil.

Caracteristici statice

- Sunt reprezentate de relația mărime de ieșire-mărime de intrare $y=f(x)$.
- Schimbarea în amplitudine a mărimii de ieșire, rezultată prin schimbarea în amplitudine a mărimii de intrare a senzorului, poate fi măsurată prin intermediul sensibilității.
- Sensibilitatea absolută: $S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$
- Sensibilitatea relativă: $S = \frac{\Delta y}{\Delta x} * 100\%$
- Caracteristica statică liniară unidirecțională

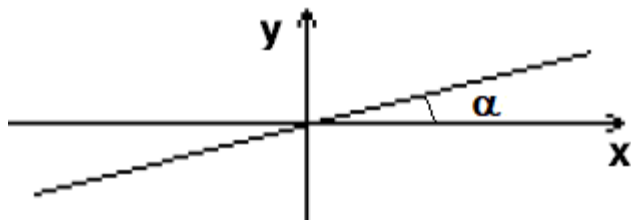


$$y = k(x - x_0) + y_0$$

$$x \geq x_0$$

$$k = \tan \alpha$$

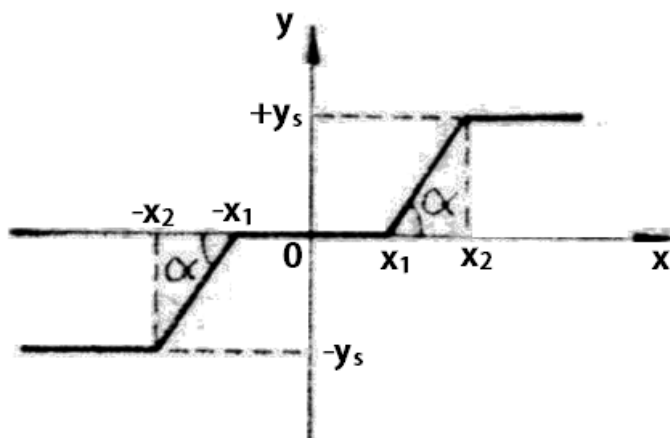
- Caracteristica statică liniară proporțională bidirecțională



$$y = k^* x$$

$$k = \tan \alpha$$

Caracteristica statică liniară cu porțiuni de insensibilitate / saturație



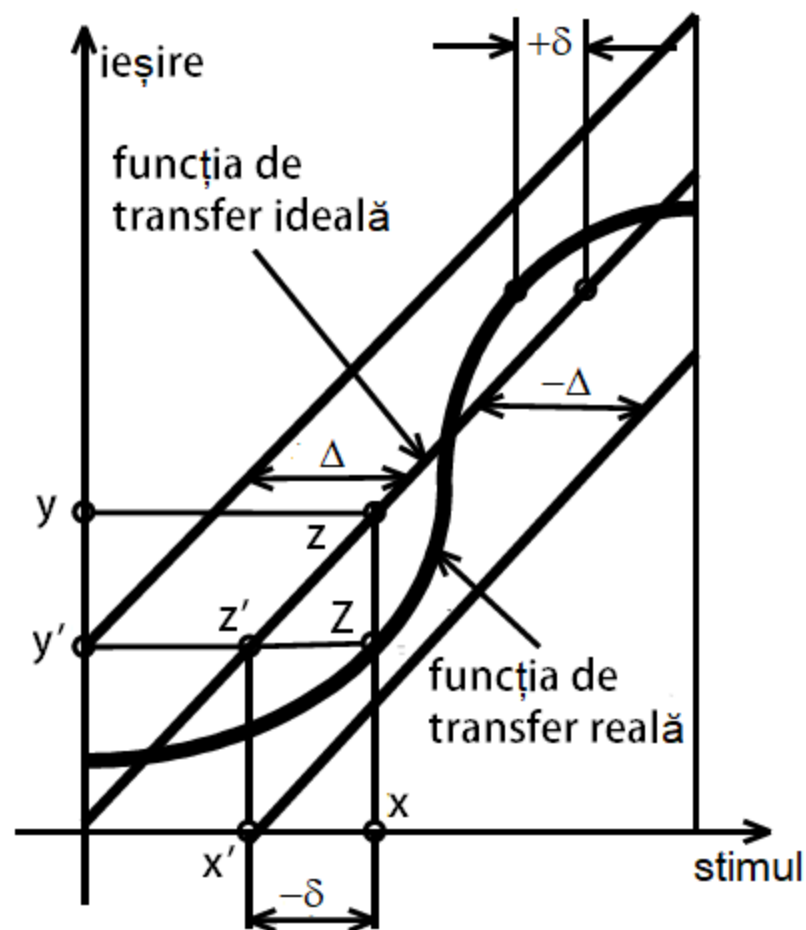
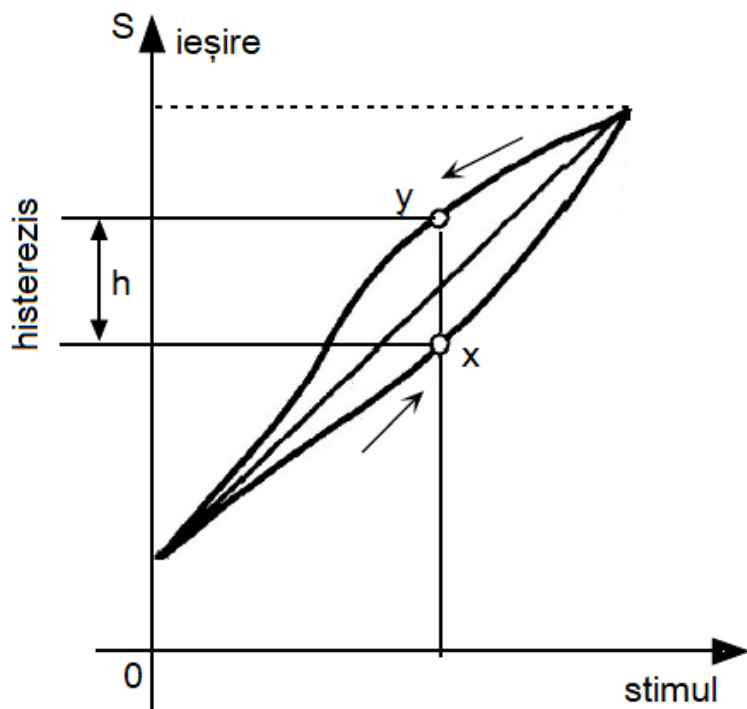
$$y = \begin{cases} 0, & \text{pentru } -x_1 < x < x_1 \\ k * (x \pm x_1), & \text{pentru } \begin{cases} -x_2 \leq x \leq -x_1 \\ +x_1 \leq x \leq +x_2 \end{cases} \\ -y_s, & \text{pentru } x < -x_2 \\ +y_s, & \text{pentru } x > x_2 \end{cases}$$

- Offset-ul
 - valoarea semnalului de ieșire pentru o valoare a semnalului de intrare egală cu zero (la intrare nu se aplică semnal),
 - valoarea semnalului de intrare pentru care valoarea semnalului de ieșire este egală cu zero .
 - în general offset-ul se compensează cu ajutorul circuitelor de condiționare sau prin soft.
- Domeniul dinamic
 - reprezintă limitele în care semnalul de intrare poate fi convertit de către senzor în semnal electric.
 - de obicei domeniul dinamic este exprimat în decibeli, adică valoarea logaritmică a raportului dintre două mărimi (puteri, tensiuni, forțe, etc.):

$$1 \text{ dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

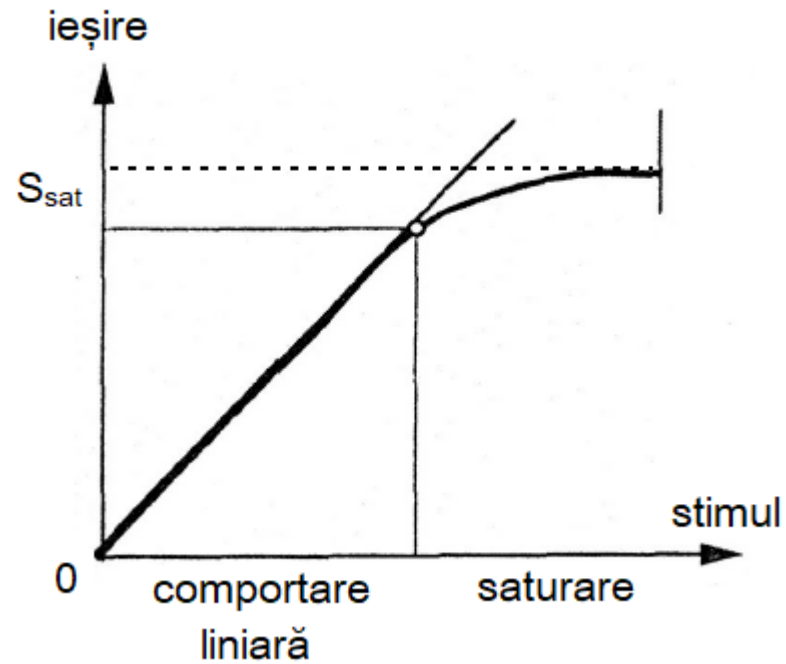
- Discriminarea = cea mai mica variație a mărimii de intrare care poate determina o variație sesizabila (măsurabilă) a semnalului de ieșire se numește discriminare sau prag de sensibilitate,
- Este important să cunoaștem gradul de discriminare al unui senzor deoarece aceasta ne spune dacă senzorul este capabil sau nu să „simtă” variațiile măsurandului
- Precizia = intervalul de valori obținut pentru măsurători repetate
- Acuratețea este definită de valoarea cea mai apropiată de valoarea adevărată.

- Eroare de **histereză** este dată de variația semnalului de ieșire a senzorului pentru o anumită valoare a semnalului de intrare, atunci când ne apropiem din direcții diferite.
- Cauzele tipice ce determină histerezisul sunt date de modificările structurii interne și de fricțiunile din materiale.



Funcția de transfer ideală/reală

- **Saturația** = momentul în care senzorul atinge limita de funcționare,
 - Oricât ar crește semnalul de intrare, semnalul de ieșire rămâne constant.
- **Rezoluția** = intervalul maxim de variație al mărimii de intrare necesar pentru producerea unui salt la semnalul de ieșire.
 - senzorii potențiometrici, detectori în infraroșu și alți senzori la care modificarea semnalului de ieșire este posibilă numai dacă variația semnalului de intrare este suficient de mare



Caracteristici dinamice

- ***Timp de calibrare*** (warm-up) este timpul dintre momentul aplicării semnalului de excitație și momentul în care senzorul poate funcționa la precizia specificată de fabricant
- ***Răspunsul în frecvență*** este o caracteristică dinamică importantă a unui senzor, și exprimă dependența dintre amplitudinea semnalului de ieșire și viteza de variație (sau frecvența) semnalului de Frecvența limită,
 - Frecvența limită, f_u , este adesea denumită și frecvența de tăiere și reprezintă de fapt cea mai mare frecvență la care poate lucra un senzor.
- ***Răspunsul în frecvență*** este determinat în mod direct de **viteza de răspuns**, care este definită ca: timpul necesar pentru a atinge 90% din valoarea semnalului în regim permanent (sau din valoarea maximă) la o valoare a semnalului de intrare egală cu treapta minimă (treapta minimă este definită de rezoluția senzorului).

- ***Frecvența limită inferioară*** exprimă cea mai mică frecvență a stimulului la care senzorul poate reacționa. În mod similar se definește,
- ***frecvența limită superioară*** și reprezintă frecvența maximă a stimulului la care senzorul mai poate reacționa.
- ***Defazajul*** la o frecvență specificată definește întârzierea semnalului de ieșire față de momentul schimbării stimulului, și se măsoară în radiani.
- ***Driftul*** este determinat de variația de-a lungul timpului a proprietăților senzorului (structura chimică) și a mediului (temperatură, umiditate, presiune atm.)
- ***Calibrarea*** = Procesul și aparatele folosite pentru a stabili dacă o măsurătoare este destul de exactă

- Erorile senzorilor
 - Erori de achiziție
 - Erori de acuratețe (sistematice)
 - Erori de precizie (aleatoare)
 - Erori de măsurare
 - Erori grosolane
 - Erori de prelucrarea datelor
 - acuratețea calculului valorilor din măsurători
 - acuratețea modelului de măsurare instalat

- **Erori sistematice**

- *erori de calibrare a instrumentelor de măsurare – eliminabile prin calibrare proprie pe bază de standarde corespunzătoare;*
- *erori de măsurare datorate senzorului – eliminabile prin calibrarea senzorului și ridicarea caracteristicii;*
- *erori de condiționarea semnalului – eliminabile prin calibrarea senzorului cu circuitele de condiționare conectate și ridicarea caracteristicii;*
- *erori de instalare a senzorului – eliminabile prin instruirea personalului și experiență;*
- *erori de aranjare spațială a senzorului;*
- *erori temporale – eliminabile prin controlul mediului;*
- *erori datorate temperaturii – eliminabile prin calibrare și măsurări la aceeași temperatură.*

- **Erori aleatoare**

- erori de citire a instrumentelor de măsurare
 - erori datorate modificărilor în condițiile de experiment

- Cauzele posibile are erorilor aleatorii**

- influența mediului – de ex. interferența electromagnetică;
- erorile datorate rezoluției – includ totalitatea efectelor de cuantificare
- din circuitul de măsurare;
- deriva – este numele generic pentru variabile lente. Cauze posibile:
- modificarea temperaturii și a umidității, instabilitatea surselor de putere
- zgomotul – zgomotul termic, zgomotul alb;

Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 2 – Senzori de temperatură

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

2.1. Generalități

- Măsurarea temperaturii constituie una dintre cele mai uzuale procese de măsurare.
- Probabil, cel mai simplu și mai des folosit fenomen în măsurarea temperaturii este dilatarea termică
- Detectori:
 - rezistivi,
 - termoelectrice,
 - optici
 - Piezoelectrice
- Când un senzor (sonda) este introdus într-un obiect sau plasat pe suprafața obiectului, va exista un transfer de căldură între sondă și obiect: senzorul se va răci sau se va încălzi.
- Același fenomen va apărea și în cazul transferului de energie termică sub forma de radiație în IR, senzorul va absorbi sau emite radiație IR în funcție de temperatura corpului monitorizat.
- Orice senzor, indiferent de cât de mic este, va perturba rezultatele măsurătorii și deci este o problemă majoră în a minimiza erorile introduse de senzor și în a adopta o metodă optimă de măsurare

- Există două metode de procesare a semnalului în măsurătorile de temperatură:
 - ***metoda echilibrării*** - temperatura se va măsura doar în momentul în care nu mai există gradient de temperatură între senzor și obiect (au aceeași temperatură),
 - Termometru medical – corp uman 3-4 min
 - Bazin cu apă – 10 secunde
 - ***metoda predictivă*** - punctul de echilibru nu este atins niciodată, ci este determinat din viteza de schimbare a temperaturii senzorului

- **Metoda echilibrării:** cantitatea de căldură transferată este:
 - A = aria de contact,
 - a = conductivitatea termică a mediului de transfer
 - T = temperatura termometrului
 - T_1 = temperatura măsurată
 - t = timpul

$$dQ = aA(T_1 - T) dt$$

- Căldura absorbită de senzor:
 - m = masa senzorului
 - c = căldura specifică a senzorului

$$dQ = mcdT$$

- Constanta de timp termică:

$$\tau_T = \frac{mc}{aA}$$

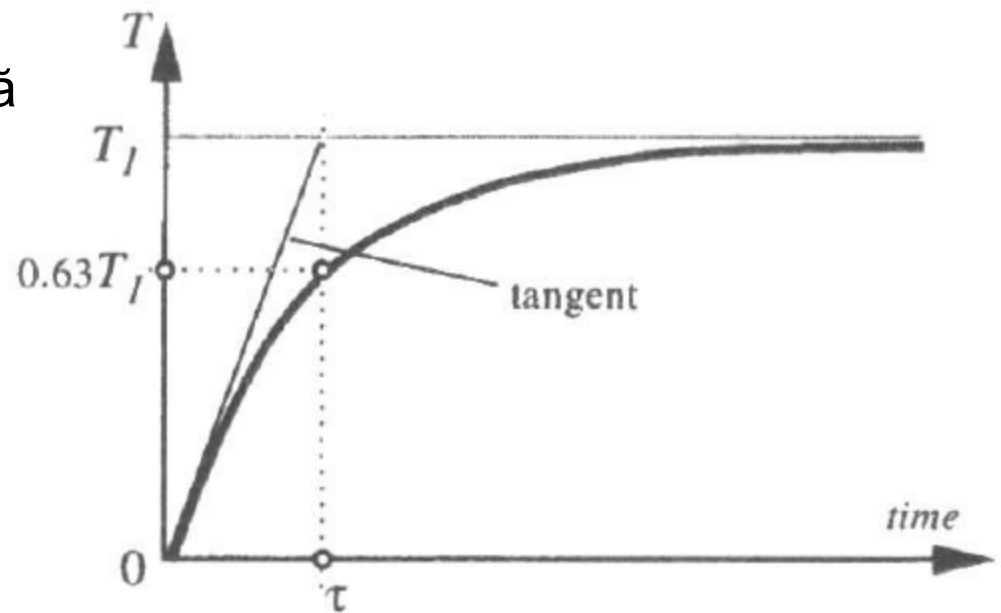
- Ecuația diferențială :

$$aA(T_1 - T) dt = mcdT$$

- Va avea soluția:

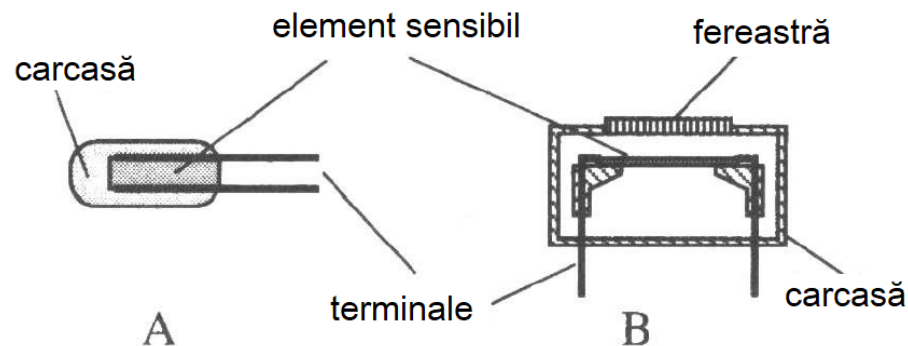
$$T = T_1 - \Delta T_0 e^{-t/\tau_T}$$

Constanta de timp τ_T reprezintă timpul necesar ca temperatura T să atingă 63% din valoarea gradientului inițial ΔT_0 .



- Cu cât constanta de timp va avea o valoare mai mică cu atât senzorul va răspunde mai repede la o modificare a temperaturii.

- Un senzor de temperatură de contact tipic va fi format din următoarele părți componente:
 - 1. Un element senzitiv – un material ce-și modifică proprietățile în funcție de temperatură.
 - Materialul trebuie să aibă căldură specifică mică, conductivitate termică ridicată, sensibilitate mare la temperatură și o bună predictibilitate.
 - 2. Contactele sunt fire sau plăci (pad) conductive ce asigură interfața dintre elementul senzitiv și circuitul electronic exterior.
 - Contactele trebuie să aibă o conductivitate termică și o rezistență electrică cât mai mică. În general se folosesc și pentru susținerea senzorului.
 - 3. Un strat protector ce separă fizic elementul senzitiv de mediul exterior.
 - Materialul protector trebuie să aibă rezistență termică mică, să fie un bun izolator electric și să fie impermeabil.
- Un senzor de temperatură de tip noncontact se aseamănă în principiu cu senzorii de tip contact, excepție făcând modul de transfer a căldurii: la senzorii de tip contact transferul se face prin conducție termică, în timp ce la cei de tip noncontact transferul se face prin radiație termică



Arhitectura unui senzor de temperatură de tip:
 A contact, B noncontact

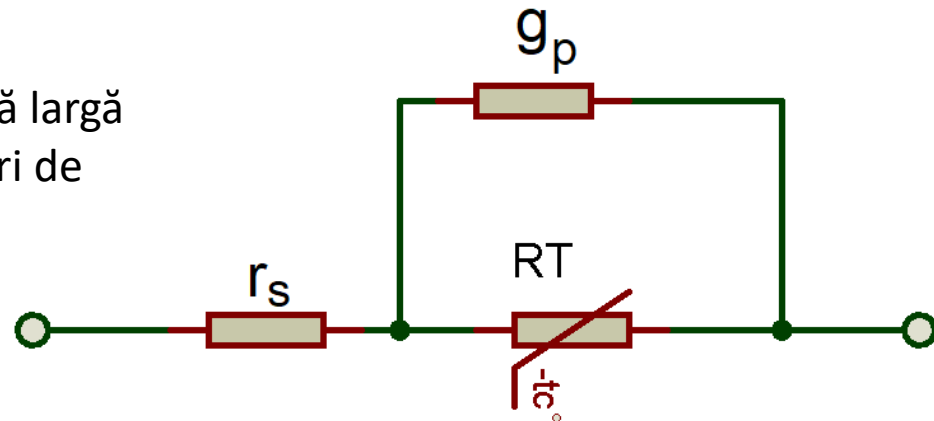
2.2. Senzori termorezistivi

- **A) Termorezistoare metalice** - RTD (resistance temperature detector)
 - La modificarea temperaturii are loc atat o modificare a mobilității purtătorilor de sarcină, cat și o modificare a dimensiunilor geometrice.
 - Prin urmare, variația rezistenței electrice se datorează pe de-o parte modificării rezistivității electrice, iar pe de altă parte modificării dimensiunilor (dilatare).
 - Deoarece coeficientul de variație al rezistivității cu temperatura este la metale cu două ordine de mărime mai mare decat coeficientul de dilatare, ultimul efect este de obicei neglijabil.
- Criteriile privind alegerea metalelor din care se confecționează termorezistoarelor sunt:
 - rezistivitate mare pentru obținerea unor traductoare de dimensiuni reduse
 - coeficient de variație a rezistivității cu temperatura ridicat pentru a avea o sensibilitate ridicată
 - asigurarea unei purități cat mai ridicate pentru reproductibilitate
 - stabilitate in timp la acțiunea agenților chimici
 - și nu in ultimul rand preț de cost cat mai redus
- Materiale: platina, nichelul, cupru și wolframul.
- Constructiv, termorezistoarele trebuie să fie protejate la acțiunea agenților exteriori, să preia temperatura mediului in care sunt introduse, să nu fie influențate de fenomenele de dilatare, să permită măsurarea atat in curent continuu cat și in curent alternativ

2.3. Termistori

- termic și rezistor,
- un senzor metal – oxid fabricat sub formă de bară, cilindru, filme subțiri sau picătură,
- Tipuri:
 - NTC (coeficient de temperatură negativ) și
 - PTC (coeficient de temperatură pozitiv)
- **Termistori NTC**
 - Un termistor **metal – oxid** convențional are coeficientul de temperatură negativ, adică rezistența lui va scădea cu creșterea temperaturii.

Termistoarele NTC sunt utilizate pe scară largă ca limitatori de curent de intrare, senzori de temperatură



Circuitul echivalent al unui termistor

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

- In general termistorii pot fi clasificați in funcție de tehnica de fabricare in trei grupe.
- A. Termistorii in formă de perle
 - Aceștia pot fi neizolați sau incapsulați in sticlă sau metal.
 - Conductorii metalici sunt dintr-un aliaj de platină sinterizați intr-un corp ceramic.
 - In timpul fabricării o porțiune din amestecul de metal – oxid - liant este plasat intre doi conductori paraleli. După ce amestecul este uscat se introduce intr-un cuptor pentru sinterizare. In urma sinterizării datorită procesului de micșorare a metal – oxidului, intre cei doi conductori se va realiza o legătură electrică intimă. După care senzorul este acoperit cu un strat protector, in general sticlă



- **termistorii de tip cip.** Sunt sub formă de panglică iar conductorii au o anumită suprafață de contact metalizată. Pot fi întâlniți sub diverse forme.
- termistorii fabricați prin depunerea unui strat semiconductor pe un substrat de sticlă, alumină, etc. Acest tip de senzori se folosesc în special pentru senzorii integrați



Termistor din sticlă pentru imprimante 3d (100k NTC 3950)



termistor NTC 4K7 - 341 - T4

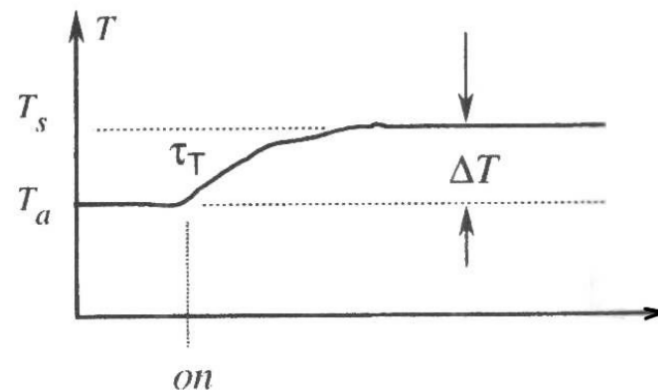
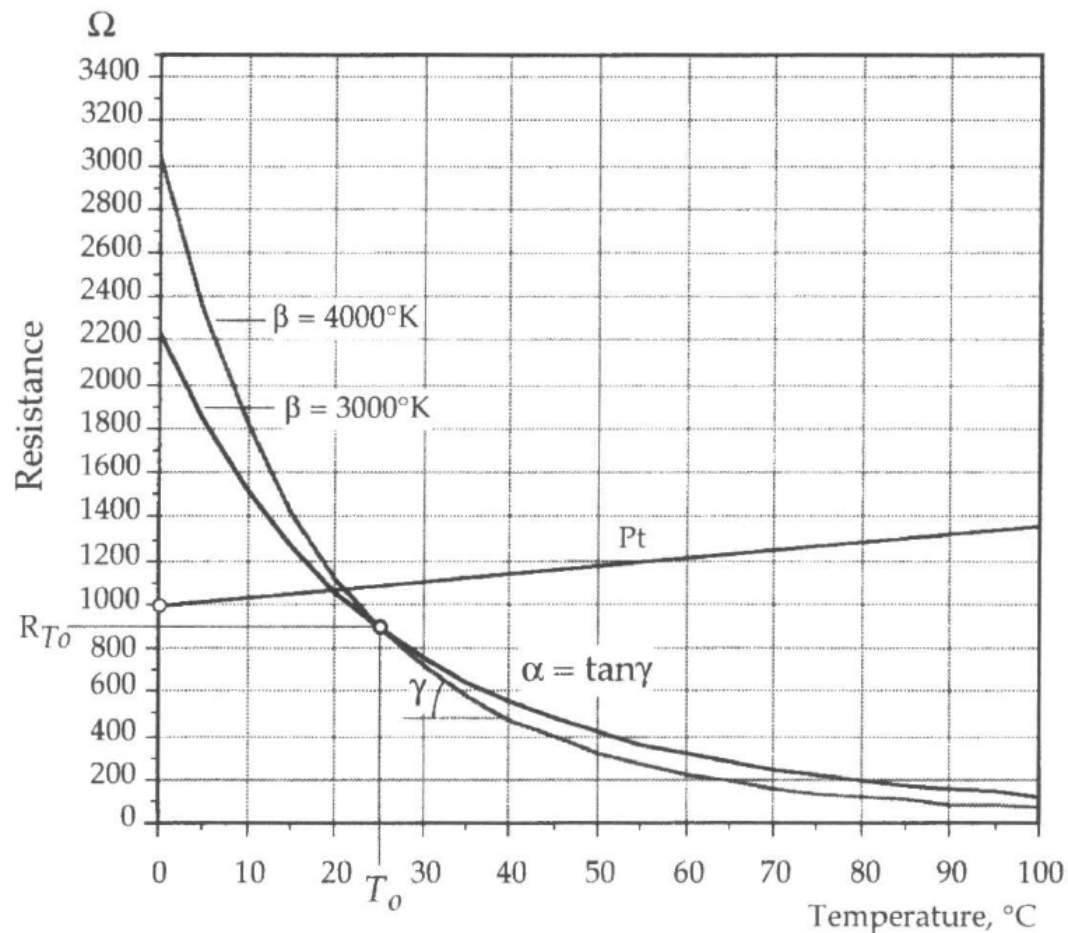


Termistor NTC 50K
50mW, compatibil
Arduino

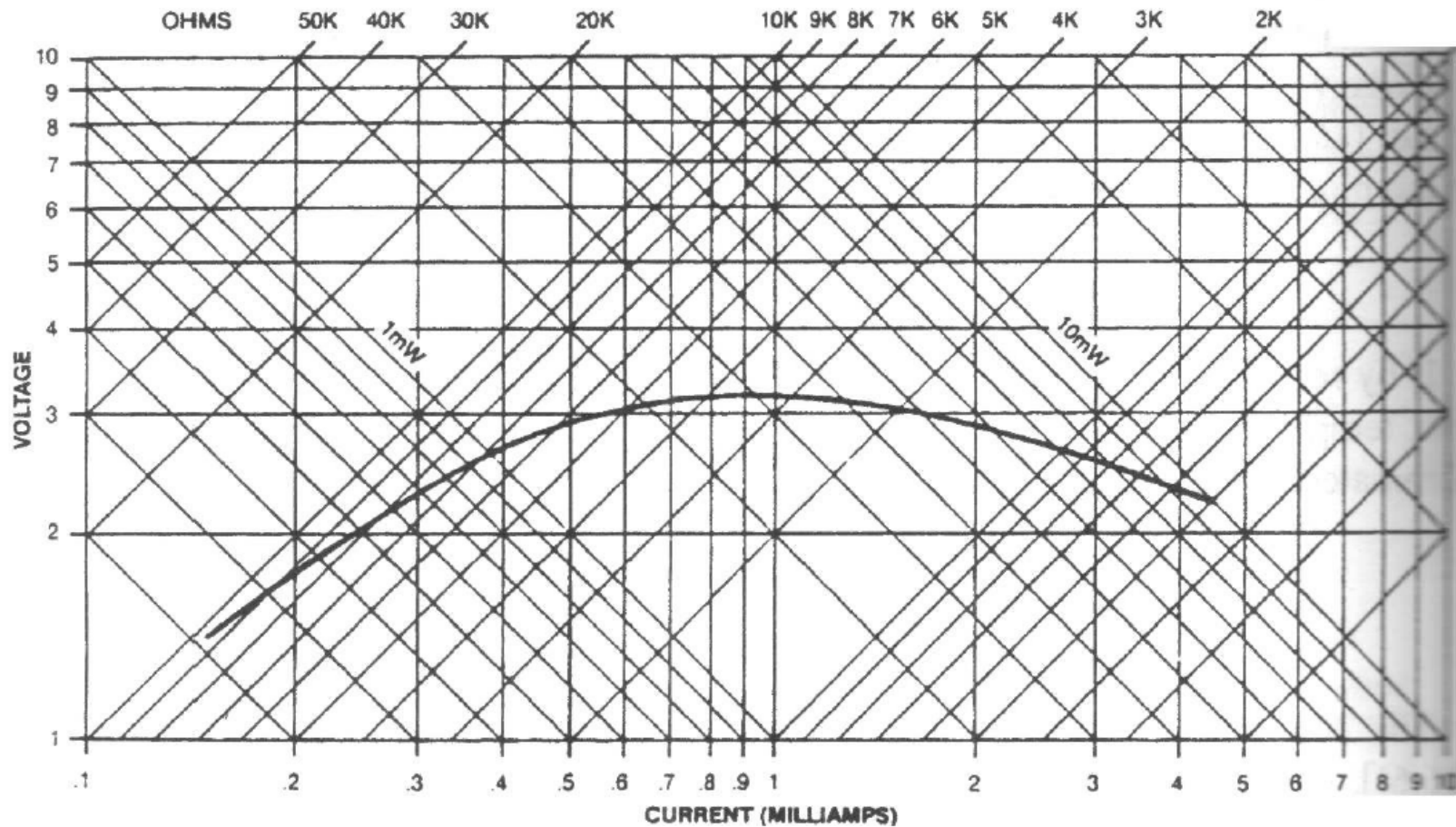
- În toate aplicațiile cu termistori trebuie să se țină seamă de seama de cel puțin una din următoarele caracteristici de bază.

- 1. Caracteristica **rezistență funcție de temperatură** este prezentată în figura
- În toate aplicațiile bazate pe această caracteristică este necesară eliminarea efectului de auto – încălzire (efectul Joule a curentului ce trece prin conductor).
- Astfel rezistența nominală R_{T_0} a termistorului trebuie să aibă un factor mare de cuplaj cu obiectul de măsurat.

2. Caracteristica **rezistență -timp** sau curent-timp figura



- 3. Caracteristica **tensiune - curent** , aplicabilă in cazul efectului de auto – încălzire figura

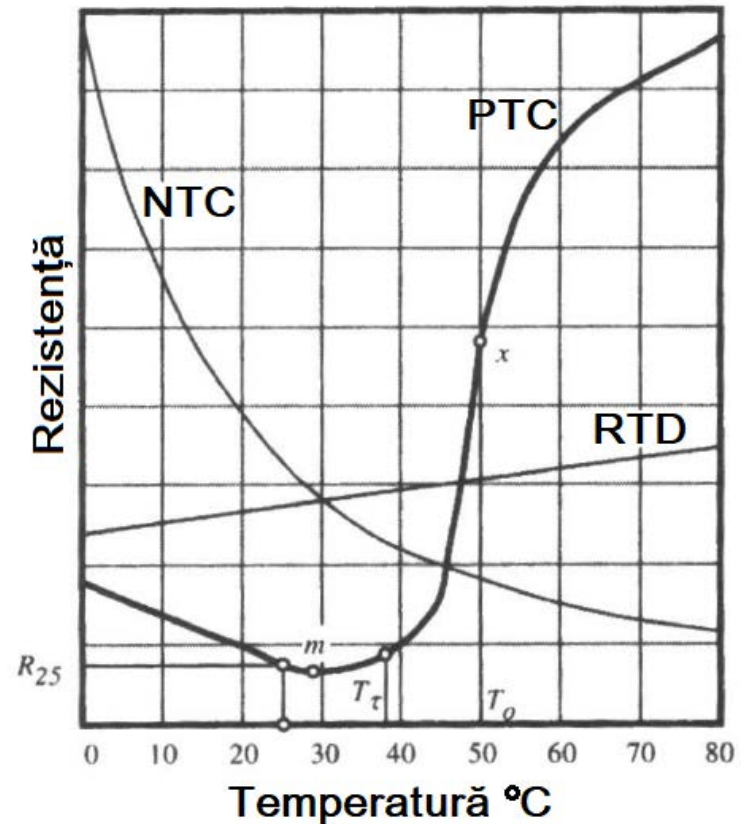


- Termistorii PTC.
 - protectori de supra-curent cu auto-resetare și elemente de încălzire autoreglabile
 - rezistența **crește** pe măsură ce temperatura crește.
 - Termistorii PTC sunt de obicei instalați în serie cu un circuit și sunt folosiți pentru a proteja împotriva condițiilor de supracurent, cum ar fi resetarea siguranțelor.

Factorii care influențează funcționarea PTC sunt:

- Temperatura mediului ambiant
- Autoîncălzirea

Prin natura lor termistorii PTC se folosesc la temperaturi semnificativ mai mari decât temperatura mediului inconjurător



Funcția de transfer a unui PTC

- Deoarece forma curbei funcției de transfer implică o aproximare matematică destul de avansată, fabricanții de PTC specifică de obicei termistorii prin următorul set de valori:
 - 1. Rezistența materialului R_{25} la temperatura de referință de 25 °C
 - 2. Rezistența minimă R_m – valoarea rezistenței la temperatura la care coeficientul de temperatură a termistorului își schimbă semnul, trece de la o valoare pozitivă la una negativă
 - 3. Temperatura de tranziție T_τ – temperatura la care rezistența începe să se modifice în mod rapid. Temperatura tipică de tranziție este în domeniul -30 ÷ 160 °C
 - 4. Definiția standard a coeficientului de temperatură rezistiv este dată de ecuația:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

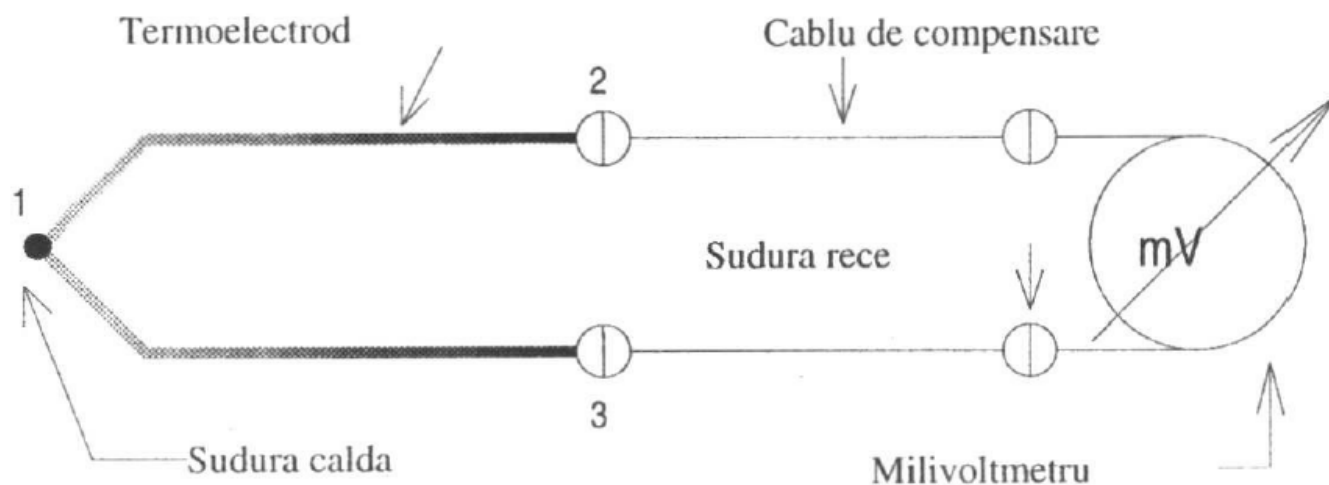
- 5. Tensiunea maximă E_{max} – tensiunea maximă la care termistorul își mai păstrează proprietățile la orice temperatură

2.3. Termocuplu – senzori termoelectrice de contact

- Senzori termoelectrice de contact sunt denumiți termocuple deoarece pentru a face un senzor este nevoie de cel puțin doi conductori de natură diferită.
- Principiul de funcționare a senzorilor termoelectrice generatori (termocupluri) are la bază efectul termoelectric direct (efect Seebeck), care constă în apariția unei tensiuni termoelectromotoare într-un circuit format din două conductoare de natură diferită, atunci când cele două joncțiuni se află la temperatură diferită
- În aplicațiile practice este necesară cunoașterea următoarelor trei legi referitoare la utilizarea fenomenelor termoelectrice pentru măsurarea temperaturii:
 - 1. legea circuitului omogen
 - 2. legea metalelor intermediare
 - 3. legea temperaturilor succesive

- **Legea nr. 1:** Într-un circuit construit dintr-un metal omogen nu se poate produce un curent electric numai prin crearea unei diferențe de temperatură în circuit.
- **Legea nr. 2:** Suma algebrică a tensiunii termoelectromotoare într-un circuit compus dintr-un număr oarecare de metale omogene și diferite este egală cu zero dacă întreg circuitul se află la aceeași temperatură.
- **Legea nr. 3:** Tensiunea termoelectromotoare produsă de un termocuplu alcătuit din metale omogene cu punctele sale de sudură la temperaturile T_1 și T_3 este egală cu suma tensiunilor termoelectromotoare a aceluiași termocuplu cu punctele de sudură o dată la temperaturile T_1 și T_2 și o dată la temperaturile T_2 și T_3 .

- Termocuplul se compune din două fire din metale diferite, numite termoelectrozi, sudate la un capăt 1.
- Capătul sudat se numește sudură caldă, iar celelalte capete 2 și 3 numite capete libere ale termocuplului, se leagă prin conductoarele de legătură c la aparatul electric pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare.
- Legăturile dintre capetele libere și conductoarele de legătură constituie sudura rece.
- Temperatura sudurilor reci trebuie să fie la o valoare constantă.
- Firele folosite pentru prelungirea termocuplului se numesc fire de compensare, și au rolul de a muta sudura rece din apropierea cuptorului într-un loc cu temperatură constantă

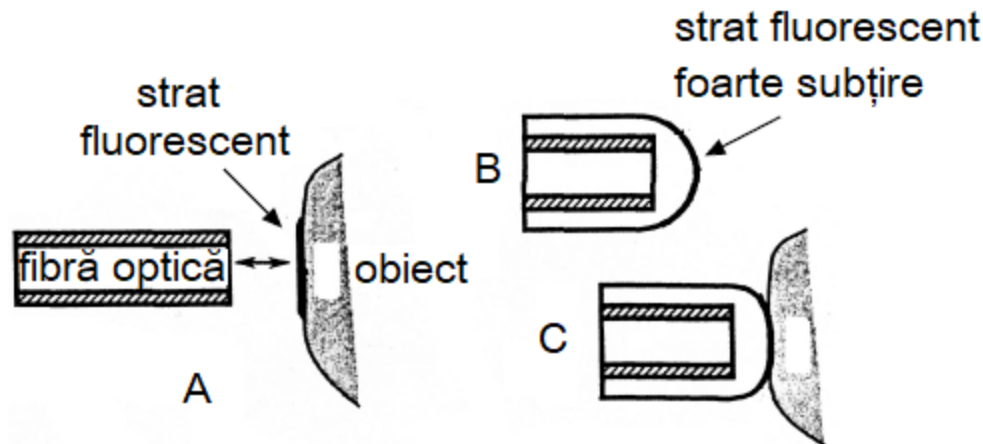


- Materialele folosite la construcția termocuplurilor trebuie să satisfacă următoarele condiții:
 - a. să aibă o compoziție omogenă și constantă;
 - b. să dezvolte o tensiune termoelectromotoare stabilă la temperaturi ridicate;
 - c. curba tensiunii termoelectromotoare în funcție de temperatură să fie cât se poate de liniară;
 - d. să aibă o bună conductivitate electrică
 - e. proprietățile electrice ale metalului sau aliajului să nu se modifice în urma oxidării;
 - f. forța electromotoare să fie constantă în timp;
- Cele mai răspandite materiale sunt: platina, constantanul, cromelul, nichelul, alumel, etc.

2.4. Senzori optici de temperatură

- Există cazuri de condiții extreme (campuri electromagnetice, electrice sau magnetice foarte puternice, tensiuni electrice foarte mari) în care trebuie făcute măsurători de precizie ale temperaturii, cazuri în care se impun folosirea metodelor de măsurare noncontact: metode optice de măsură.
- A) Senzori fluoroptici
 - se bazează pe proprietățile speciale ale compușilor pe bază de fosfor de a emite o radiație fluorescentă ca răspuns la o excitație luminoasă.
 - Cel mai uzual material este fosforul sinterizat la 1200 °C.
 - Ca sursa de radiație este folosită o lampă de xenon
- Măsurarea temperaturii se face prin determinarea vitezei de scădere a intensității radiației fluorescente.
- se va măsura timpul τ în care intensitatea radiației fluorescente scade de e (baza logaritmului natural) ori.

- Compusul pe bază de fosfor se poate aplica direct pe obiectul monitorizat, măsurători fără contact fizic , sau depus pe varful unei sonde ce va fi adusă ulterior in contact cu obiectul

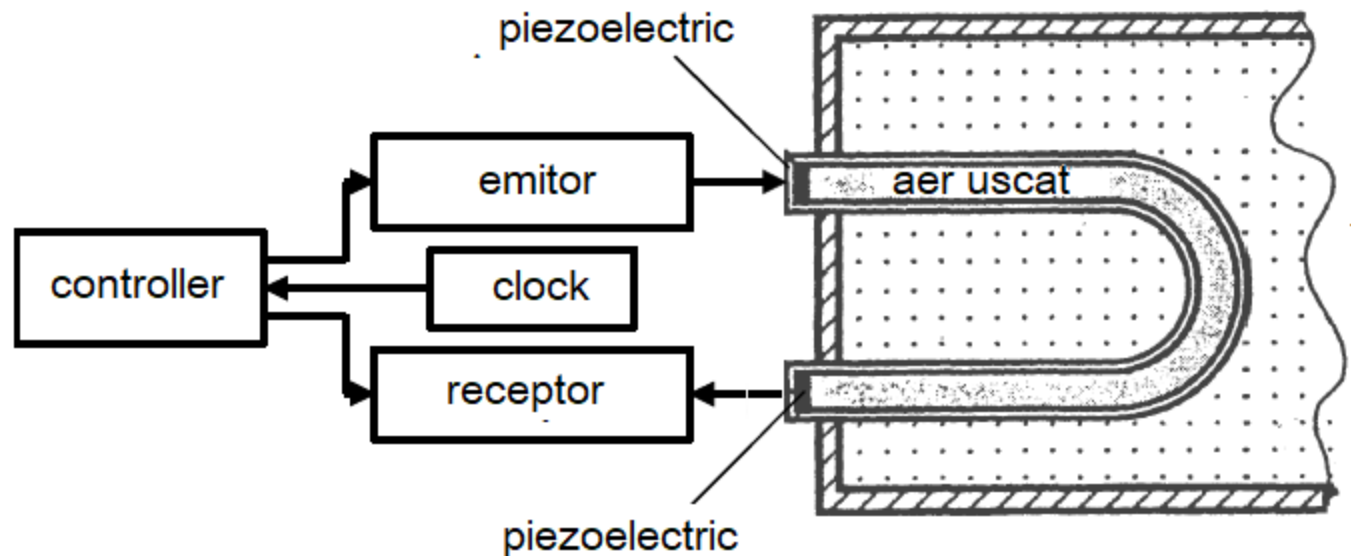


Plasarea compusului fluoro optic: A: pe suprafața obiectului; B și C pe sondă

- Senzori acustici
 - măsurarea temperaturii unor medii ermetic închise, sau în
 - condiții cu nivele de intensitate ale radiației foarte mari (reactoare nucleare),
 - medii opace pentru radiații din IR, etc.
- se bazează pe dependența dintre temperatura unui mediu și viteza sunetului din acel mediu
- Dacă mediul de propagare este aerul uscat viteza sunetului funcție de timp se poate scrie:

$$c = 331.5 \sqrt{\frac{T}{273.15}} \text{ m/s,}$$

- Componente senzor acustic:
 - Un emițător ultrasonic,
 - un receptor ultrasonic și
 - un tub umplut cu gaz închis ermetic.
- Emițătorul și receptorul sunt niște plăci piezoelectrice ce emit și recepționează unde acustice prin tubul in care se găsește, ca mediu de propagare a sunetului, aer uscat.
- Clock = 100KHz



1

Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 3 – Senzori de poziție, nivel și
deplasare

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

Intro

- Măsurarea pozițiilor și deplasărilor obiectelor fizice este esențială în foarte multe aplicații:
 - robotică,
 - sisteme de securitate,
 - procese de control,
 - evaluări de performanțe, etc.
- Prin *poziție* înțelegem coordonatele obiectului, liniare sau unghiulare, față de un sistem de referință.

- *Deplasarea* definește o mișcare a obiectului dintr-o anumită poziție la alta, pe o distanță sau sub un unghi specificat.
- O distanță critică este măsurată de senzorii de proximitate.
- Practic ei sunt o variantă a senzorilor de poziție ce funcționează în condiții limită.
- Dacă senzorul de poziție este un dispozitiv liniar a cărui semnal de ieșire reprezintă distanța unui obiect față de un punct de referință, senzorii de proximitate vor genera un semnal electric doar când obiectul se află la o distanță ce devine util de măsurat.
- De exemplu, multe mecanisme de mișcare, ale unui proces de control sau robot, folosesc un senzor de proximitate foarte simplu – comutator de închidere.
- Când un obiect în mișcare activează comutatorul printr-un contact fizic, acesta va trimite un semnal electric circuitului de control.
- Acest semnal indică faptul că obiectul a atins o poziție de sfârșit (de capăt).
- Senzorii de poziție și deplasare sunt dispozitive statice a căror viteză de răspuns nu este de obicei critică pentru performanța senzorului.
- În continuare ne vom ocupa de senzori a căror răspuns nu este funcție de timp.

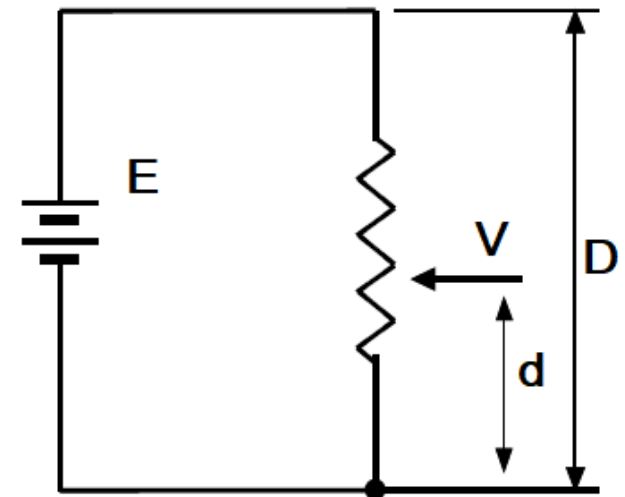
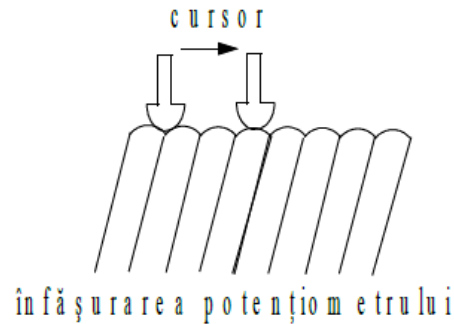
Senzori potențiometrici

- Un traductor de poziție sau deplasare poate fi construit dintr-un potențiometru liniar sau rotativ.
- Principiul de operare a unui astfel de senzor se bazează pe formula $R=\rho l/s$
 - unde R este rezistența electrică a firului de lungime l , cu o arie a secțiunii S și rezistivitate ρ , adică rezistența firului este direct proporțională cu lungimea firului.
- Astfel că putem măsura deplasarea unui punct de-a lungul firului prin măsurarea potențialului punctului curent (în cazul nostru cursorul potențiometrului) față de masă.

unde:

- D reprezintă deplasarea maximă,
- E tensiunea semnalului de excitație și
- d deplasarea de măsurat

Erori ce pot apărea pe înfășurările potențiometrului

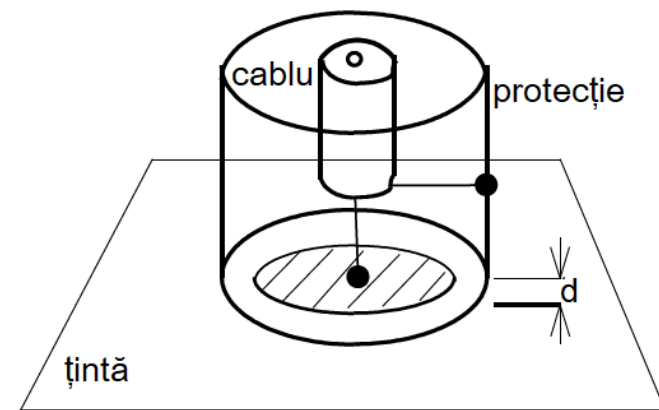


Potențiometru ca senzor de poziție

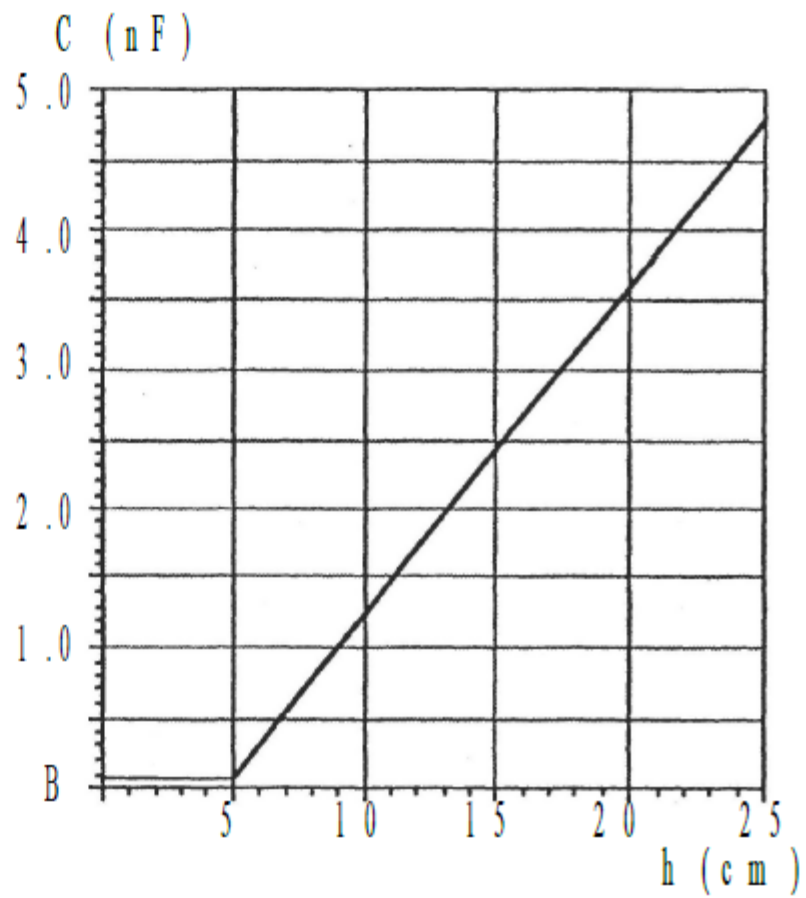
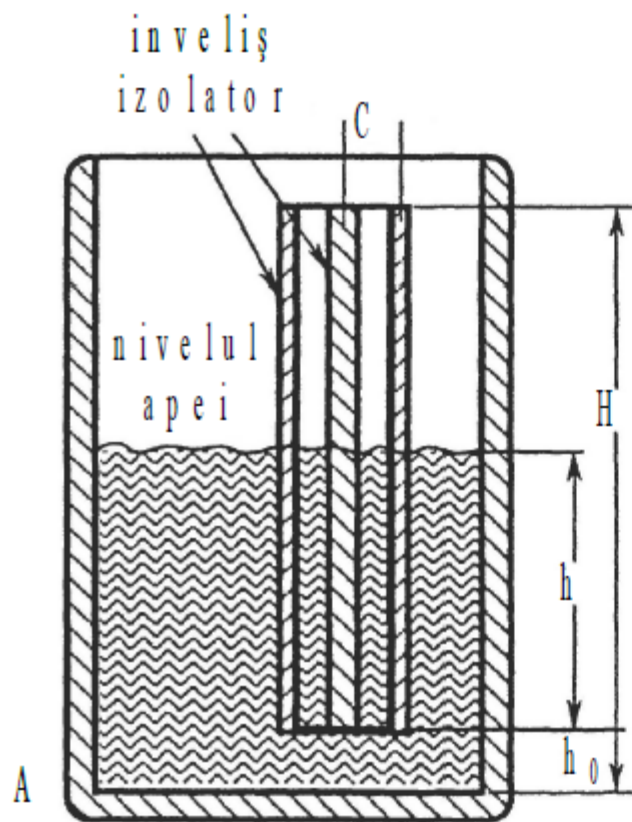
Senzori capacitivi

- Senzori capacitivi de deplasare
 - Capacitatea electrică a unui condensator este invers proporțională cu distanța dintre armături.
 - Această dependență poate fi folosită în măsurarea poziției, distanței sau orice alt parametru asemănător.
 - Principiul de funcționare a unui astfel de senzor se bazează pe variația geometriei condensatorului (de exemplu modificarea distanței dintre armături) sau capacității în prezența materialelor conductoare sau a celor dielectrice
- k este constanta dielectrică a materialului dintre armături,
- ϵ_0 este permitivitatea

$$C = \frac{k\epsilon_0 A}{d}$$



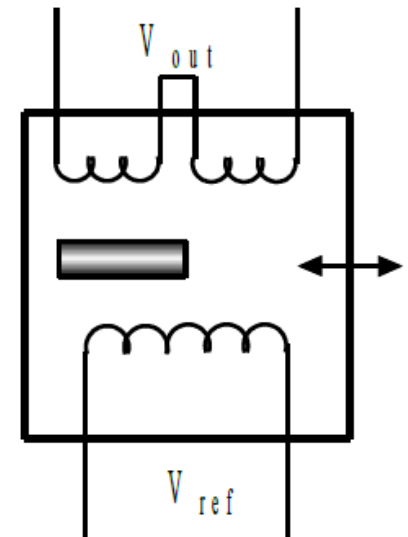
- o armătură a condensatorului este conectată la conductorul unui cablu coaxial, iar cealaltă armătură este pe suprafața obiectului a cărui deplasare urmează a fi măsurată.
- De observat că armătura de pe obiect este inconjурată de un inveliș legat la masă pentru ai minimiza efectul de dispersie sau pentru ai imbunătăți liniaritatea.
- Un astfel de tip de senzor capacitiv poate opera la o frecvență de aproximativ 3 MHz, deci poate detecta mișcări foarte rapide ale obiectelor de măsurat având în vedere că răspunsul în frecvență tipic pentru circuitele electronice de interfațare este în jur de 40 kHz.
- Un alt exemplu este senzorul capacitiv folosit la determinarea nivelului apei dintr-un rezervor.
- Senzorul este fabricat sub forma unui condensator coaxial (cilindric) în care fiecare suprafață conductoare este acoperită cu un strat izolant foarte subțire pentru a preveni scurtcircuitarea prin apă (stratul izolator este un dielectric a cărui influență asupra capacității condensatorului va fi neglijată deoarece rămâne constantă în timpul măsurărilor).
- Senzorul este scufundat în rezervorul cu apă. Crescând nivelul, apa va umple tot mai mult spațiul din conductorul coaxial, schimbând astfel capacitatea condensatorului.



Senzori inductivi

- Senzori inductivi de tip transformator – LVDT
 - Poziția și deplasarea unui obiect pot fi sesizate prin metode de inducție electromagnetică.
 - Fluxul magnetic dintre două bobine poate fi modificat prin mișcarea unui obiect în spațiul dintre cele două bobine și convertit astfel în semnal electric.
 - Senzorii cu inductanță variabilă ce folosesc materiale feromagnetice nemagnetizate pentru ași modifica reluctanța (rezistența magnetică – raportul dintre tensiunea magnetică dintr-o porțiune de circuit și fluxul magnetic ce-l străbate) se numesc senzori cu reluctanță variabilă.
 - Un senzor multi-inducție este format din două bobine primare și una secundară.
 - Modificarea fluxului magnetic dintre cele două bobine se poate realiza în două moduri.
- Un mod ar fi mișcarea unui obiect feromagnetic în spațiul dintre cele două bobine, mișcare ce ar determina o modificare a reluctanței bobinei și implicit inductivitatea de cuplaj dintre bobine.
- Acesta este modul de bază de operare al:
 - LVDT (transformatoare diferențiale cu variabilă liniară),
 - RVDT (transformatoare diferențiale cu variabilă circulară) și
 - pentru senzorii de proximitate cu inductanță mutuală.
- Cealaltă metodă este de a deplasa o bobină una față de alta.

- Primarul unui LVDT este comandat de un curent sinusoidal stabilizat în amplitudine.
- Un semnal alternativ este indus în secundar.
- O tija feromagnetică este introdusă coaxial în spațiul cilindric dintre cele două bobine fără să le atingă.
- Cele două bobine din secundar sunt cuplate în opoziție de fază (înfășurările celor două bobine din secundar sunt făcute în mod opus).
- Astfel, dacă tija feromagnetică se afla situată în centrul magnetic a transformatorului, semnalul de ieșire din transformator este zero (cele două bobine din secundar dau un semnal de sens opus, anulându-se reciproc).
- Deplasând tija din centrul magnetic al transformatorului secundarul va genera un semnal electric.
- Ca urmare a deplasării tijei se va modifica reluctanța sistemului și astfel putem spune că mărimea fluxului de cuplaj și mai ales tensiunea electrică de ieșire din secundar va depinde de poziția tijei

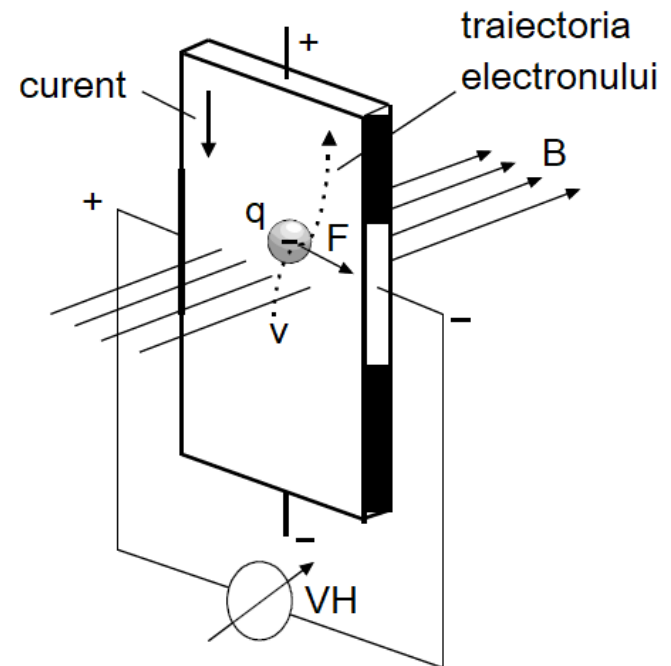


- Un senzor LVDT va furniza date atat despre direcția cat și despre mărimea deplasării.
- Direcția este determinată de unghiul de fază dintre tensiunea din primarul transformatorului (luat ca referință) și tensiunea din secundar, iar mărimea deplasării este determinată de mărimea tensiunii de ieșire a transformatorului.
- Avantajele folosirii unor senzori de tipul LVDT sunt următoarele:
 - a) nu există contact între obiect și senzor, forțele de frecare nu există sau sunt foarte mici
 - b) impedanță de ieșire foarte mică
 - c) histerezis (magnetic și mecanic) foarte mic
 - d) sensibilitate mică la zgomot și interferențe
 - e) construcție solidă și robustă
 - f) posibilitatea obținerii unei rezoluții infinitezimale

Senzori cu efect Hall

- Efectul Hall se bazează pe interacțiunea dintre purtătorii de sarcină în mișcare (electronii – în cazul metalelor) și un câmp magnetic exterior. La deplasarea unui electron într-un câmp magnetic asupra lui se va exercita o forță de mărimea:
 - $F = q \cdot v \times B$
 - unde
 - q este sarcina electrică a electronului,
 - v viteza electronului,
 - B inducția campului magnetic.

Să presupunem că electronii se deplasează în interiorul unei panglici metalice plate, plasat într-un câmp magnetic



- Panglica are două contacte adiționale plasate pe partea stângă și dreaptă, conectate la un voltmetru.
- Pe celelalte două contacte, aflate în partea de sus și cea de jos a panglicii, se aplică un curent electric.
- Datorită câmpului magnetic și a mișcării purtătorilor de sarcină din material, asupra electronilor se va exercita o forță de deflexie, ce va orienta sensul de mișcare a electronilor înspre partea dreaptă a panglicii.
- În acest fel partea dreaptă a materialului va deveni mai electronegativă decât partea stângă – apare o diferență de potențial măsurabilă.
- Astfel câmpul magnetic și curentul electric vor produce așa numita *diferență de potențial Hall transversală*.

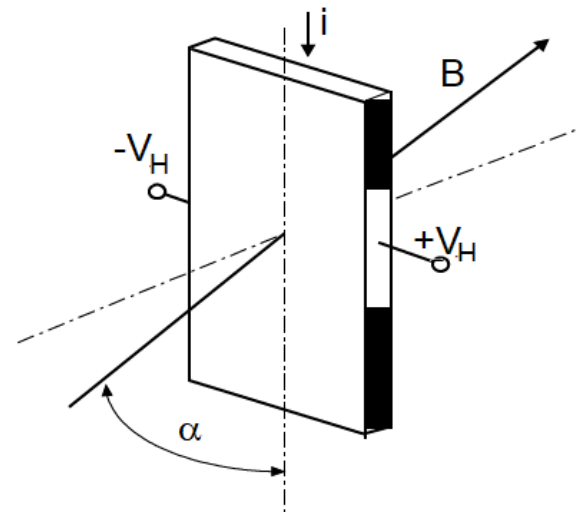
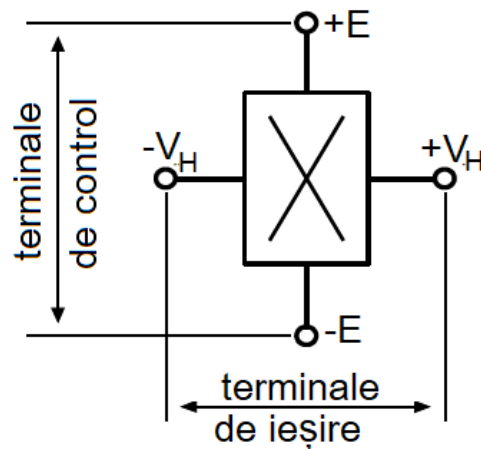
$$V_H = h \cdot i \cdot B \cdot \sin(\alpha)$$

α = și suprafața senzorului (practic este unghiul de incidență a vectorului inducției magnetice),
 h = coeficient de sensibilitate a materialului (geometria materialului – suprafața activă și temperatura materialului)

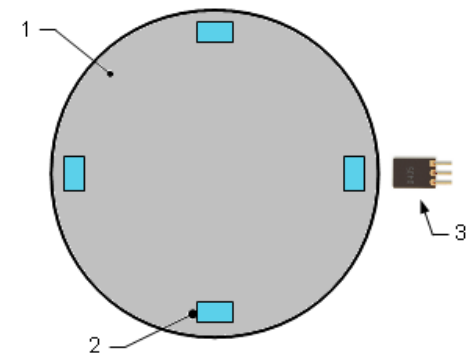
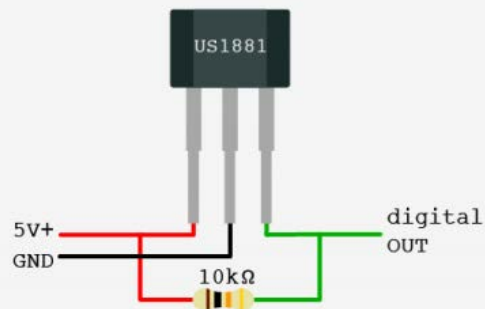
$$H = \frac{1}{Nq}$$

Unde
 q este sarcina electrică a electronului și
 N este numărul de electroni ce participă la conducție pe unitatea de volum.

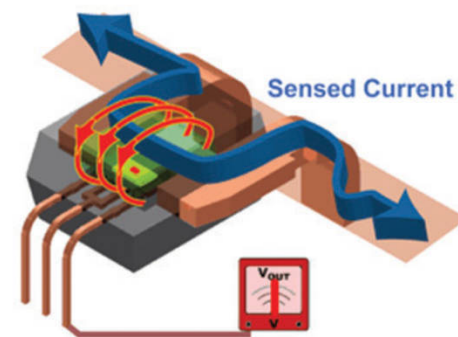
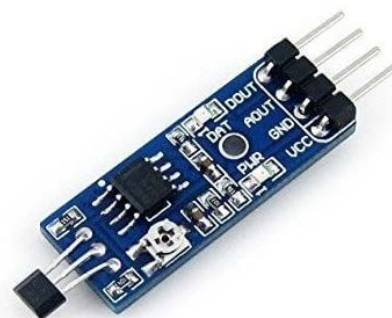
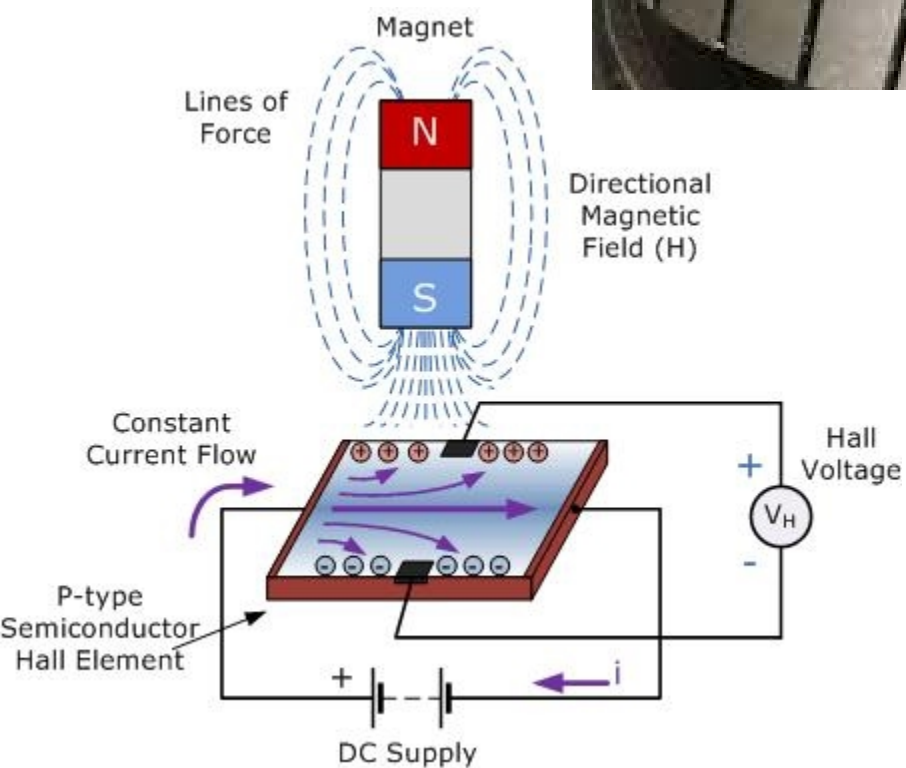
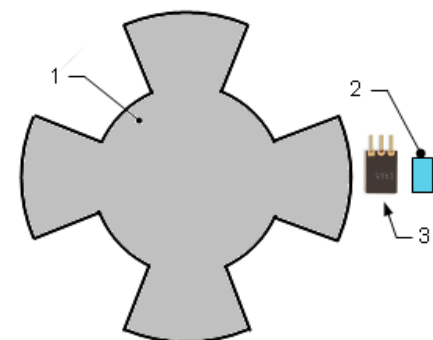
- Un senzor liniar cu efect Hall se prezintă de obicei sub forma unei carcase cu patru terminale.
- Cele două terminale pe care se aplică curentul de control se numesc terminale de control, iar rezistența electrică dintre ele o denumim *rezistență electrică de control R_i* .
- Terminalele de pe care culegem tensiunea se numesc *terminale de ieșire diferențială*, iar rezistența dintre ele este numită *rezistență de ieșire diferențială, R_0* .
- Senzorii Hall sunt specificați prin :
 - valorile rezistoarelor R_i și R_0 ,
 - tensiunea de offset la un câmp magnetic aplicat egal cu zero,
 - coeficientul de sensibilitate și
 - coeficientul de temperatură al sensibilității.



- Majoritatea senzorilor Hall sunt fabricați din siliciu și se pot împărți în două categorii: senzori de bază și senzori integrați.
- Alte elemente folosite sunt InSb, InAs, Ge și GeAs.
- Deoarece tensiunea Hall este destul de mică, în elementul de siliciu se integrează pe lângă senzorul de bază și un circuit electronic de interfațare, circuit ce poate avea un dispozitiv de comparare, făcând dintr-un astfel de senzor un dispozitiv cu două stări.
- Ieșirea senzorului este zero când inducția câmpului magnetic este sub o anumită valoare de prag și unu când este mai mare decât valoarea de prag.
- Deoarece tensiunea Hall este proporțională cu temperatura (concentrația purtătorilor de sarcină, în cazul semiconductoarelor, este foarte sensibilă la temperatură), este preferabil să avem o sursă de curent în loc de o sursă de tensiune.
- Tabel 3.2.1. prezintă caracteristicile tipice ale unui senzor UGN-3605K fabricat de Sprague.
 - intensitatea curentului de control 3 mA
 - rezistența de control, R_i 2,2 k Ω
 - variația rezistenței de control cu temperatura + 0,8 %/oC
 - rezistența diferențială de ieșire, R_O 4,4 k Ω
 - tensiunea de offset 5 mV
 - sensibilitate 60 μ V/Gauss
 - variația sensibilității cu temperatura + 0,1 %/oC
 - densitatea maximă a fluxului magnetic nelimitat

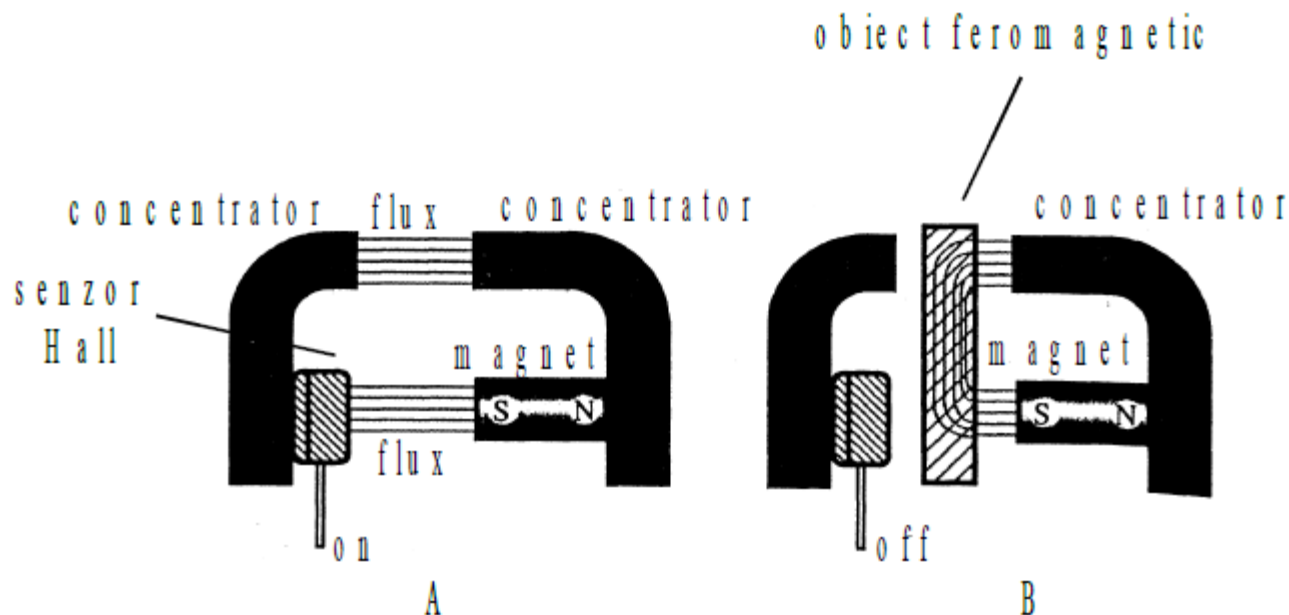


e-automobile.ro

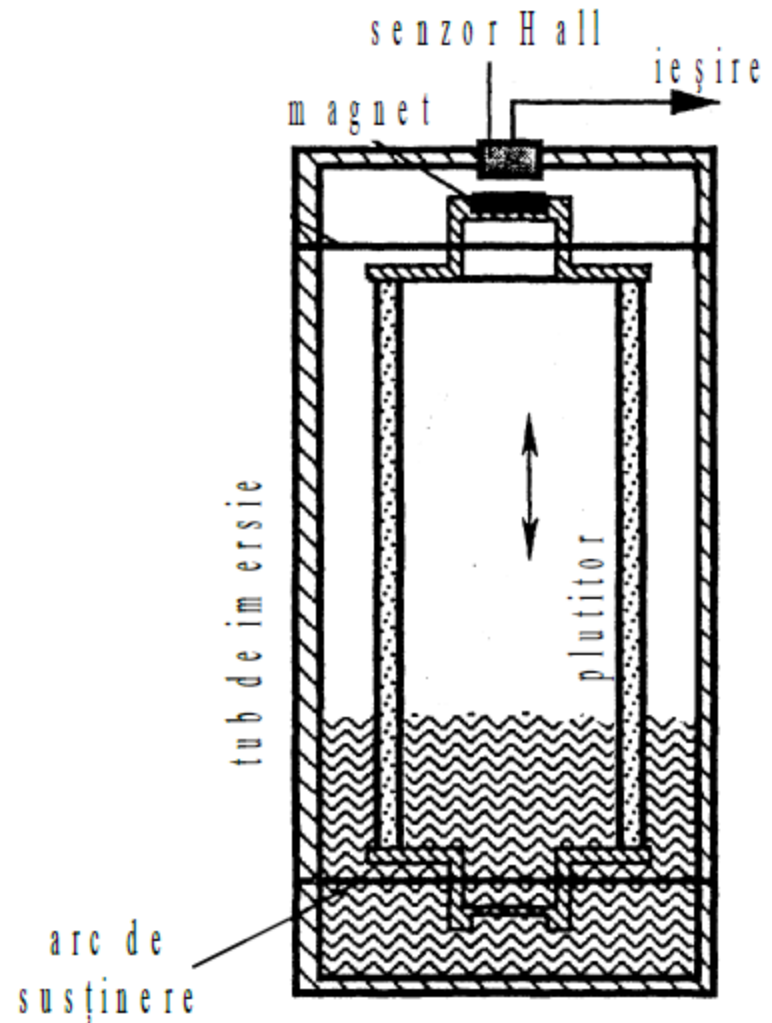


JPRALVES.NET

- Senzorul Hall poate fi folosit ca un întrerupător acționat de un obiect aflat în mișcare.
- În acest scop, magnetul și senzorul Hall sunt montați pe un singur ansamblu rigid a cărui formă permite formarea unui perne de aer între senzor și magnet.
- În acest mod senzorul este în „poziția deschis”.
- În momentul în care în spațiul dintre magnet și senzor se introduce un obiect feromagnetic, acesta va șunta fluxul magnetic, distorsionând câmpul magnetic către senzor.
- Scăderea inducției câmpului magnetic din senzor sub nivelul de prag va determina trecerea senzorului în „poziția închis”



- senzor Hall poate fi folosit ca senzor de nivel, compus din: tub de imersie, plutitor, două arcuri de susținere, un magnet și un senzor Hall.
- Plutitorul plutește în combustibil astfel încât atunci când nivelul de fluid crește de la nivelul minim la nivelul maxim deplasarea lui va fi de aproximativ 2 mm.
- Magnetul este poziționat în partea superioară a plutitorului, în dreptul senzorului Hall.
- Plutitorul este poziționat în interiorul tubului de imersie prin intermediul celor două arcuri de susținere astfel încât va avea un singur grad de libertate – mișcarea transversală în raport cu tubul de imersie.
- Fluidul va intra în interiorul tubului de imersie printr-o serie de orificii aflate în partea inferioară a tubului.
- Domeniul de deplasare al plutitorului, practic al magnetului față de senzor, fiind de 2 mm asigură generarea unui semnal de ieșire al senzorului, de mare precizie și cu o bună repetabilitate – sistemul senzorial este de mare precizie.

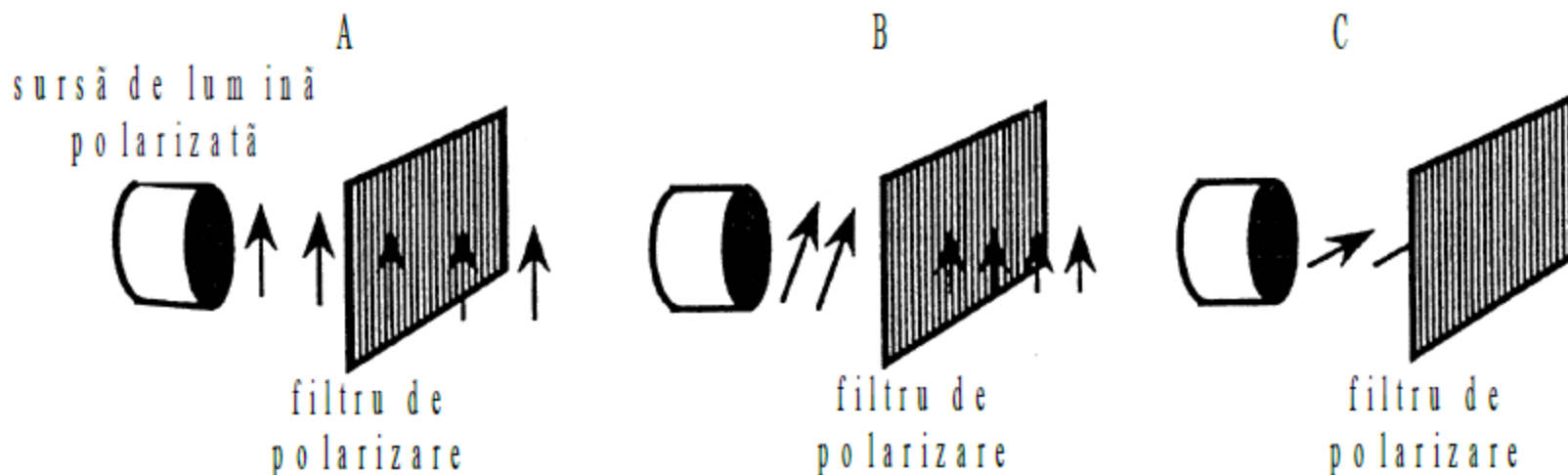


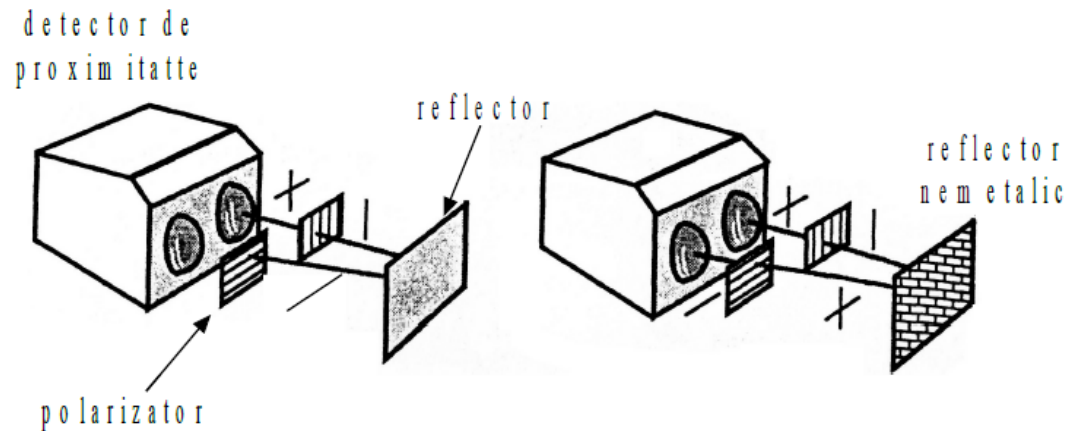
Senzori optici

- Senzorii optici sunt unii dintre cei mai folosiți senzori, din următoarele motive:
 - Sunt relativ simpli,
 - distanță de operare relativ mare,
 - insensibili la prezența unui camp magnetic sau electric, etc.
- Un senzor optic este format din următoarele componente esențiale:
 - o sursă de lumină,
 - un fotodetector și
 - un dispozitiv de ghidare a luminii (lentile, oglinzi, fibre optice, etc.).

- **Senzori de proximitate cu lumină polarizată**

- Lumina are vectorul camp magnetic și vectorul camp electric perpendiculari între ei și perpendicular pe direcția de propagare.
- Direcția camp electric este direcția de propagare a luminii polarizate.
- Majoritatea surselor de lumină emit o lumină nepolarizată.
- Pentru a o polariza, lumina poate fi trecută printr-un filtru de polarizare realizat de obicei dintr-un material special ce transmite lumina cu camp electric orientat pe o anumită direcție, restul fotonilor fiind reflectați sau absorbiți.
- Orice direcție de polarizare poate fi reprezentată printr-o sumă de doi vectori de polarizare: unul având direcția de polarizare aceeași cu cea a filtrului și una diferită (lumina reflectată sau absorbită).
- Având o sursă de lumină polarizată și un filtru putem schimba gradual intensitatea luminoasă transmisă de filtru prin modificarea unghiului dintre planul de polarizare al filtrului și cel al luminii polarizate.

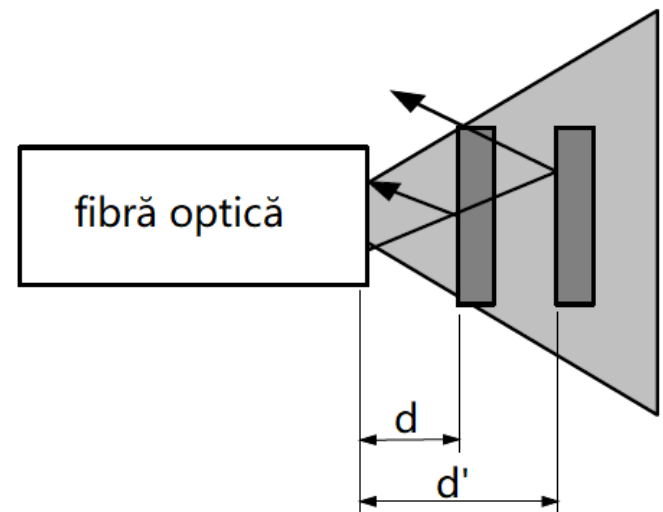


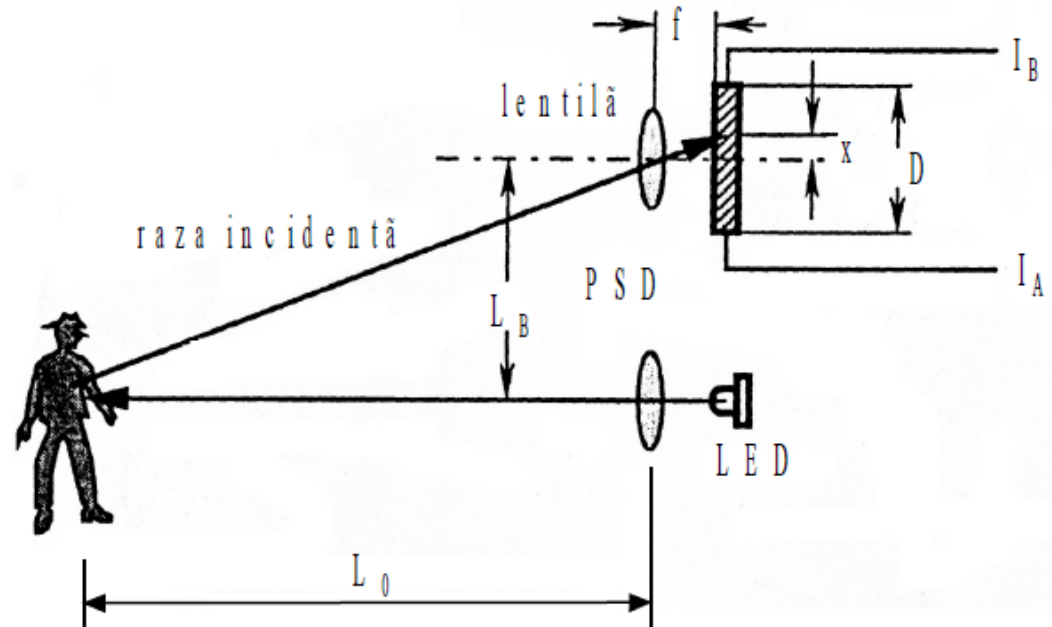
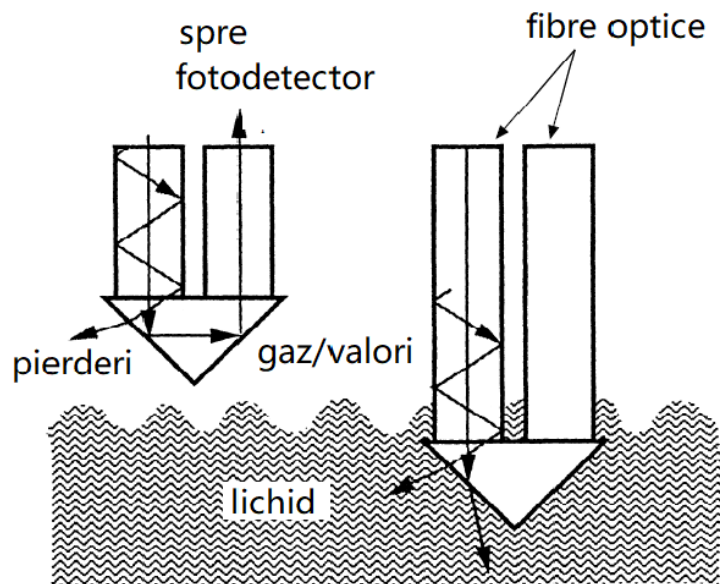


Senzorii cu fibră optică pot fi folosiți cu o bună eficiență ca detectori de proximitate sau de nivel.

În figura alăturată se prezintă un senzor de deplasare cu fibră optică.

Distanța dintre detector și obiect, d , va fi direct proporțională cu intensitatea luminii reflectate.





- Senzor de nivel cu FO
- Senzori optici liniari (PSD)
 - Pentru a putea măsura cu o precizie suficient de mare poziția unui obiect, sistemele optice vor opera cu lumina din domeniul IR apropiat.
 - Un exemplu este senzorul de poziție PSD (position sensitive detector) destinat măsurătorilor de mare precizie și la autofocalizarea camerelor video și foto.
 - Modulul de măsurare a poziției este unul de tip activ: cuprinde o diodă electroluminescentă (LED) și un fotodetector PSD.
 - Poziția obiectului este determinată prin metoda triunghiulației,

Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 4 – Senzori de mișcare și
prezență

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

Intro

- Senzorii de prezență detectează prezența unor obiecte (oameni, animale, mașini, etc.) într-o anumită arie monitorizată.
- Detectorii de mișcare reacționează doar la obiectele aflate în mișcare.
- Diferența dintre cele două tipuri de senzori este aceea că senzorii de prezență generează semnal tot timpul când obiectul este în aria de operare a sensorului, în timp ce senzorii de mișcare sunt sensibili doar la obiectele în mișcare.
- Dintre aplicațiile acestor senzori menționăm: dispozitive de securitate și supraveghere, jucării interactive, etc.
- Pentru a fi dedicați în detectarea prezenței oamenilor, senzorii trebuie să fie sensibili la anumite proprietăți caracteristice corpului uman: greutate, căldură, sunet, constantă dielectrică, etc.

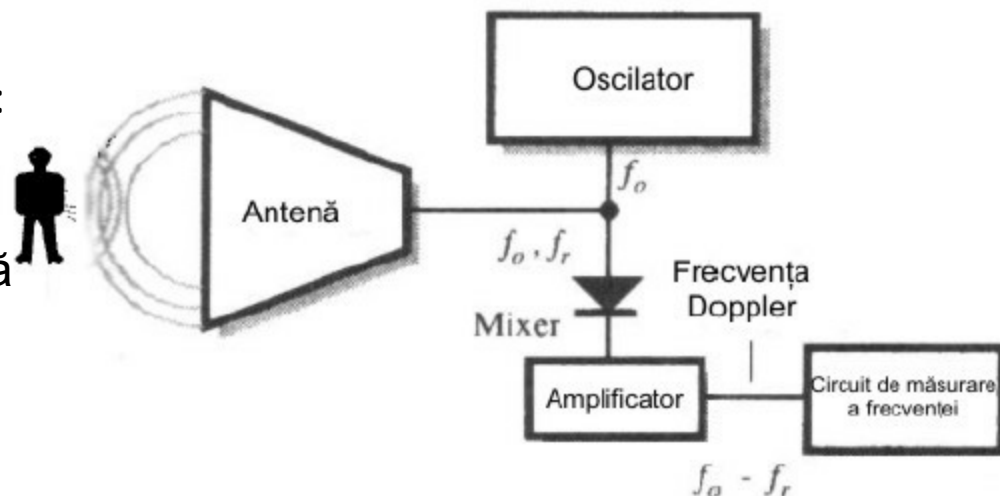
- În prezent în detectarea prezenței sau a mișcării persoanelor se folosesc următoarele tipuri de senzori:
 - Senzori de presiune a aerului – detectează modificări ale presiunii aerului ca rezultat al deschiderii ușilor sau ferestrelor;
 - Senzori capacitivi – detectează capacitatea corpul uman;
 - Senzori acustici – detectează sunetul produs de oameni;
 - Senzori fotoelectrici – detectează întreruperilor razelor de lumină cauzate de mișcare obiectelor;
 - Senzori optoelectrici – detectează variații ale iluminării unei arii;
 - Senzori de presiune – determină greutatea intrușilor, se poziționează pe pardoseală sub covor;
 - Senzori electrici de contact – se conectează pe uși sau ferestre;
 - Întrerupătoare magnetice – versiunea noncontact a senzorilor electrici de contact;
 - Senzori de vibrație – reacționează la vibrația pereților sau a altor structuri ale construcției;
 - Detectori de geam spart – senzori ce reacționează la sunetul produs la spargerea unui geam
 - Senzori de mișcare IR – dispozitive sensibile la căldura emanată de corpurile calde sau reci în mișcare
 - Senzori de microunde – detectori ce reacționează la microundele electromagnetice reflectate de obiecte;
 - Senzori ultrasonici – similari celor de microunde, doar că reacționează la ultrasunete
 - Sistem de detectori laser – similar detectorilor fotoelectrici, cu deosebirea că ei folosesc raze de lumină înguste și combinații de reflectoare;
 - Detectori triboelectrici – senzori capabili să detecteze sarcina electrică statică purtate de obiectele în mișcare

Senzori de deplasare cu microunde

- Util când:
 - Este necesară acoperirea unei arii mari de protecție,
 - există variații largi de temperatură,
 - Există interferențe puternice (vant, zgomot acustic, ceață, praf, umezeală, etc.)
- se bazează pe detecția radiației electromagnetice de radio frecvență dintr-o anumită arie.
- Frecvențele folosite în mod curent sunt 10,525 GHz și 24,125 GHz.
- Aceste unde au o lungime de undă ($\lambda = 3 \text{ cm}$) suficient de mare pentru a trece liber (fără a interacționa) cu praful din aer dar suficient de mică pentru a fi reflectate de obiectele mai mari.

Un senzor cu microunde este format:

- dintr-un oscilator Gunn,
- o antenă și
- o diodă schimbătoare de frecvență (mixer) Schottky,



- Oscilatorul Gunn este o diodă montată într-o cavitate de dimensiuni bine stabilite, care la aplicarea unei tensiuni va începe să vibreze cu o frecvență din domeniul microundelor.
- Undele electromagnetice generate de oscilator vor fi direcționate printr-un ghid de undă și focalizate pe antenă ce va redirectiona undele către obiect.
- Caracteristicile de focalizare ale antenei sunt determinate de aplicațiile în care este folosită.
- Ca regulă generală, cu cât este mai îngust fascicolul emis cu atât sensibilitatea antenei va fi mai mare.
- Puterea tipică de emisie este de 10 – 20 mW.
- Ținta vizată va reflecta o parte din unde către antena ce le va redirectiona către un dispozitiv electronic (dioda mixer) ce va analiza diferența de fază dintre unda recepționată și cea emisă.
- Principiul fizic ce stă la baza funcționării unui detector de fază este efectul Doppler.
- Frecvența f_n a undei emise de antenă este definită de lungimea de undă

$$f_0 = \frac{c_0}{\lambda_0},$$

c_0 este viteza luminii

- Cand obiectul ținta se mișcă înspre sau dinspre antena, frecvența radiației reflectată se va schimba în raport cu cea emisă.
- Astfel ca dacă obiectul se mișcă dinspre antena cu viteza v , frecvența undei reflectate va scădea, și va crește dacă obiectul se mișcă către antena.
- Acest efect se numește efectul Doppler
- Frecvența undelor electromagnetice reflectate poate fi calculată folosind teoria relativității, conform formulei:

$$f_r = f_0 \frac{\sqrt{1 - (v/c_0)^2}}{1 + v/c_0} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \left(\frac{v}{c_0}\right)^2 \approx 0 \end{array} \right\} f_r = f_0 \frac{1}{1 + v/c_0}$$

Datorită efectului Doppler unda reflectată va avea o frecvență diferită față de cea emisă.

Frecvența Doppler va fi egală cu:

$$\Delta f = f_0 - f_r = f_0 - f_0 \frac{1}{1 + v/c_0} = f_0 \frac{1}{1 + c_0/v}, \quad \left. \begin{array}{l} \\ c_0/v \gg 1 \end{array} \right\} \Delta f \approx \frac{v}{\lambda_0}$$

- De exemplu daca o persoana se deplasează către detector cu o viteza de 0.6 m/s, frecventa Doppler pentru un detector din banda X ($\lambda = 0.03$ m) va fi de:

$$\Delta f = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{0.6}{0.03} = 20 \text{ Hz}$$

In cazul in care obiectul se misca sub un unghi α fata de detector, frecventa Doppler va fi:

$$\Delta f = \frac{v}{\lambda_0} \cos \alpha .$$

Orice detector de microunde trebuie sa indeplinească niște cerinte stricte in acord cu legislația tarii in care este folosit:

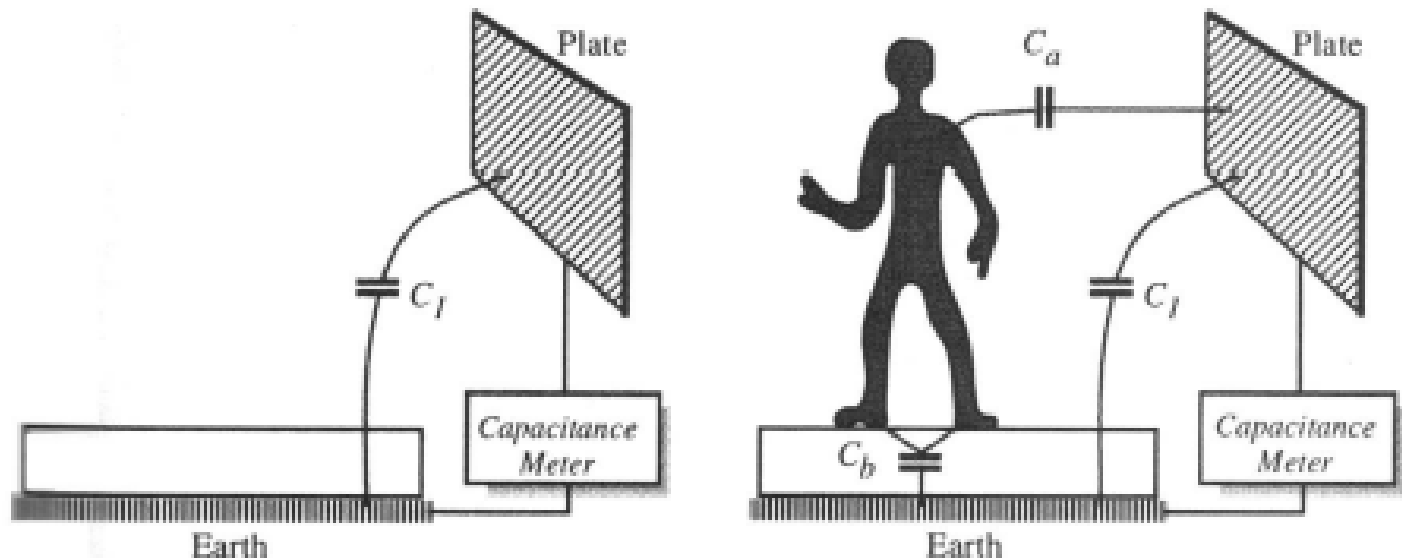
- puterea transmisa sa fie mai mica de 10 mW/cm²,
- frecventa undei emise sa fie cuprinsa in intervalul 100 MHz, 100 GHz,
- etc.

Senzori capacitivi de prezenta

- Fiind un mediu conductiv cu o constanta dielectrica mare, corpul uman va forma cu mediul exterior un condensator de cuplaj.
- Capacitatea acestui condensator va depinde in cea mai mare măsura de mărimea corpului, haine, materiale, tipul obiectelor inconjurătoare, vreme, etc.
- Astfel că valoarea capacității poate varia de la câțiva picofarazi la câțiva nanofarazi.
- Cand o persoana se va mișca, valoarea capacității de cuplaj se va modifica, putand face astfel deosebire între obiectele statice si cele în mișcare.
- Astfel daca o persoană se mișcă în vecinătatea unor obiecte a căror capacitate de cuplaj a fost măsurată în prealabil, între aceste obiecte se va stabili o alta valoare a capacității de cuplaj ca rezultat al prezentei unui obiect (persoana) străin.

- C_1 = capacitatea de cuplaj dintre electrodul de test și pământ
- Când o persoană se mișcă în vecinătatea unei astfel de electrod, ea va forma două capacități adiționale:
- una între electrod și persoană, C_0 și
- alta între pământ și persoană, C_b .
- Deci capacitatea rezultantă C dintre electrod și pământ se va mari cu ΔC și va avea expresia:

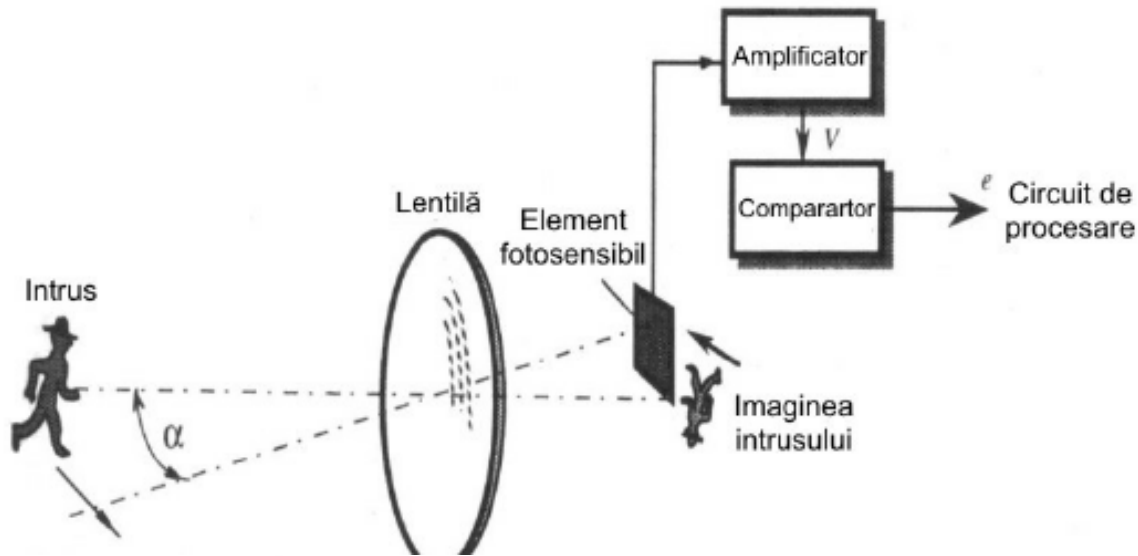
$$C = C_1 + \Delta C = C_1 + \frac{C_a C_b}{C_a + C_b}.$$



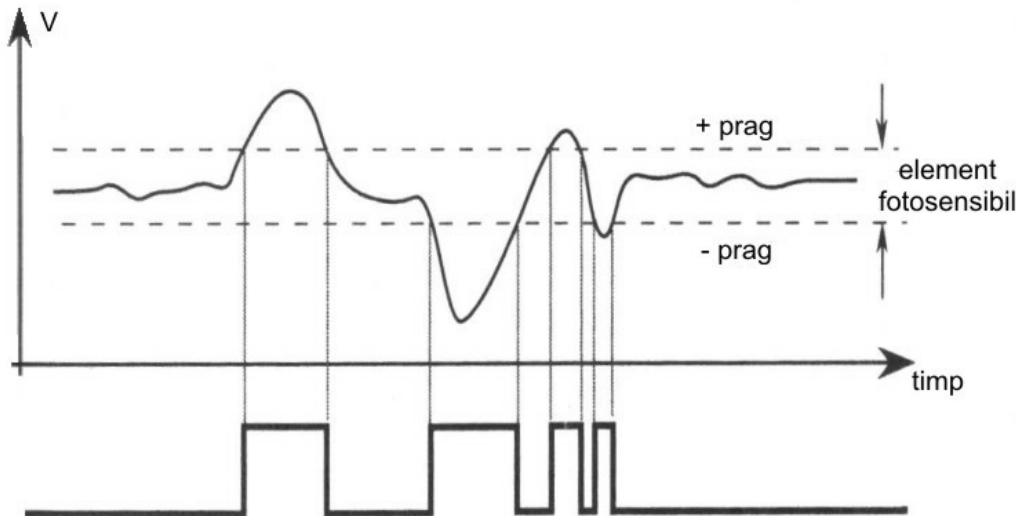
Senzori de mișcare optoelectronici

- Un senzor de mișcare optoelectronic este folosit în detectarea mișcării obiectelor monitorizate.
- Domeniul de operare poate fi de până la câteva sute de metri și depinde de câmpul de deschidere.
- Radiația electromagnetică la care este sensibil este în domeniul optic (vizibil – IR apropiat).
- Principiul de operare al acestui tip de senzor se bazează pe detecția luminii (din spectrul vizibil sau nu) reflectate de suprafața obiectului în mișcare, în spațiul înconjurător.
- Lumina receptată poate proveni de la o sursă de lumină externă (senzori activi – au nevoie de o sursă de radiație optică adițională: lumina naturală, LED în IR, lămpi electrice, etc.) sau de la obiectul monitorizat (senzori pasivi – vor detecta radiația IR emisă de un obiect ce are temperatura diferită de cea a mediului exterior).
- Detectorii optoelectronici sunt foarte folositori în a semnaliza dacă se mișcă sau nu un obiect, dar nu pot fi utilizați în măsurătorile de precizie a distanței de mișcare sau viteza unui obiect, sau în a face distincție între obiectele aflate în mișcare.
- Ariele principale de aplicație a senzorilor optoelectronici sunt:
 - sisteme de securitate (pentru detectarea intrușilor),
 - management energetic (inchidere sau deschidere luminilor)
 - controlul unor dispozitive casnice (aer condiționat, player-e stereo).

- Structura generală a unui detector de mișcare optoelectronic



1. dispozitiv de focalizare (lentile sau oglinzi de focalizare),
2. un detector de lumină
3. un comparator cu prag



Semnalul de ieșire a unui senzor de mișcare optoelectronic

- În mare un detector de mișcare optoelectronic este asemănător cu o cameră de fotografiat.
- Componentele de focalizare vor crea o imagine a câmpului vizual pe planul de focalizare.
- Deoarece nu există un dispozitiv mecanic de declanșare, ca în cazul aparatului foto, în locul filmului va fi folosit un element senzitiv la lumină.
- Acest element va converti lumina focalizată în semnal electric.
- detectorul are un camp vizual util destul de îngust:
- dacă intrusul va continua să se miște, imaginea lui se va suprapune peste elementul fotosensibil doar o singură dată, după care ieșirea comparatorului va genera doar 0 logic.
- În unele cazuri acest lucru nu este deranjant, dar în majoritatea cazurilor este de preferat un camp vizual mai larg.
- Acesta se poate obține prin câteva metode pe care le vom descrie mai jos.
- a) Senzori multipli
 - În planul focal al oglinzii sau al lentilelor se va plasa un set de senzori. Fiecare dintre ei va supraveghea o anumită arie complementară senzorului vecin.
 - Toți detectorii din setul considerat vor fi multiplexați, iar semnalul generat va fi unul compus.
- b) Senzor cu formă complexă
 - Dacă aria suprafeței de detecție este suficient de mare pentru a acoperi întregul camp vizual, acesta poate fi împărțit optic în mai multe părți mai mici.
 - În acest fel fiecare parte se va comporta ca un element fotosensibil separat.
 - Toți acești detectori sunt conectați electric în serie sau în paralel.
 - Acești detectori vor genera un semnal, rezultat din combinația semnalelor provenite în mod alternativ de la diferitele porțiuni active ale senzorului.
 - Fiecare arie sensibilă și nesensibilă trebuie să fie suficient de largă pentru a se suprapune cu imaginea obiectului

- c) Distorsionarea imaginii
 - In locul senzorilor cu formă complexă, pot fi folosiți detectori cu imaginea întregului camp vizual modificat prin împărțirea optică în mai multe părți.
 - Aceștia se obțin prin plasarea unei măști de distorsiune în fața unui detector de arie suficient de mare
 - Masca va fi formată din secțiuni opace ce va permite formarea de imagini pe suprafața detectorului doar când pe acesta nu va exista formată o altă imagine.
 - Principiul de operare a unei astfel de măști este similară senzorilor cu formă complexă.

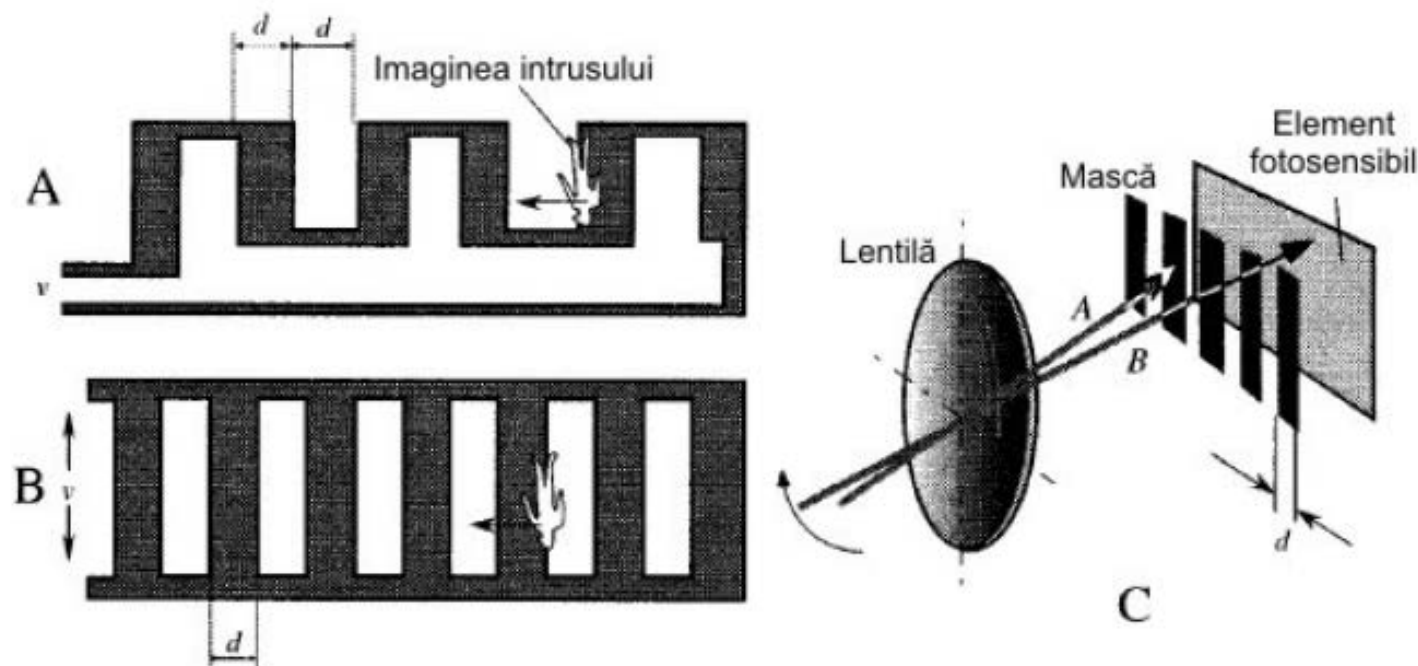


Figura 2.25 Modalități de mărire a câmpului vizual. A și B Senzori cu forme complexe. C Distorsionarea imaginii.

- d) Elemente cu focalizare multiplă
 - O lentilă sau o oglindă de focalizare poate fi împărțită într-un set de lentile sau oglinzi de dimensiuni mai mici numite fațete.
 - Fiecare dintre aceste fațete își va crea propria imagine dând naștere unor imagini multiple.
 - Când obiectul se află în mișcare, se va deplasa și imaginea de-a lungul elementului fotosensibil dând naștere la un semnal alternativ.
 - Prin combinarea a mai multor fațete este posibilă obținerea unor diferite forme ale câmpului vizual de detecție, atât pe plan vertical cât și orizontal.
 - Poziția fațetei, distanța focală, numărul și pasul fațetei, pot fi calculate aplicând regulile geometriei optice.

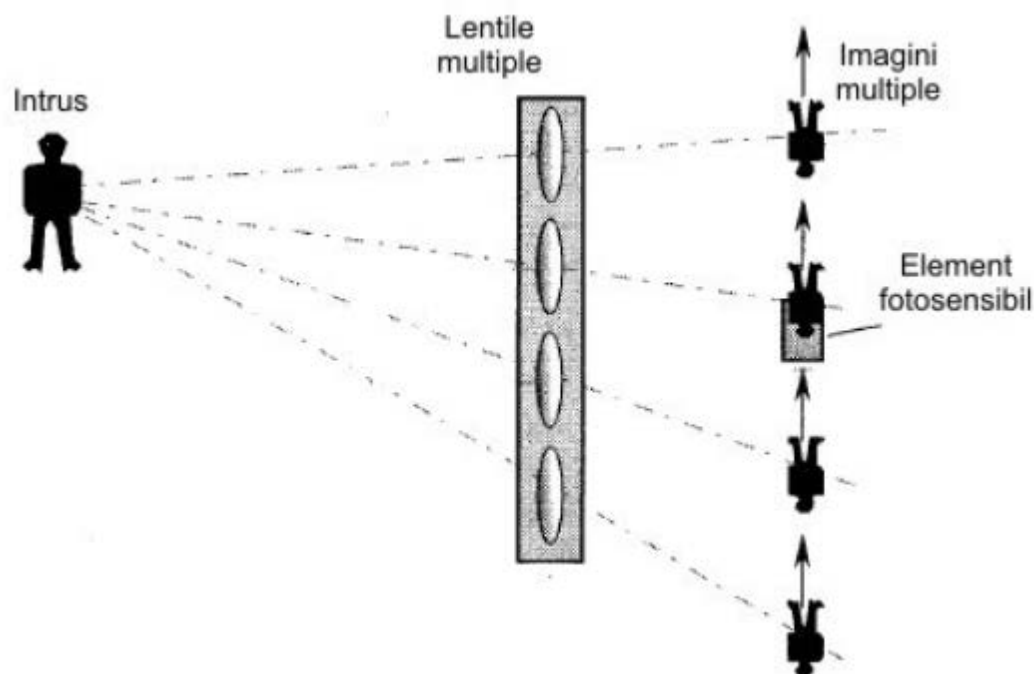
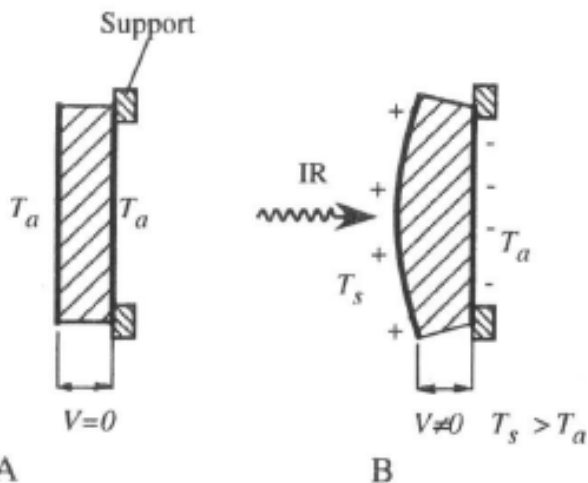


Figura 2.26. Elemente cu focalizare multiplă

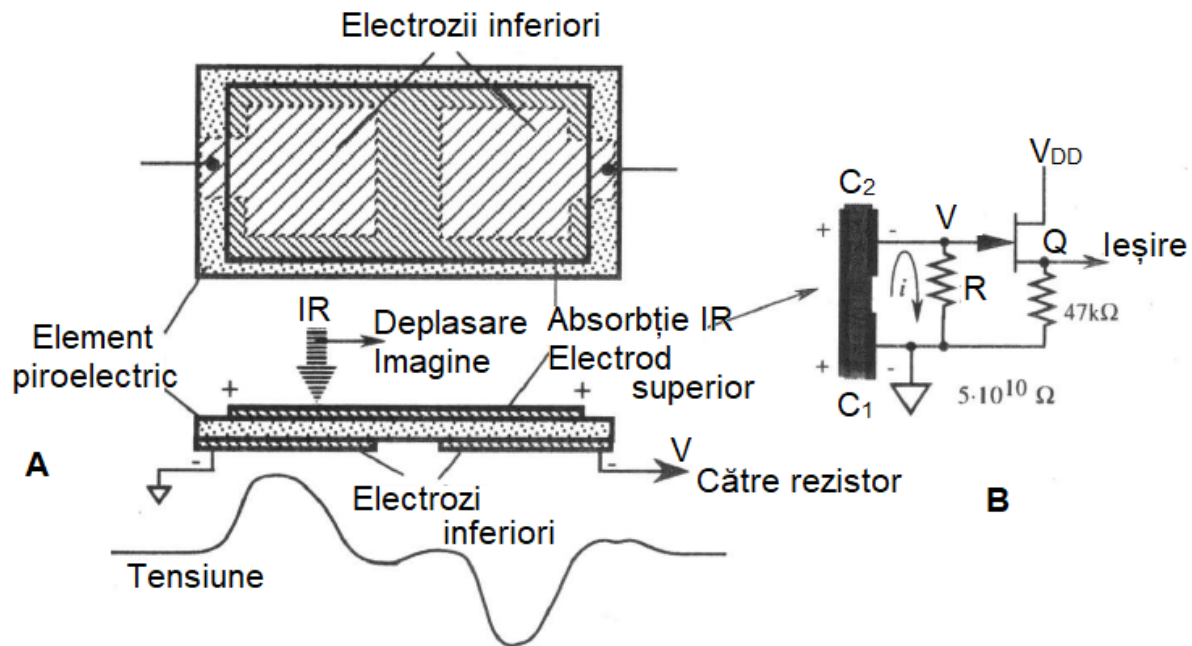
Detectori de mișcare in IR îndepărtat

- Domeniul optic de operare a unor astfel de senzori se situează in IR îndepărtat.
 - Acești senzori vor fi practic sensibili la căldura radiată de corpurile aflate in mișcare.
 - Principiul fizic ce stă la baza detecției căldurii emanate de corpurile aflate in mișcare constă in teoria emisiei de radiații electromagnetice de către corpurile cu temperatura mai mare de zero grade Kelvin.
-
- **Detectori de mișcare PIR**
 - Senzorii PIR (passive infrared) au devenit extrem de populari in sistemele de supraveghere sau de management a energiei.
 - Domeniul senzitiv a elementul PIR se cuprins intre 4 și 20 μm .
 - Există trei tipuri de elemente sensitive ce pot fi folosite de către un detector PIR: termistorii, termopilele și elementele piroelectrice.
 - Aproape in exclusivitate ca elemente termosensibile sunt folosite cele piroelectrice datorită simplității, costului scăzut, timp de răspuns mic, domeniu larg de detecție.

- Un element piroelectric va genera semnal electric ca răspuns la o radiație termică incidentă.
- Efectul provine din încărcare piezoelectrică a materialelor ce se dilată sub efectul radiațiilor termice incidente



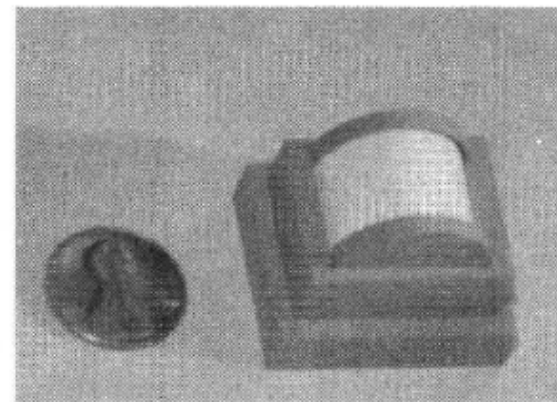
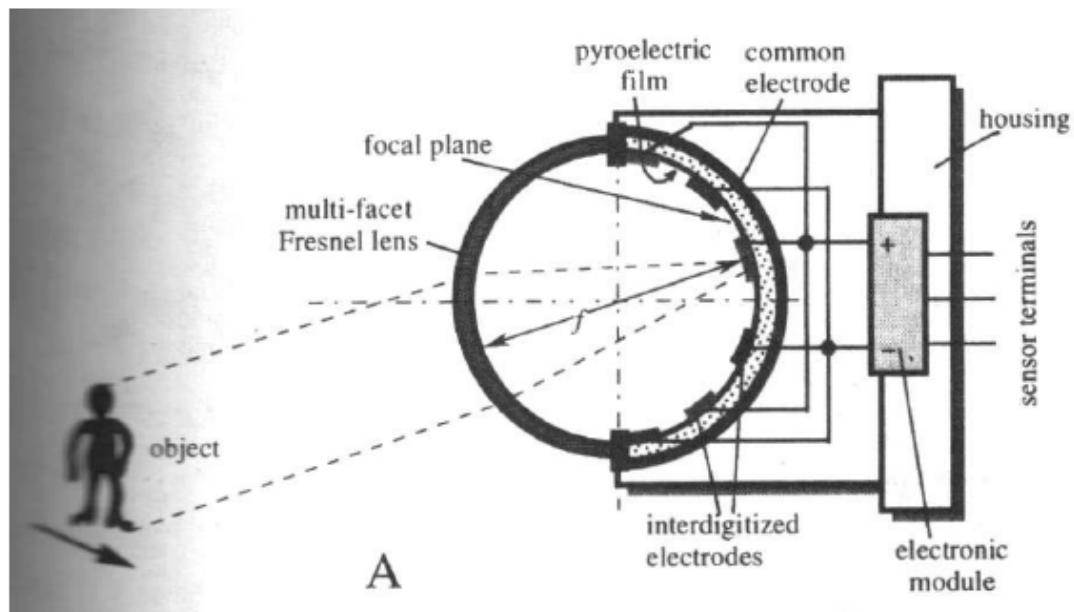
Comportarea senzorilor
piroelectrici la interacțiunea
cu radiația IR



A Arhitectura senzorului piroelectric,
B Circuitul echivalent al senzorului

- Această încărcare se manifestă sub forma apariției unei diferențe de potențial între două laturi opuse a materialului.
- Proprietățile piezoelectrice ale materialului determină și unele efecte negative.
- Dacă senzorul este supus unui efort mecanic cauzat de o forță exterioară, acesta va genera de asemenea semnal electric care în majoritatea cazurilor se suprapune peste semnalul generat ca urmare a interacțiunii senzorului cu undele IR.
- Pentru a separa acumularea de sarcină indusă de undele IR, senzorii piroelectrici au de obicei o formă simetrică
- Senzorul este format din două elemente de formă identică.
- Elementele sunt conectate în circuitul electronic într-o așa manieră încât să genereze semnale în opoziție de fază ca răspuns la aplicarea unor semnale având aceeași fază.
- Interferențele produse de efectul piezoelectric sau de radiațiile termice zgomotoase (false) se aplică în mod simultan (în fază) ambilor electrozi, deci cele două semnale se vor anula, în timp ce radiația termică variabilă de detectat va fi absorbită la un moment dat doar de un singur element, evitându-se în acest fel anularea semnalului

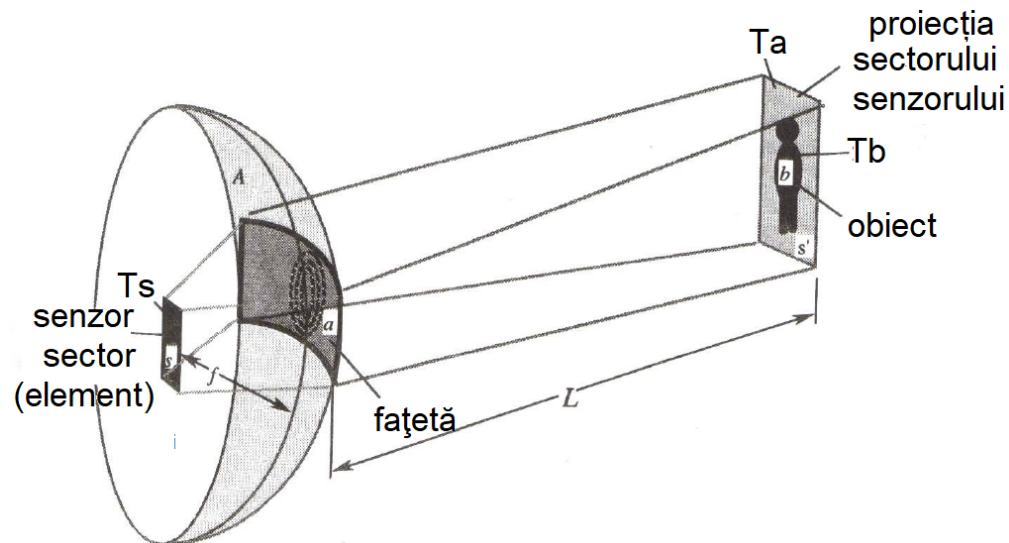
- Un mod de a fabrica senzori simetrici este de a depune pe ambele părți ale unui element piroelectric două perechi de electrozi.
- Fiecare pereche de electrozi va forma un condensator ce se va încărca electric atât datorită radiației termice cât și datorită stresului mecanic.
- Electrozii de pe partea superioară a senzorului sunt interconectați formând un singur electrod continuu, în timp ce electrozii de pe partea inferioară sunt separați formându-se în acest fel doi condensatori legați în serie în opoziție de fază.
- În funcție de poziția electrozilor semnalul generat va avea polaritate pozitivă sau negativă.
- Este foarte important ca cele două elemente piroelectrice să fie simetrice și astfel montați încât să genereze același semnal la aplicarea unor excitații externe de același fel.
- Ca materiale cu proprietăți piroelectrice cele mai utilizate sunt elementele ceramice.
- Coeficientul piroelectric al acestor materiale poate fi modificat relativ simplu prin modificarea porozității materialului (golurile din interiorul senzorului).
- Pe lângă elementul senzitiv, un senzor PIR are nevoie și de un dispozitiv de focalizare: oglinzi parabolice sau lentile Fresnel.
- Modul în care conlucrează sistem de lentile Fresnel și un film PVDF (elementul piroelectric) este ilustrat în figura următoare.
- Senzorul va combina două metode de construcție: senzori cu formă complexă și elemente cu focalizare multiplă.



A Arhitectura unui senzor PIR, B Varianta comercială a senzorului PIR

Detectori de mișcare AFIR

- Detectorul de mișcare AFIR face parte dintr-o nouă clasă de senzori termici a cărui principiu de funcționare se bazează pe echilibrarea puterii termice furnizate elementului senzitiv.
- Spre deosebire de senzorii pasivi ce absorb radiația termică emisă de obiectul monitorizat, detectorii de mișcare AFIR sunt activi – ei emit radiație către obiect.
- Elementul senzitiv este combinat cu un sistem de focalizare, foarte asemănător detectorilor PIR, dar funcția acestui sistem este oarecum inversă.
- Sistemul de focalizare a senzorilor AFIR va proiecta imaginea „termică” a elementului termosensibil către exterior.



- Elementul senzitiv a unui AFIR este compus în esență dintr-un senzor de temperatură și un dispozitiv de încălzire.
- Ca exemplu se poate considera ca o combinație dintre un detector de temperatură semiconductor și o termorezistență.
- Principiul de operare a unui detector de mișcare AFIR este următorul.
- Elementul termosensibil este alimentat din exterior cu energie termică astfel încât temperatura elementului să fie menținută la un nivel constant, dar la o temperatură superioară temperaturii mediului.
- Senzorul de temperatură va măsura variația temperaturii elementului termosensibil, iar semnalul electric generat de acesta va comanda prin intermediul unui circuit de comandă, dispozitivul de încălzire.
- Ca rezultat, elementul senzitiv și circuitul de încălzire vor forma un termostat a cărui funcție este de a menține temperatura elementului senzitiv la o valoare constantă și cu 0,2 până la 0,6 grade Celsius mai mare decât temperatura mediului ambiant.

- Tensiunea de alimentare a dispozitivului de încălzire furnizat de circuitul de comandă este funcție de pierderea de energie termică din elementul termosensibil.
- Atunci când, din anumite motive, pierderea de căldură variază tensiunea de alimentare va trebui să se schimbe în mod corespunzător astfel încât temperatura elementului să fie menținută la nivelul predefinit.
- Pierderile de căldură sunt de natură conductivă, convectivă și de radiație.
- De obicei primele două tipuri de pierdere sunt neglijabile (variază foarte lent când temperatura mediului este constantă), în timp ce pierderile de căldură prin procesele radiative vor depinde de mărimea și viteza de deplasare a obiectului monitorizat.
- Schimbarea poziției obiectelor monitorizate determină o variație a pierderilor de energie termică din elementul sensibil și în consecință o variație a tensiunii de alimentare a dispozitivului de încălzire. Această variație a tensiunii se folosește ca semnal util (semnal de ieșire).

Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 5 – Senzori de forță și de deformare (tensiune mecanică)

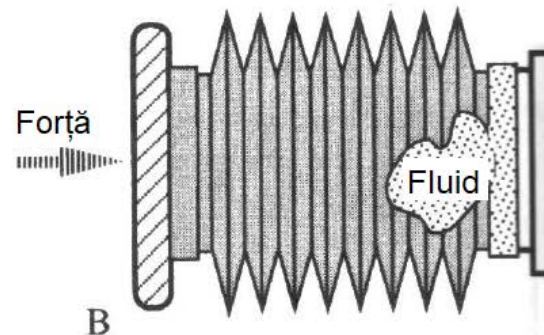
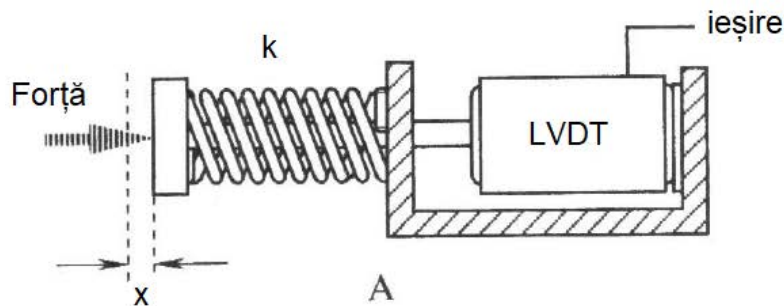
Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

- Măsurarea forței este utilizată în ingineria mecanică și civilă, cântărirea obiectelor, proiectarea protezelor, etc.
- De fiecare dată când măsurăm o presiune, se va măsura de fapt o forță.
- În continuare vom considera că măsurăm o forță atunci când interacțiunea se aplică asupra unui punct și o presiune atunci când interacțiune este distribuită pe o anumită arie.
- Senzorii de forță se pot împărți în două clase: calitativi și cantitativi.
- Un senzor de forță calitativ va genera un semnal electric proporțional cu mărimea forței.
- Senzorul de forță cantitativ este un dispozitiv cu prag și funcția lui este de a semnala prezența unei forțe prin generarea unui semnal electric.
- Deci va genera semnal electric atunci când mărimea forței este mai mare decât valoarea de prag.
- Metodele de sesizare a forței se împart în următoarele categorii:
 1. Prin echilibrarea forței de măsurat la forța gravitațională sau la o masă standard
 2. Prin măsurare accelerației unui corp de masă cunoscută atunci când i se aplică forța exterioară
 3. Prin echilibrarea forței de măsurat la o forță determinată de un camp electromagnetic
 4. Prin convertirea forței de măsurat la o presiune a unui lichid și măsurarea acelei presiuni
 5. Prin măsurarea deformării produse de forță asupra unui material elastic

- Majoritatea senzorilor nu vor converti în mod direct forța în semnal electric, ci sunt necesari anumiți pași de conversie.
- De exemplu un senzor poate fi compus dintr-un senzor de poziție și un convertor forță deplasare.
- Convertorul poate fi un arc a cărei deplasare x va depinde de forța aplicată F și de constanta de elasticitate:

- $x = kF$

- Senzorul prezentat în figura este format dintr-un arc și un senzor de deplasare inductiv de tip LVDT.
- În interiorul domeniului de deplasare a arcului, senzorul de deplasare va genera semnal electric proporțional cu mărimea forței aplicate.
- Un senzor asemănător se poate obține din combinarea unui arc cu un senzor de presiune .
- Practic senzorul de presiune va măsura presiunea lichidului din interiorul unui material elastic.



Senzori de tensiune mecanică (Gauge strain)

- Un astfel de senzor este format dintr-un senzor elastic rezistiv a cărei rezistență electrică este funcție de deformarea materialului la aplicarea unei forțe.
- Acest efect se numește efect piezorezitiv.
- Variația relativă a rezistenței electrice a materialului este funcție de factorul piezorezistiv S_e al conductorului:

$$\frac{dR}{R} = S_e e$$

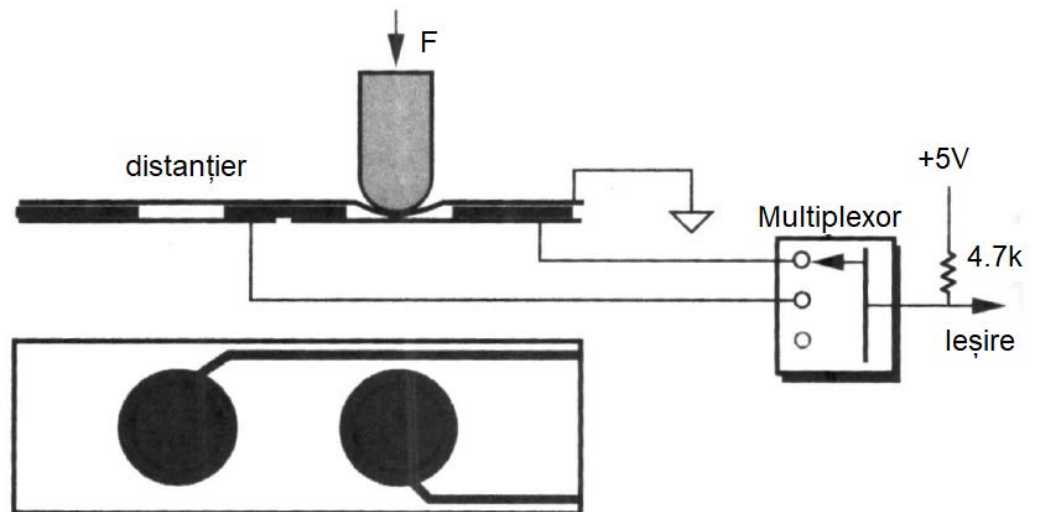
- unde e este tensiunea (deformarea) aplicată.
- Pentru majoritatea materialelor S_e este aproximativ egal cu 2.
- Un astfel de senzor este format dintr-un rezistor, ce are o anumită formă, depus pe un material elastic figura

Forma unui senzor de tensiune mecanică (timbrul tensiometric)



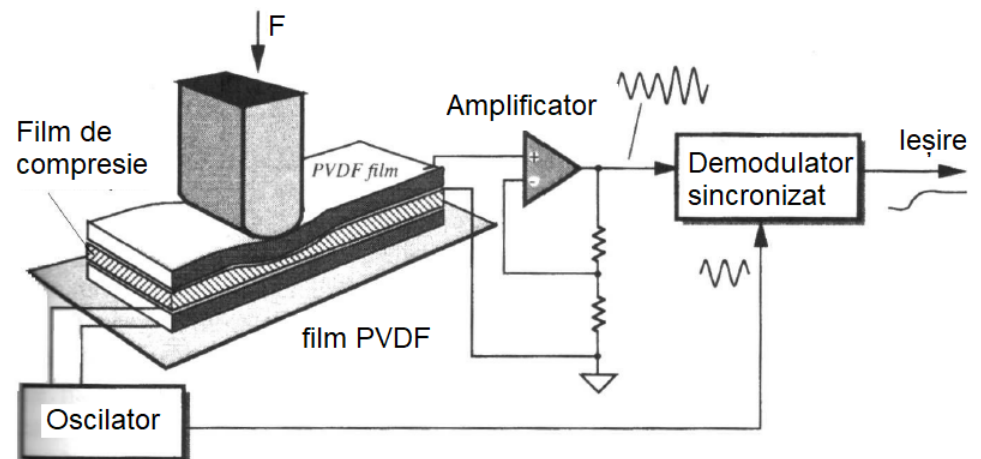
- Coeficientul de dilatare termică a conductorului trebuie să fie de aceeași mărime ca a materialului plastic.
- Cele mai folosite materiale la fabricarea acestor senzori sunt aliajele pe bază de constantan, nichel etc.
- Rezistența electrică tipică a acestor materiale variază de la sute de ohmi la câteva mii.
- Pentru a avea o bună sensibilitate senzorii trebuie să fie formați din segmente longitudinale lungi și segmente transversale scurte.
- **Senzori tactili**
 - Senzorii tactili fac parte dintr-o clasă specială de senzori de forță sau presiune a căror caracteristică principală este subțirimea lor.
 - Aceasta face ca ei să poată fi folosiți la măsurarea forței ce apare între două suprafețe foarte apropiate una de alta.
 - Un exemplu ar fi aplicarea lor în robotică, și anume poziționarea lor pe varful degetelor unui actuator mecanic pentru a produce un feedback la contactul cu un obiect.
 - O altă aplicație este folosirea lor în fabricarea „touch screen”-urilor, tastaturilor sau a altor dispozitive ce presupun sesizarea unui contact fizic.
 - O altă aplicație este în domeniul biomedical unde senzorii sunt folosiți în studiul forței dezvoltate de piciorul omului în timpul unei locomoții sau pot fi implantați într-un genunchi artificial pentru realizarea unei proteze.

- Există mai multe metode de fabricare a acestor senzori. Un senzor tactil simplu este format din două foițe conductoare despărțite de un distanțator ca în figură
- Acesta va genera un semnal de tip on-off (0-1).
- O foiță va fi legată la masă iar cealaltă la un rezistor pull-up.
- În cazul în care sunt mai multe arii senzitive se poate folosi un multiplexor.
- Când se aplică o forță exterioară asupra foiței superioare, conductorul se va flexa, va atinge cealaltă foiță și va realiza un contact electric.
- Deoarece foița de jos este legată la masă senzorul va genera o tensiune de zero volți indicând prezența unei forțe.



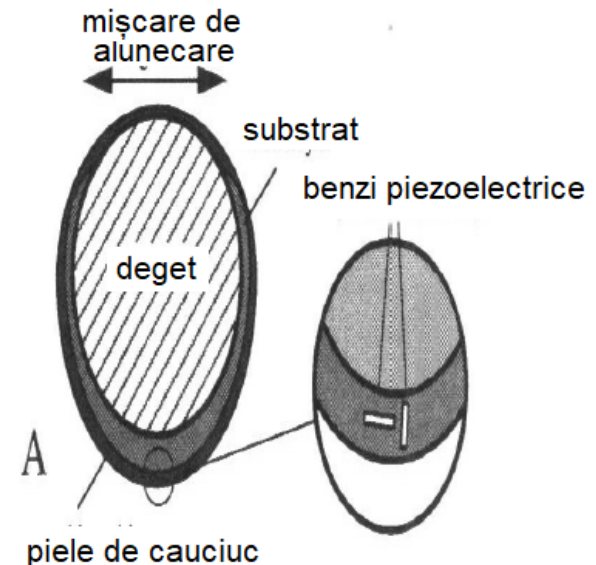
Arhitectura unui senzor tactil realizat din membrane intrerupătoare

- Un senzor tactil bun este alcătuit dintr-un film piezoelectric, cum este florura de polivinilid (PVDF), și este folosit în mod activ sau pasiv.
- Un senzor tactil ultrasonic format din trei filme piezoelectrice laminate este prezentat în figură
- Filmul de sus și cel de jos sunt din PVDF în timp ce filmul central are scopul de a cupla acustic cele două filme exterioare.
- Cu cât filmul central va fi mai moale cu atât senzorul va avea o sensibilitate și un domeniu de operare mai mare.
- Filmului din partea de jos i se aplică o tensiune electrică alternativă provenită de la un oscilator.
- Acest semnal de excitație va determina producerea unor contracții mecanice ale filmului median ce la rândul lui va produce deformări ale filmului din partea superioară.
- Deoarece piezoelectricitatea este un fenomen reversibil, contracțiile mecanice vor determina generarea unei tensiuni electrice alternative.
- Aceste oscilații sunt amplificate și introduse într-un demodulator sincron.
- Demodulatorul este sensibil atât la amplitudinea cât și la faza semnalului receptat.
- Când se aplică o forță de compresie F asupra filmului superior, mărimea cuplajului mecanic dintre cele trei straturi se va schimba, ceea ce determină o modificare a amplitudinii și a fazei semnalului recepționat.
- Demodulatorul va sesiza aceste modificări și va genera un semnal electric proporțional.

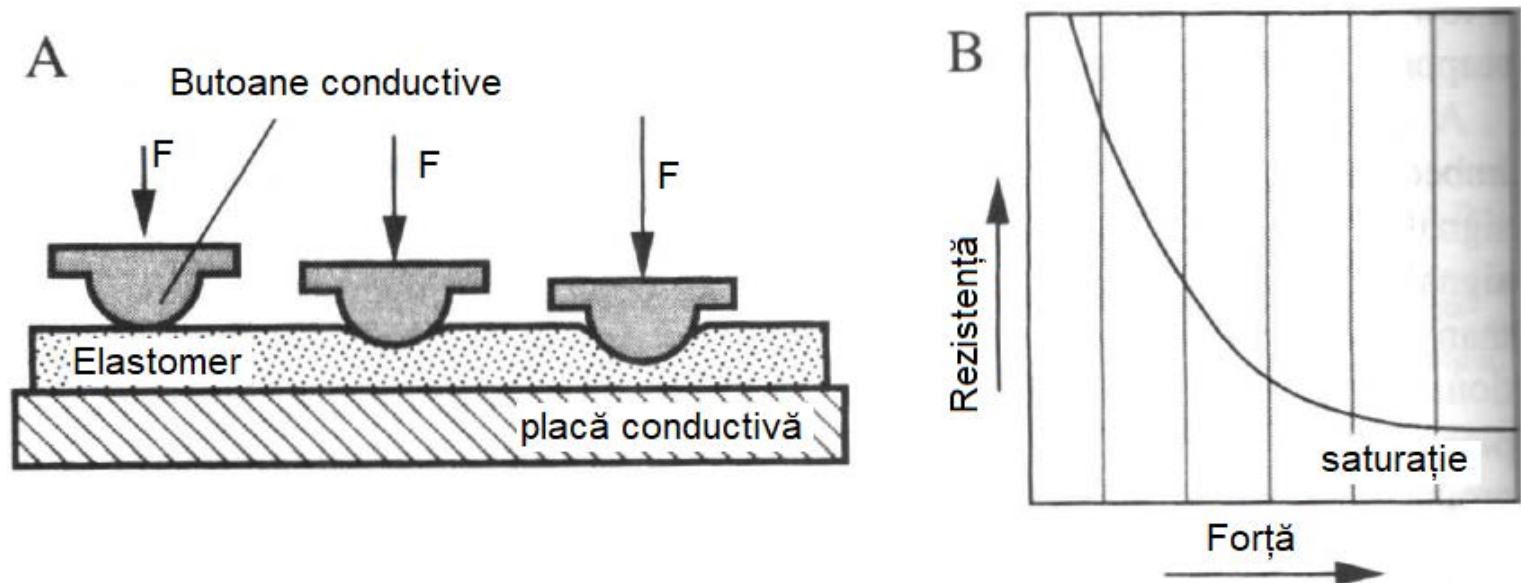


- Între anumite limite, semnalul de ieșire a senzorului va fi o funcție liniară de mărimea forței aplicată.
- Dacă filmele PVDF au o grosime de $25\mu\text{m}$ iar filmul median de compresie din cauciuc siliconat va avea o grosime de $40\mu\text{m}$, grosimea întregului ansamblu, incluzând și stratul de protecție, nu va depăși $200\mu\text{m}$.
- Partea superioară sau inferioară a filmului din PVDF (partea receptoare, respectiv partea emitentă) va fi formată din mai multe celule dispuse una lângă alta și a căror ieșiri vor fi multiplexate în vederea recunoașterii poziției fiecărei celule.
- Senzorul poate fi folosit și la măsurarea deplasărilor de valori foarte mici.
- Ei pot avea un domeniu de măsură cuprins între câțiva μm la câțiva mm
- Un senzor tactil piezoelectric poate fi fabricat din film PVDF încapsulat într-un strat de protecție din cauciuc, ca în figură

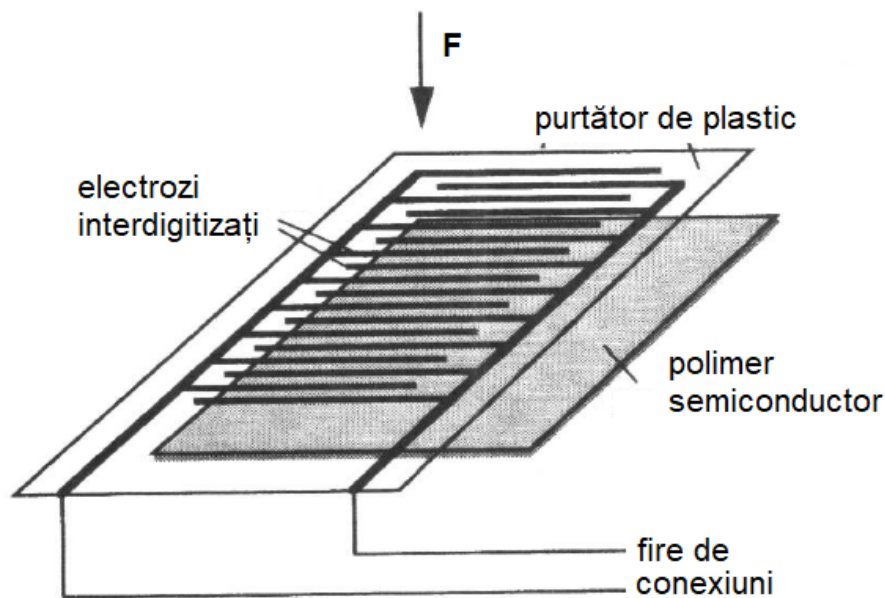
- Fiind un senzor pasiv, semnalul electric de ieșire va fi generat de filmul piezoelectric și fără a fi nevoie de un semnal extern de excitație.
- Astfel că senzorul va genera un semnal proporțional cu frecvența de aplicare a forței și mai puțin cu mărimea forței aplicate.



- Un alt tip de senzori tactili sunt cei rezistivi FSR.
- Acești senzori sunt construiți din materiale a căror rezistență electrică se schimbă în funcție de forța aplicată.
- Materiale de acest tip sunt elastomerii sau cernelurile sensibile la presiune.
- Un elastomer conductiv este fabricat din cauciuc siliconat, poliuretană și alte componente ce sunt dopate cu fibre sau particule conductive.
- Principiul de operare a senzorilor tactili elastomerici se bazează pe variația ariei de contact a elastomerului atunci când este stransă între două straturi conductive
- La aplicarea unei forțe, aria de contact dintre elastomer și stratul conductiv pe care se aplică forța se va modifica, producând o scădere a valorii rezistenței.
- Pentru o anumită valoare a forței aplicate, aria de contact va atinge valoarea maximă și funcția de transfer va ajunge la saturație.



- Senzori mult mai subțiri se pot obține din polimeri semiconductori a căror rezistență electrică se va modifica în funcție de presiunea aplicată pe suprafața de contact
- Domeniul tipic de operare este de 0 – 3 kg iar grosimea lor este de aproximativ 0,25 mm.



Arhitectura unui senzor tactil
realizat din filme FSR

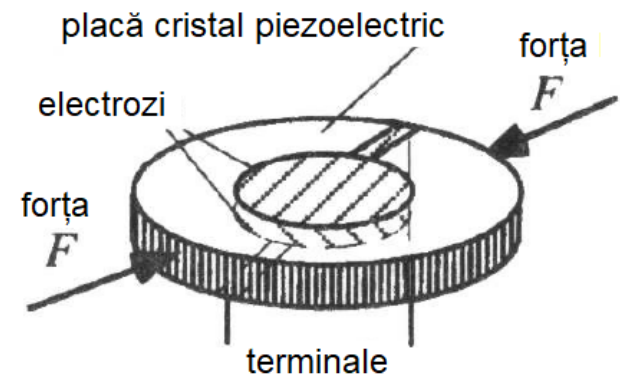
Senzori de forță piezoelectrici

- Efectul piezoelectric poate fi folosit atât de senzorii de forță pasivi cât și de cei activi.
- În măsurările cantitative mărimea forței aplicate va fi raportată la frecvența de rezonanță a cristalului piezoelectric.
- Ecuația ce descrie spectrul de frecvență de rezonanță a unui oscilator piezoelectric este:

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{c}{\rho}},$$

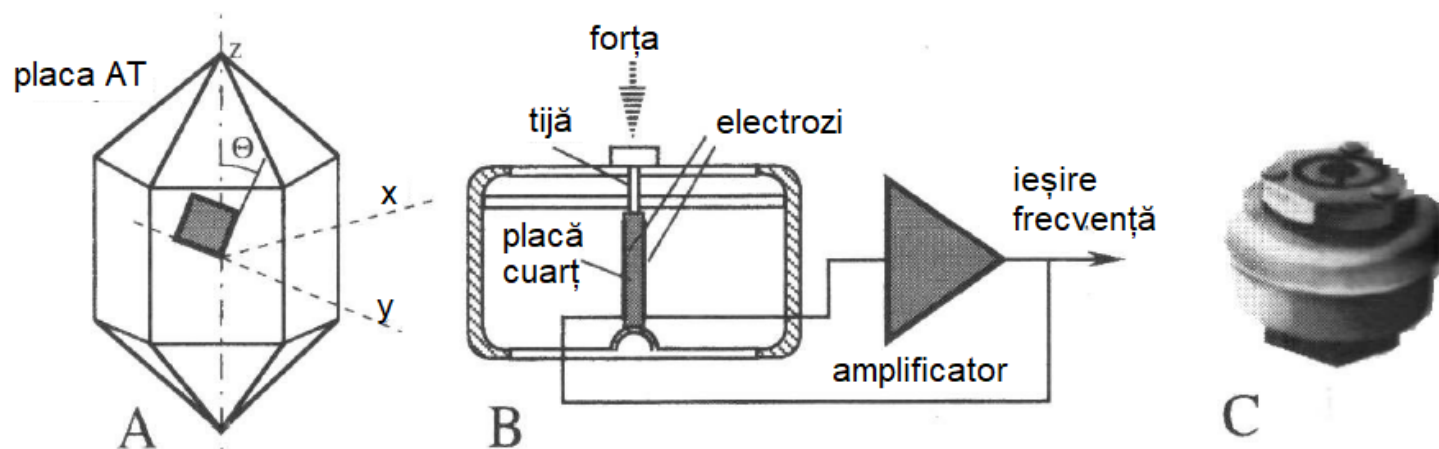
- unde
 - n este numărul armonice considerate,
 - l este un coeficient ce depinde de dimensiunea oscilatorului,
 - c constanta de elasticitate a materialului, iar
 - ρ este densitatea materialului.
- Sensibilitatea, respectiv mărimea variației frecvenței de rezonanță, depinde de axa cristalului pe care se aplică forța.
- De obicei aceste direcții de sensibilitate pe care va fi aplicată forța de măsurat sunt alese încă din fabricația oscilatorului figura

Arhitectura unui senzor de forță piezoelectric



- Un alt senzor de forță piezoelectric este în figura.
- Acest senzor are o bună liniaritate și un domeniu relativ restrâns de măsură de la 0 la 1,5 kg.
- Cristalul va fi tăiat sub o formă rectangulară în care o singură margine va fi paralelă cu axa x, iar fațetele cristalului vor forma un unghi de 35 de grade cu axa z.
- Această formă este cunoscută sub denumirea de tăietură AT.
- Pe suprafața cristalului se vor depune electrozi pentru a se putea obține efectul piezoelectric.
- Acești electrozi vor fi conectați pe reacția pozitivă a unui amplificator.
- Variația frecvenței de rezonanță la aplicarea unei forțe F va fi dată de formula
- Unde:
 - K este o constantă,
 - l mărimea cristalului.
- Varianta comercială a unui astfel de senzor este prezentată în figură.

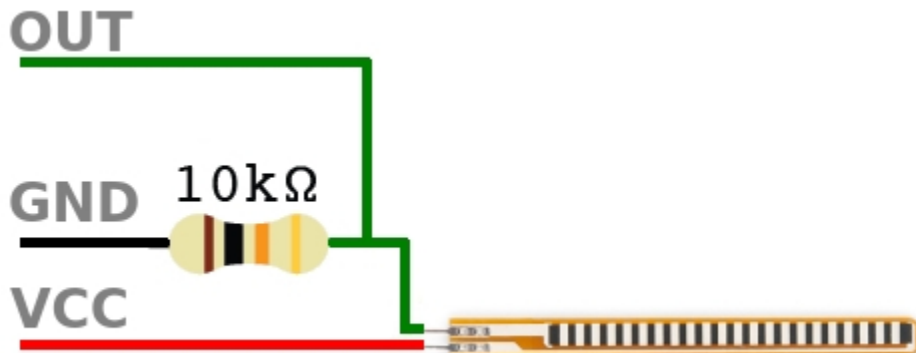
$$\Delta f = F \frac{K f_0 n}{l},$$



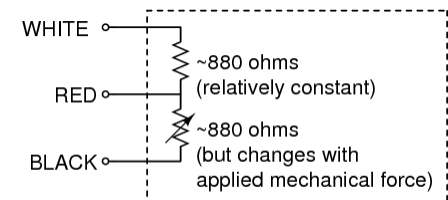
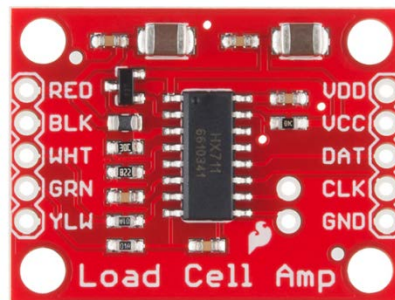
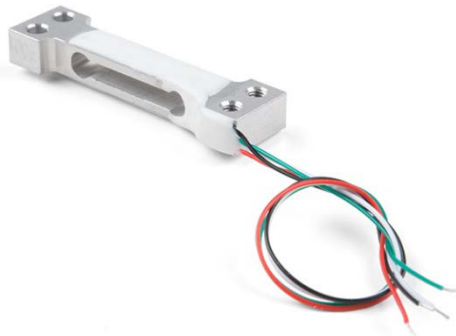
Arhitectura unui senzor de forță piezoelectric format dintr-un cristal piezoelectric cu tăietură AT

Senzori de forță de la robofun.ro

- Senzor de îndoire
 - masoara gradul de indoire (spre exemplu, cusut pe un deget de manusa, va indica cat de mult iti indoi degetul).
 - Pe masura ce senzorul este indoit, rezistenta electrica a acestuia creste.
 - Tehnologia este patentata de catre Spectra Symbols, si a fost utilizata pentru constructia [Nintendo Power Glove](#) .

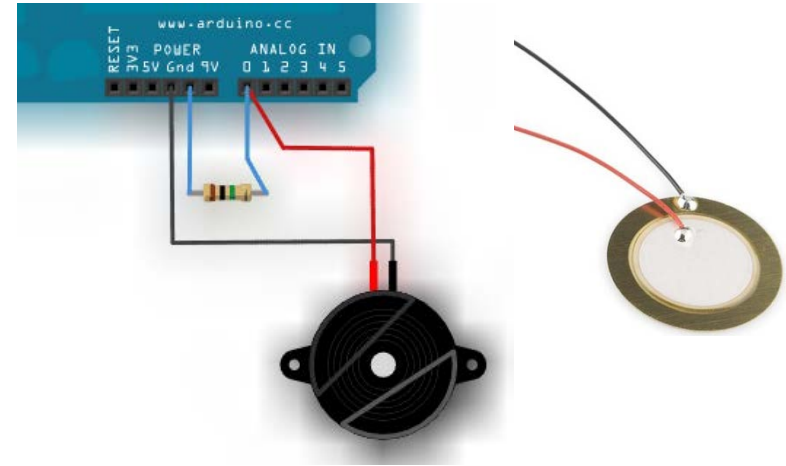


- Celula de sarcina 100g, TAL221
 - Aceasta mini celula dinamometrica (denumita si tensometru) poate interpreta presiunea (forta) de pana la 100g in semnal electric.
 - Fiecare celula poate masura rezistenta electrica ce se schimba ca raspuns la tensiune (presiune sau forta) si proportional cu aceasta, cand este aplicata barei.
 - Cu acest calibru ai posibilitatea sa determini greutatea unui obiect, daca greutatea unui obiect se schimba in timp sau daca pur si simplu ai nevoie sa detectezi prezenta unui obiect masurand tensiunea sau incarcatura aplicata pe o suprafata.
 - Celulele sunt realizate din aliaj de aluminiu si capabile sa interpreteze o capacitate de 100g.
 - Acestea au patru calibre de tensiune conectate intr-un circuit de tip punte Wheatstone.
 - Codul culorilor de pe cablaj este urmatorul: rosu= Exc+, verde= Sig+, negru= Exc- si alb= Sig-.
 - Additional, aceste celule ofera protectie de grad IP65 si au patru orificii de marime M3 pentru montaj.

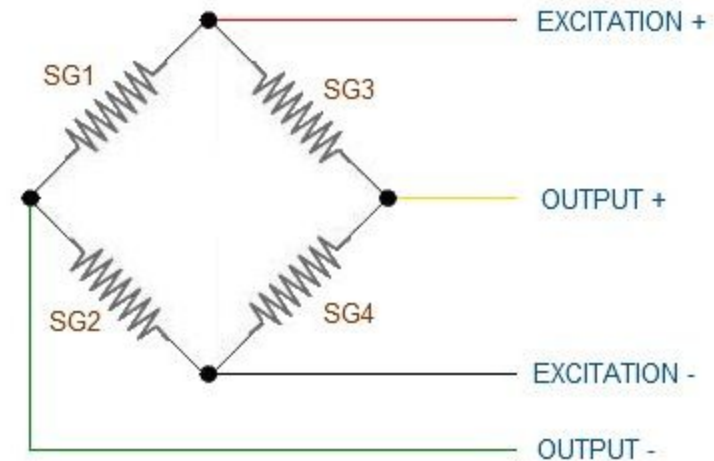


Load Cell Amplifier HX711

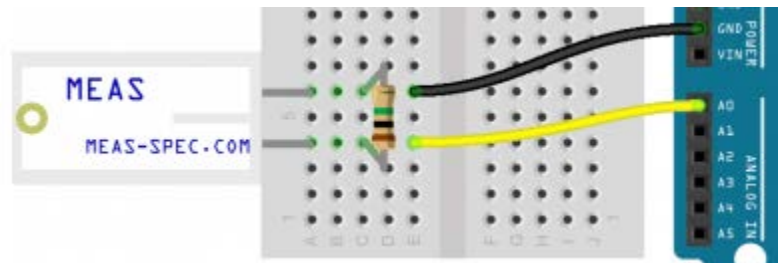
- Piezo
 - Senzorul piezo poate fi folosit pentru detectarea vibratiilor
- Celula de sarcina - 200kg, S-Type (TAS501)



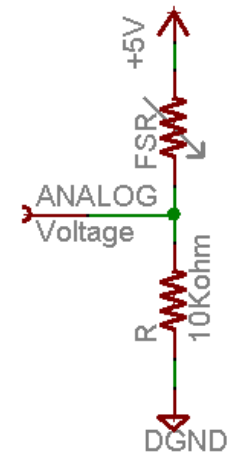
LOAD CELL WIRING



- Celula de sarcina - 50kg, Disc
 - acest disc poate traduce pana la 50 kg de presiune (forta) intr-un semnal electric.
 - Fiecare celula de sarcina este capabila sa masoare rezistenta electrica proportionala cu forta sau presiunea aplicata pe disc.
 - In acest mod puteti vedea cat de greu este un obiect si daca greutatea acestuia variaza in timp.
 - Varianta cu disc este mai usor de montat decat cele de tip bara.
 - Fiecare disc este realizat dintr-un aliaj de aluminiu si este capabila sa citeasca o capacitate de 50 kg.
 - Bara de sarcina are 4 marci tensometrice care sunt cuplate ca o punte Wheatstone.
 - Codul de culori de pe cabluri este urmatorul: rosu = E +, verde = O +, negru = E-, alb = O-.
- Piezo Vibration Sensor - Large with Mass
 - Senzor piezo de masurarea vibratiilor si socurilor.
 - **Caracteristici:**
 - Flexibil PVDF Piezo Polimer Film
 - Tensiune +/- 90V

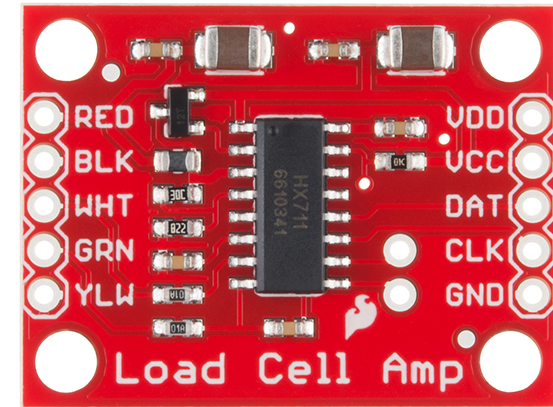


- Senzor Apasare Circular 0.76 cm
 - isi schimba rezistenta in functie de forta care se exercita asupra lui.
 - Cand nu se exercita nici o forta rezistenta este egala cu 1MOhm.
 - Rezistenta va scadea la 2.5KOhm cand se aplica forma maxima pe care poate senzorul sa o detecteze.
 - Senzorul este usor de folosit dar nu este foarte precis.
 - Poate sa detecteze foarte usor daca exista o forta de apasare dar nu poate sa identifice precis diferentele dintre doua forte.



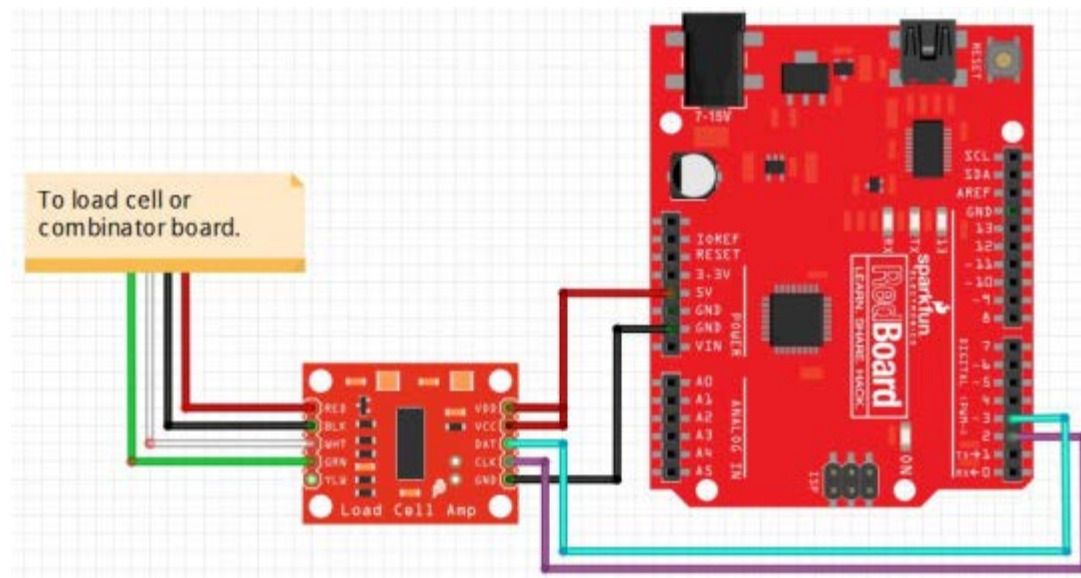
- **Amplificator Celule de Sarcina - HX711**

- are la baza circuitul de HX711 care va permite sa cititi cu usurinta valorile returnate de celulele de sarcina pentru a masura greutatea.
- Conectarea amplificatorului la microcontrolerul dumneavoastra face posibila citirea variatiei valorii rezistentei interne a celulei de sarcina.
- Circuitul HX711 utilizeaza doua fire pentru comunicatie(Data si Clock).
- Pinii GPIO de la orice microcontroler ar trebui sa functioneze fara probleme avand in vedere ca au fost scrise foarte multe librarii pentru acest produs.



- **Specificatii:**

- Tensiune minima: 2.7v
- Tensiune maxima: 5.5v
- Curent consumat:<1.5mA



Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 6 – Senzori de viteză și
acclerație

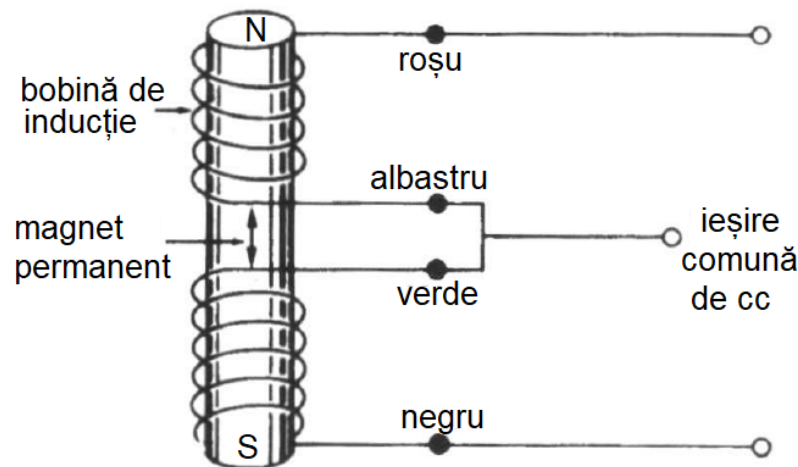
Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

Intro

- Accelerația este o caracteristică dinamică a unui corp, deoarece conform legii a doua a lui Newton pentru ca obiectul să fie accelerat asupra lui trebuie să se exercite o forță.
- Ca urmare între deplasare, viteză și accelerație există o stransă legătură: viteza este derivata de ordinul întâi a deplasării iar accelerația este derivata de ordinul doi a deplasării.
- Dar în condiții de zgomot derivata unui astfel de semnal va conține erori de valoare foarte mare, fiind nevoie de circuite de condiționare de mare complexitate pentru a se obține un semnal corespunzător.
- Astfel că se încercă evitarea obținerii vitezei sau a accelerației din derivarea deplasării.
- Ca regulă generală în aplicațiile de frecvență joasă (sub 1 Hz) se va măsura deplasarea, în cele de frecvență medie (sub 1 kHz) se preferă măsurarea vitezei iar la frecvențele înalte accelerația.
- Ideea de bază în construcția acestor tipuri de senzori constă în măsurarea deplasării unui obiect în raport cu un sistem de referință, astfel că fiecare senzor va conține componente sensibile la deplasare

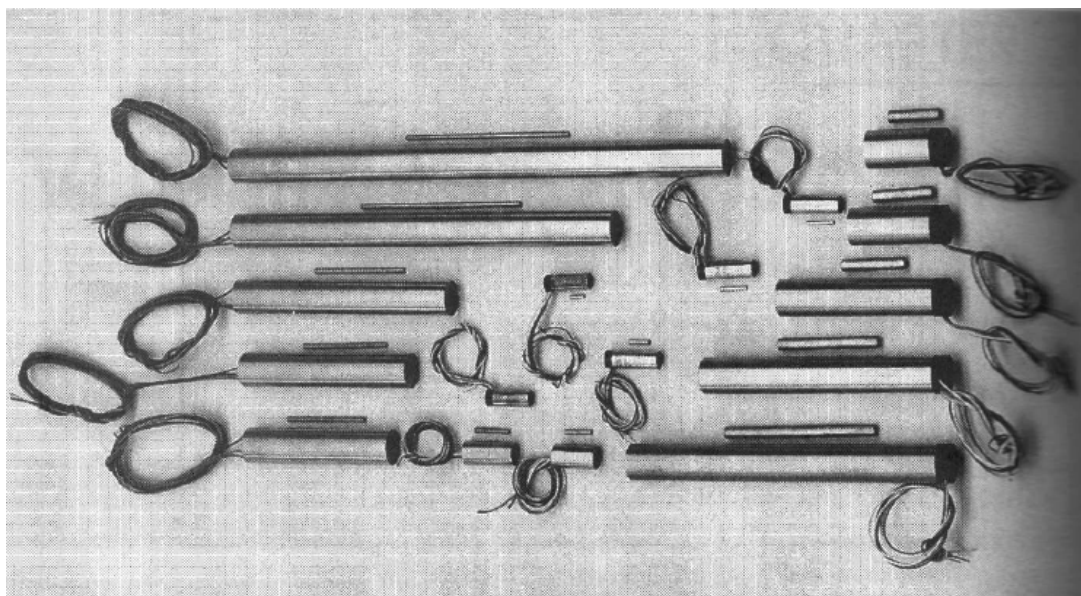
Senzori de viteză electromagnetici

- Conform legii lui Faraday mișcarea unui magnet în interiorul unei bobine va induce în bobină o tensiune. Aceasta tensiune va fi proporțională cu viteza magnetului și mărimea câmpului magnetic.
- Traductorii liniari de viteză vor folosi inducția magnetică dezvoltată în interiorul bobinei.
- La senzorul de viteză ambele capete ale magnetului se vor afla în interiorul bobinei.
- Dacă s-ar folosi o singură bobină tensiunea generată de aceasta ar fi tot timpul zero, deoarece tensiunea generată de un capăt al magnetului va fi anulată de tensiunea generată de celălalt capăt.
- Astfel că bobinele vor fi divizate în două părți.
- Polul nord al magnetului se va induce un curent într-o bobină iar polul sud în cealaltă.
- Cele două bobine sunt conectate în serie și în opoziție de fază, pentru a obține un curent proporțional cu viteza magnetului



- Viteza maximă detectabilă depinde în principal de etajul de intrare a circuitului electronic de condiționare.
- Viteza minimă detectabilă va depinde de nivelul zgomotului și în special de zgomotul produs de echipamentele ce lucrează la frecvențe înalte.
- Valorile tipice ale unui senzor electromagnetic sunt date în tabel.
- Senzorii de viteză electromagnetici sunt similari senzorilor de deplasare LVDT, dar cu deosebirea că aceștia sunt senzori activi.

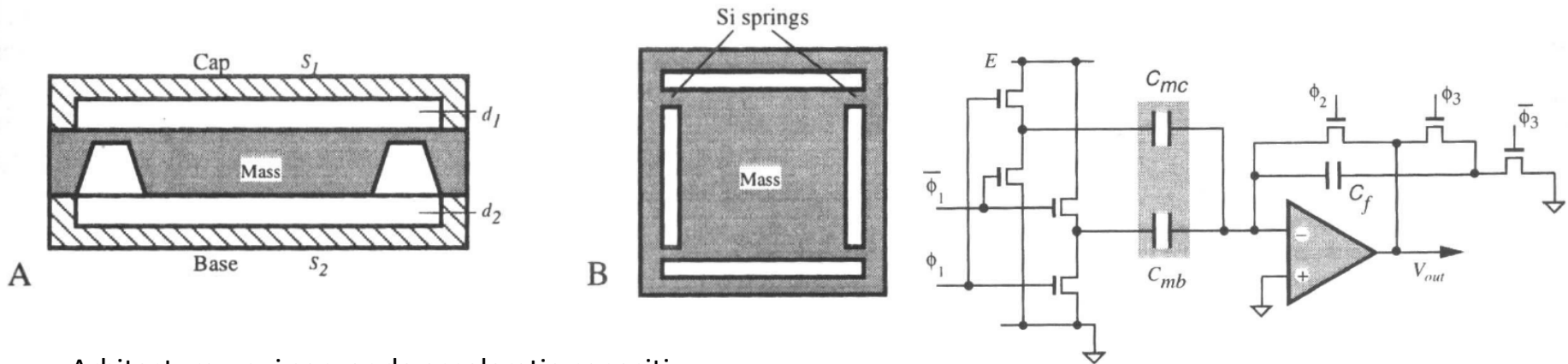
Caracteristici	Valoare
Deplasarea magnetului, țoli (1 țol = 2,54 cm)	0,5 - 24
Sensibilitate, mV pe țol / s	35 - 400
Rezistența bobinei, k Ω	2 - 45
Inductanța bobinei. henry	0,06 – 7,5
Greutate, g	20 - 1500



Accelerometre

- Accelerometrele sunt formate
 - dintr-o componentă, considerată fixă și totodată sistem de referință pentru partea mobilă a senzorului, legată de obiectul a cărei accelerație dorim s-o măsurăm și
 - o componentă mobilă a cărei mișcare inerțială va fi măsura accelerației corpului studiat.
- Această componentă mobilă este denumită în mod frecvent masă inerțială sau seismică.
- Indiferent de arhitectura sau metoda de conversie a senzorului, accelerometrele vor măsura deplasarea masei inerțiale față de corpul senzorului.
- Deci orice senzor capabil să măsoare deplasări microscopice în condiții de accelerații sau vibrații puternice, poate fi folosit ca senzor de accelerație.
- **Accelerometre capacitive**
 - Conversia capacitivă a deplasării este una dintre cele mai folosite metode.
 - Un senzor capacitiv este format în esență din două componente.
 - O componentă este armătura staționară (deci conectată de corpul senzorului) iar cealaltă este o armătură atașată de masa inerțială.
 - Aceste armături formează un condensator a cărei capacitate este funcție de distanța d dintre armături.
 - Altfel spus, valoarea capacității este modulată de accelerație.
 - Valoarea maximă a deplasării pe care o pot măsura aceste tipuri de senzori este aproximativ de $20\ \mu\text{m}$.
 - Astfel că, la așa deplasări mici, se impune o compensare a deplasărilor sau interferențelor nedorite.
 - Aceasta se realizează folosind metoda diferențială prin utilizarea a încă unui condensator de valoare apropiată de primul condensator și legat în antifază față de acesta.
 - Deci valoarea accelerației măsurate va fi diferența dintre cele două valori ale capacităților considerate.

- Figura A prezintă o secțiune transversală a unui accelerometru capacitiv în care masa inerțială este cuprinsă într-o structură de tip sandwich ca strat median între două armături.
- Întregul senzor este confecționat din siliciu.
- Masa inerțială este susținută pe patru arcuri din siliciu (figura. B).
- Armătura superioară și cea inferioară sunt la distanța de d_1 respectiv d_2 față de masa inerțială.



Arhitectura unui senzor de accelerație capacitiv

Circuitul echivalent al unui senzor de accelerație capacitiv

- Condensatorul plan C_{mc} este format din masa inerțială și armătura superioară de arie S_1 .
- Distanța d_1 dintre cele două armături (armătura superioară și armătura masei inerțiale) se va modifica cu valoarea Δ atunci când masa inerțială se va deplasa înspre armătura superioară

- Al doilea condensator C_{mb} va avea o arie de valoare S_2 diferită de S_1 .
- Valoarea deplasării masei inerțiale va fi direct proporțională cu valoarea forței inerțiale și invers proporțională cu valoarea constantei de elasticitate a arcului.

$$\Delta = \frac{F_m}{k}$$

- Strict vorbind, circuitul echivalent a accelerometrului este valid doar cand poziția masei inerțiale nu este influențată de forțele electrostatice și deci capacitatea va depinde liniar de F_m .
- Tensiunea de ieșire a circuitului amplificator sumator cu capacități comutate va avea valoarea:

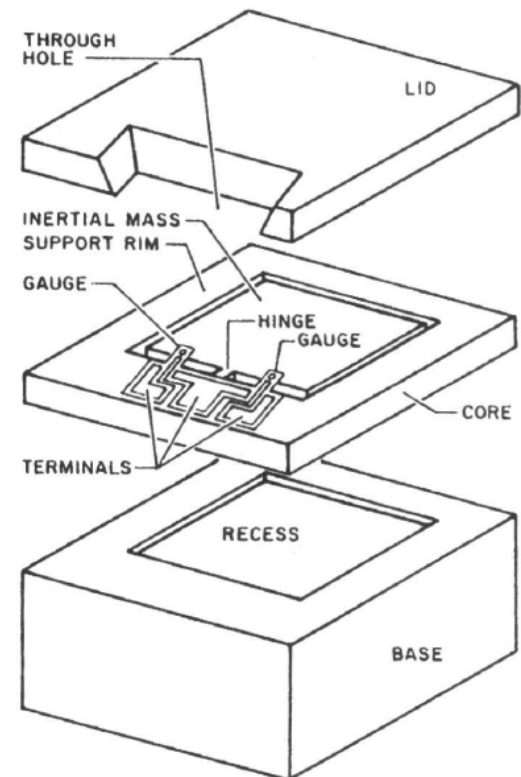
$$V_{out} = 2E \frac{C_{mc} + C_{mb}}{C_f}$$

- Tensiunea de ieșire a accelerometrelor este de asemenea funcție de temperatură.

Accelerometre piezorezistive

- Elementul senzitiv a unui accelerometru piezorezistiv va măsura tensiunea de deformare din arcul de susținere a masei inerțiale.
- Mărimea tensiunii de deformare este direct proporțională cu deplasarea masei inerțiale și implicit cu accelerația de măsurat.
- Un exemplu de accelerometru piezorezistiv este prezentat în figura

- Acest senzor a fost dezvoltat de compania Endevco/Allied Signal Aerospace (Sunnyvale, CA).
- Microsenzorul este format din trei straturi de siliciu.
- Masa inerțială este suspendată de lama elastică pe care sunt aplicate pe o parte și pe alta câte un timbru tensiometric.
- Când se aplică o accelerație de-a lungul axei sensitive, masa inerțială va determina o flexare a lamei elastice.
- Mărimea flexării este determinată de timbrele tensiometrice dispuse pe ambele părți ale lamei.
- Valorile caracteristice ale unui astfel de accelerometru sunt prezentate în tabelul următor:



Arhitectura unui senzor de accelerație piezorezistiv

Caracteristici	Valori
Mărime (mm)	1,65 x 1,78
Domeniu (g)	± 1000
Sensibilitate (mV/g)	0,2
Domeniul de temperatură de funcționare (°C)	-54 ÷ +135
Rezistență la șoc (g)	10000
Greutate (g)	0,8

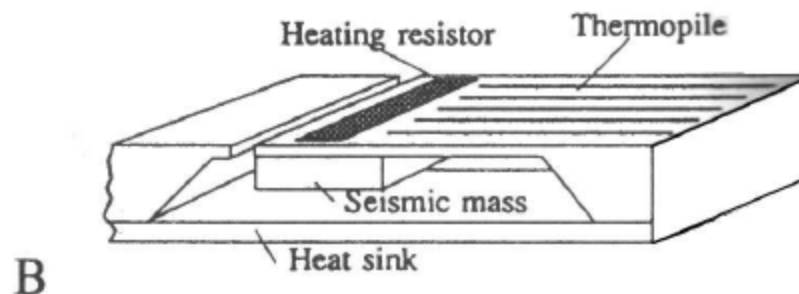
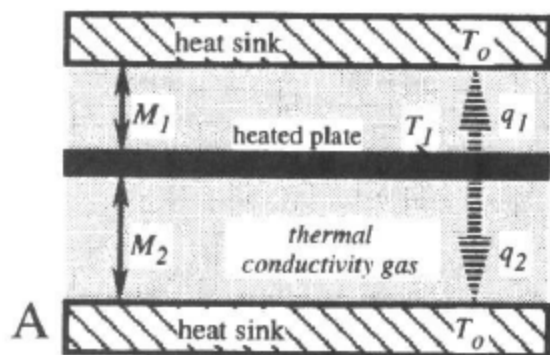
Accelerometre termice

- Deoarece ideea de bază a unui accelerometru este de a converti mișcarea masei inerțiale în măsurarea deplasării acesteia se poate folosi principiul transferului de căldură între două corpuri.

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{RC} = \frac{Q}{C} + \frac{T_a}{RC}$$

- unde :
 - Q = temperatura corpului cald, este căldura furnizată corpului cald,
 - T_a este temperatura mediului înconjurător,
 - R și C sunt rezistența respectiv capacitatea termică a corpului.
- Accelerometrul este format dintr-o masă inerțială suspendată, poziționată pe o bară rigidă incastrată la un capăt și poziționată în apropierea unui receptor de căldură sau între două receptoare de căldură

- Spațiul dintre aceste componente este umplut cu un gaz termoconductor.
- Masa inerțială este încălzită la o temperatură constantă T_1 .
- În condiția în care accelerația este zero, între masa inerțială și cele două receptoare termice se stabilește un echilibru termic: cantitatea de căldură pe care o primește fiecare receptor termic va fi funcție de distanța dintre acești receptori și masa inerțială.



Arhitectura unui senzor de accelerație termic

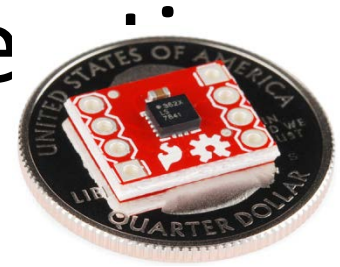
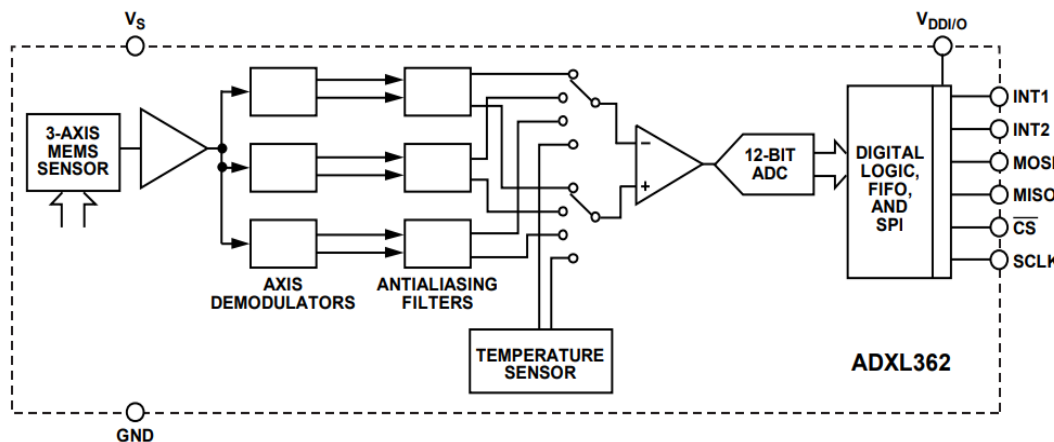
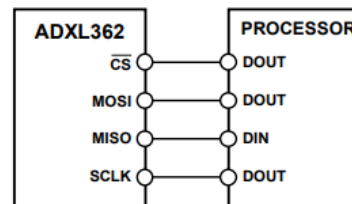
Exemple de senzori de accele

Accelerometru pe 3 axe - ADXL362

- ADXL362 este un sistem MEMS (microelectromecanic) complet de masurare a acceleratiei pe 3 axe care are un consum energetic foarte mic.
- Acesta masoara atat acceleratia dinamica, care rezulta din miscare sau soc, cat si acceleratia statica, cum ar fi inclinarea.
- Comunicarea cu ADXL362 se face prin SPI.

Specificatii:

- 3 axe: ± 2 , ± 4 , ± 8
- Putere ultralow
- Interfata digitala SPI
- Rezolutie : 1 mg / LSB
- Zgomot redus pana la 175 micro g / $\sqrt{\text{Hz}}$
- Tensiune: de la 1.6 V pana la 3.5 V
- Prag reglabil pentru activare la miscare
- Measurement Ranges selectabil prin comanda SPI



- Componenta în mișcare a senzorului este o structură mecanică surfacemică din polisilicon care este construită deasupra unei plăci de siliciu.
- Arcurile din polisilicon suspendă structura pe suprafața napolitane și oferă o rezistență împotriva forțelor de accelerație.
- Devierea structurii se măsoară folosind condensatoare diferențiale care constau din plăci și plăci fixe independente atașate de masa în mișcare.
- Accelerarea deviază structura și dezechilibrează condensatorul diferențial, rezultând un senzor ieșire a cărei amplitudine este proporțională cu accelerația.
- Demodularea de Fază sensibilă determină amplitudinea și polaritatea a accelerației.

- Modul accelerometru triaxial GY-45 MMA8452
 - controlezi orientarea unui obiect sau sa detectezi miscarea acestuia.
 - foloseste chip-ul ADXL345.
 - Este un accelerometru cu 3 axe, de putere joasa, ce suporta masuratori la rezolutie inalta in gama $\pm 16\text{ g}$ (13 biti), fiind potrivit pentru aplicatiile mobile unde este nevoie de detectarea inclinarii.
 - Masoara acceleratia gravitacionala, miscarea sau socul.
 - Are o rezolutie inalta (4 mg / LSB), masurand schimbarile de unghi de inclinare la 0.25 grade.
 - Avand iesire digitala, nu necesita conversie analogica-la-digitala, economisind, astfel, costurile de sistem si spatiul pe placa.

Specificatii: Chip: ADXL345

- Alimentare: 3-5V
- Comunicare: protocol IIC / SPI
- Interval de masurare: $\pm 2\text{g}$ / $\pm 16\text{g}$
- 51, AVR, cod test microcontroller
- 3 axe, $\pm 2\text{g}$ / $\pm 4\text{g}$ / $\pm 8\text{g}$ / $\pm 16\text{g}$
- Modul accelerare digitala



Breakout senzori Adafruit

LSM6DSOX + LIS3MDL



- Placa include un senzor 9-DoF complet cu senzori de la ST, continand doua chip-uri alaturate ce ofera 9 grade de informatie completa.
- LSM6DSOX este un accelerometru IMU 6-DoF si giroscop.
- Accelerometrul cu 3 axe iti arata care directie este in jos, spre Pamant, (masurand gravitatea) sau cat de rapid accelereaza placa in spatiu 3D.
- Giroscopul cu 3 axe masoara rotirea si rasucirea.
- Acest senzor nou de la ST are o rata zero giroscopica foarte joasa comparabil cu MPU6050 sau chiar LSM6D33 si este excelent pentru utilizarea fuziunii de orientare.
- Practic obtii mai putine derive si raspunsuri mai rapide.
- LSM6DSOX are rate de date si intervaluri flexibile.
- Accelerometrul are $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g la o rata de actualizare de la 1.6Hz pana la 6.7Hz.
- Giroscopul are $\pm 125/\pm 250/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000$ dps la 12.5 Hz - 6.7 KHz
- Exista si cateva elemente extra, precum detectarea atingerii, detectarea activitatii, contor de pasi precum si un centru de invatare masina/masina cu stare finita, programabil, care poate executa recunoastere de baza a gesturilor.
- De asemenea, placa include si un magnetometru LIS3MDL cu 3 axe ce poate detecta sursa fortei magnetice si este folosit, in general, pentru detectarea nordului magnetic.
- Cei trei senzori cu 3 axe adauga pana la 9 grade de libertate si, combinand toate datele, poti orienta placa.
- Pentru a simplifica utilizarea, senzorii au fost plasati pe o placa breakout compacta cu stabilizare de tensiune si intrari pentru schimbare de nivel.
- Astfel, ii poti utiliza cu dispozitive de 3V sau 5V putere/logica fara griji.
- Mai mult, a fost expusa numai interfata I2C si cativa pini de intrerupere de la fiecare pin.

Accelerometru analogic ADXL377

- Caracteristici:**

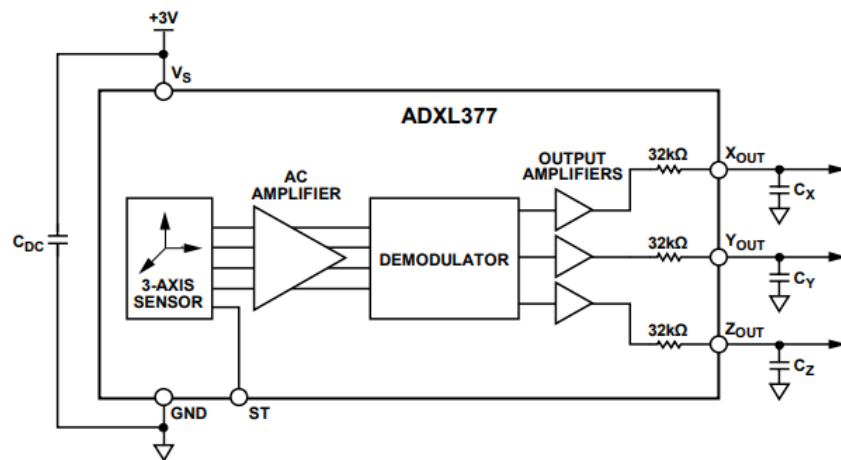
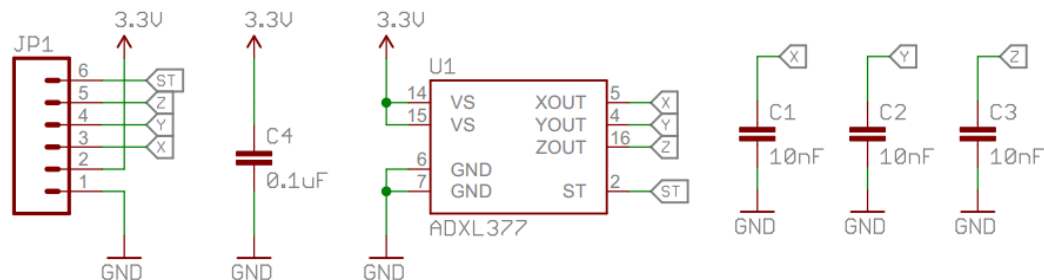
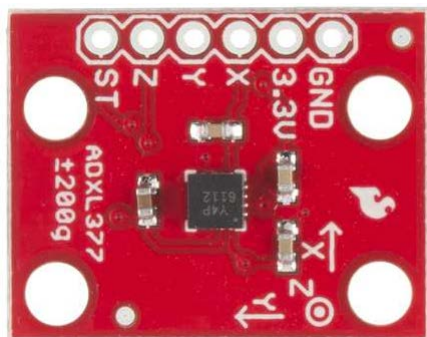
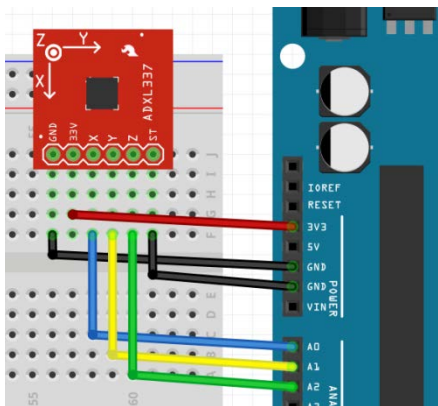
- Tensiune de lucru: 1.8V - 3.6V
- Curent: 300 μ A
- $\pm 200g$
- 3 axe
- Output analogic

Controller la 5V

```
scaledX = mapf(rawX, 0, 675, -scale, scale); // 3.3/5 * 1023  $\approx$  675
```

Controller la 3.3V

```
scaledX = mapf(rawX, 0, 1023, -scale, scale);
```



comutator înclinare cu bila

- este “accelerometrul saracului” sau senzor de inclinare ce poate detecta miscarea sau orientarea.
- Este constituit dintr-un tub metalic ce contine o mica bila metalica ce se învâрте in el, iar cand este in pozitie verticala bila se rostgoleste pe contactele din capat si produce un scurt.
- **Specificatii:**
 - Dimensiuni: 23.0mm x 5.0mm x 5.0mm
 - Greutate: 1g



Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 7 – Senzori de presiune

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

7.1. Introducere

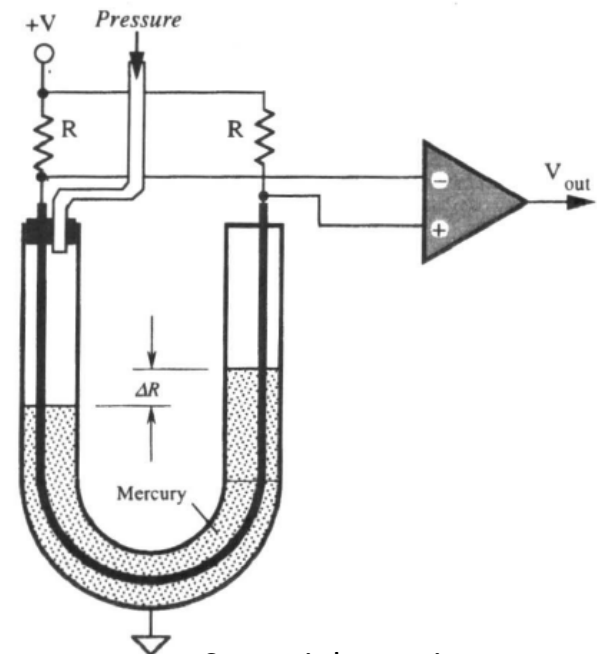
- În termeni generali corpurile se impart în solide sau fluide (lichide și gaze).
- Nu există o distincție clară între lichide și gaze – variind presiunea, un corp poate trece din starea lichidă în starea gazoasă sau viceversa.
- Presiunea se poate aplica asupra unui lichid doar pe o direcție perpendiculară pe suprafața de separație.
- Pentru un lichid în repaus, presiunea poate fi definită ca forța F aplicată perpendicular pe unitatea de arie a suprafeței de separație A
- $p = \frac{dF}{dA}$
- Presiunea este de asemenea dependentă de altitudine, variația acesteia fiind dată de ecuația:
- $dp = -w \cdot dh$
- unde
 - w este greutatea specifică a mediului iar
 - dh este variația de altitudine.
- Presiunea nu depinde de forma suprafeței de separație dintre medii, astfel că se pot construi senzori de presiune fără să se ia în considerație forma și mărimea lor.
- Presiunea aplicată într-un punct al lichidului se va propaga în toată masa lichidului fără nici o pierdere de energie.

- Unitatea de măsură a presiunii este pascalul: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.
- În aplicațiile tehnice presiunea este dată în atmosfere, o atmosferă reprezentând presiunea exercitată de o coloană de apă de un metru la temperatura de 4°C pe o suprafață de un centimetru pătrat.
- În estimările practice o coloană de $0,1 \text{ mm H}_2\text{O}$ este egală cu 1 Pa .
- În industrie o altă unitate de măsură des întâlnită este torrul și reprezintă presiunea exercitată de 1 mm coloană de Hg la 0°C la presiune atmosferică normală și accelerație gravitațională normală.
- Presiunea atmosferică ideală a Pământului este 760 torri și se numește presiune atmosferică fizică.
- $1 \text{ atm} = 760 \text{ torr} = 101325 \text{ Pa}$
- Presiunea poate fi,
 - **absolută** atunci când se măsoară în raport cu vidul absolut,
 - **relativă** sau **efectivă** dacă măsurarea se face ca o diferență față de presiunea atmosferică și
 - **diferențială** atunci când măsurarea se face în raport cu o presiune considerată de referință.
- Principiul de operare a unui senzor de presiune se bazează pe conversia în semnal electric a mărimii rezultate în urma exercitării unei presiuni, care în general este o deplasare.

7.2. Senzori de presiune cu mercur

- Este un senzor simplu și eficient și este bazat pe principiul vaselor comunicante (figura).
- Inițial au fost folosiți ca senzori de presiune a gazelor.
- Un conductor în formă de U este imersat în mercur ce-i va micșora rezistența electrică în funcție de înălțimea coloanei de mercur din fiecare ramură.
- Practic mercurul din fiecare ramură se va comporta ca o rezistență legată în paralel cu rezistența conductorului imersat.
- Rezistorii sunt conectați într-o punte Wheatstone ce va fi în echilibru atunci când diferența de presiune este zero.
- Presiunea se aplică pe o ramură a tubului și diferența de nivel va determina un semnal de ieșire proporțional.
- Cu cât presiunea gazului este mai mare cu atât rezistența corespunzătoare ramurii este mai mare și rezistența ramurii opuse este mai mică.
- Semnalul de ieșire va fi proporțional cu rezistența electrică a porțiunii rezultate ca diferență de nivel între cele două ramuri ΔR .

$$V_{out} = V \frac{\Delta R}{R} = V \beta \Delta p.$$



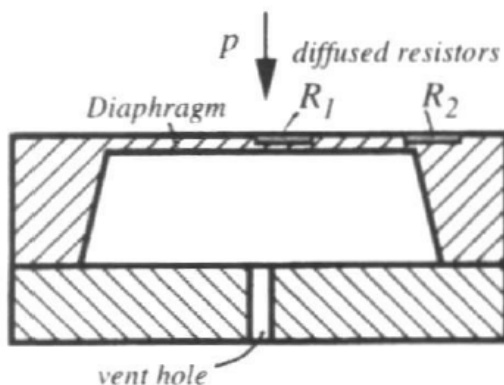
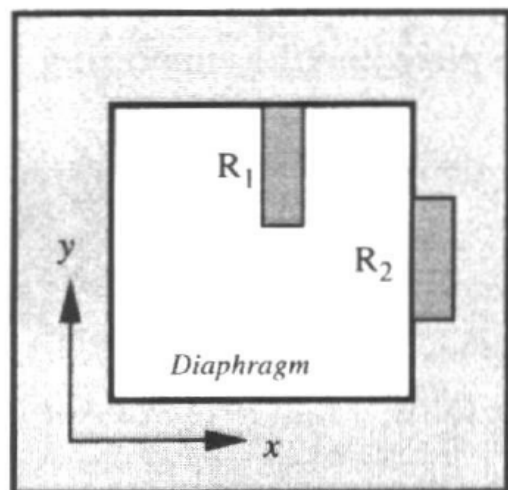
Senzori de presiune cu mercur bazat pe principiul vaselor comunicante

7.2. Senzori de presiune piezorezistivi

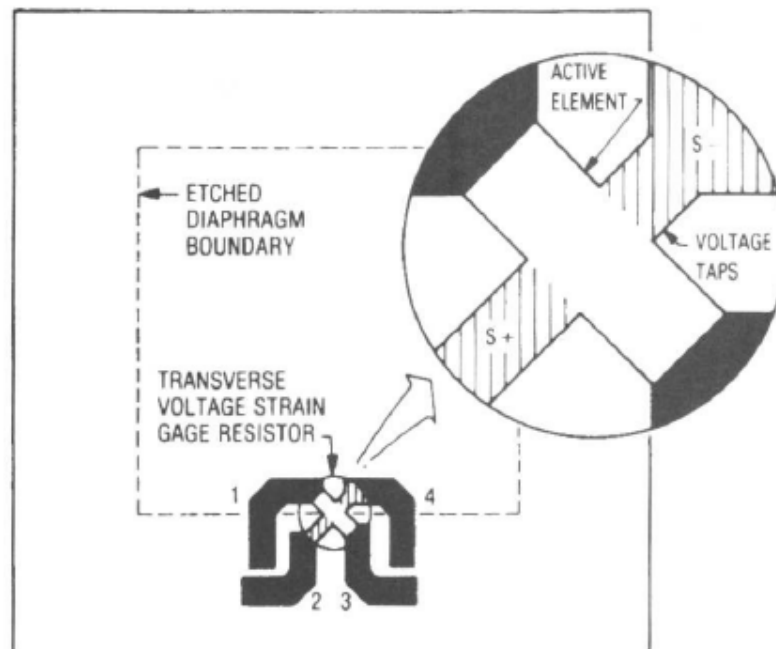
- Un senzor de presiune este compus din două elemente esențiale:
 - o membrană de arie A cunoscută și,
 - un detector ce răspunde la forța aplicată F .
- Ambele componente pot fi fabricate din siliciu.
- Membrana din siliciu este alcătuită dintr-o diafragmă subțire de siliciu - diafragma va avea rolul de membrană elastică - și un rezistor piezorezistiv – rezistorul este format din impuritățile difuzate în diafragmă.
- Caracteristicile elastice speciale ale cristalului de cuarț (histerezisul este neglijabil, nu se produc defecte de rețea) fac ca factorul de sensibilitate la tensiuni, deformări, să fie foarte ridicat.
- De obicei acești rezistori se conectează în punte Wheatstone și vor genera un semnal de ordinul sutelor de milivolți.
- Mărimea semnalului de ieșire și faptul ca rezistorii sunt puternic dependenți de temperatură impune folosirea circuitelor de condiționare a semnalelor.
- Variația relativă a rezistenței electrice a unui rezistor piezorezistiv este direct proporțională cu:
 - tensiunile (deformația) transversală și cea longitudinală din materialul rezistorului σ_t respectiv σ_l apărute ca rezultat al aplicării unei forțe exterioare, și cu
 - coeficienții piezorezistivi longitudinali și transversali π_l respectiv π_t , deci va depinde de orientarea rezistorilor piezoelectrice față de axele cristalului de siliciu:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_t \sigma_t + \pi_l \sigma_l$$

- Există mai multe metode de fabricare a senzorilor de presiune din siliciu.
- În una dintre ele pe un substrat de siliciu de tip n se aplică ioni de bor în concentrație de $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-1}$ ce vor forma un rezistor piezoelectric R_1 paralel și R_2 perpendicular pe axa diafragmei figura
- O altă modalitate este cea folosită de compania Motorola în realizarea senzorului integrat Motorola MPX



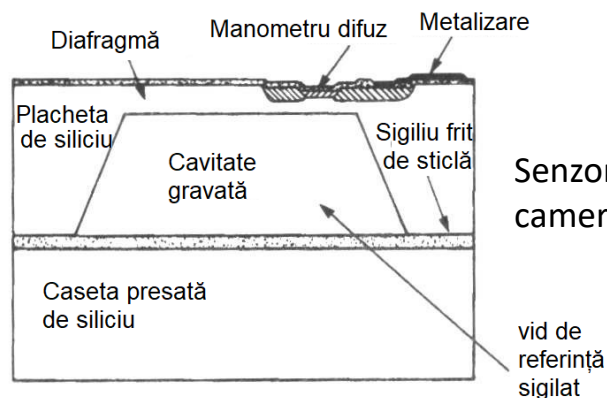
Arhitectura unui senzor de presiune piezorezistiv



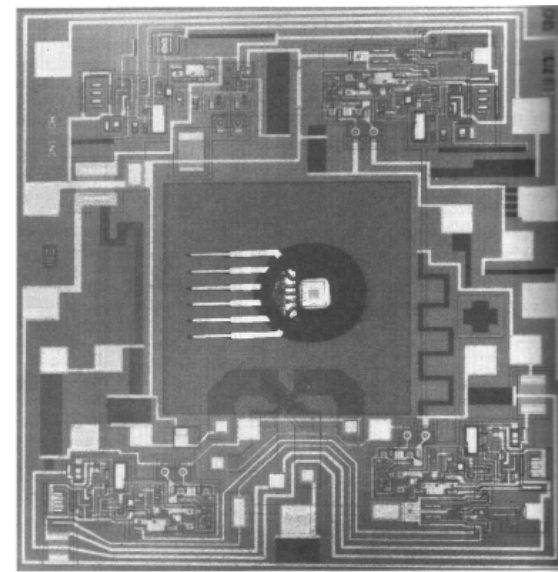
- PIN #
1. GROUND
 2. POSITIVE OUTPUT
 3. SUPPLY
 4. NEGATIVE OUTPUT

Senzorului integrat Motorola MPX

- Elementul piezorezistiv este dat de ionii implantați în diafragma din siliciu.
- Se aplică un curent de excitare pe terminalele 1 și 3, iar presiunea se va exercita pe o direcție perpendiculară pe direcția de aplicare a curentului de excitare.
- Deformația din material va genera o tensiune electrică sesizabilă pe terminalele 2 și 4.
- De asemenea în senzorul integrat sunt incorporate și componente de calibrare, compensare a temperaturii, de condiționare a semnalului și de interfațare,
- Senzorii de presiune sunt în general în trei configurații de bază ce permit măsurarea presiunilor absolute, relative sau diferențiale.
- Presiunea absolută, ca în cazul barometrelor, este măsurată în raport cu presiunea dintr-o cameră vidată.
- Această cameră vidată poate fi una exterioară senzorului sau incorporată în senzor



Senzor de presiune cu cameră vidată incorporată

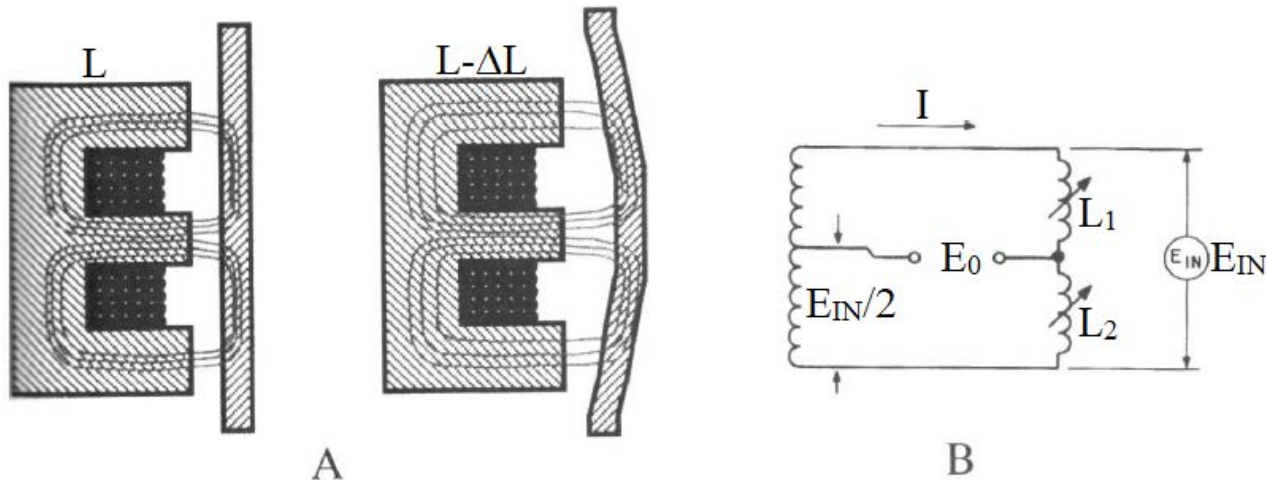


Senzor de presiune integrat

- Presiunea diferențială, cum ar fi presiunea stabilită într-un debitmetru cu presiune diferențială, este măsurată prin aplicarea presiunii pe ambele fețe ale diafragmei în mod simultan.
- Presiunea ce determina deformarea materialului este măsurată în raport cu presiunea de referință.
- Toți senzorii bazați pe siliciu sunt dependenți de temperatură.
- O modalitate simplă și eficientă de compensare este legarea în serie sau în paralel cu senzorul a unei rezistențe electrice termostabile de o anumită valoare.
- O alternativă viabilă o reprezintă și compensarea prin software.
- În acest caz temperatura de compensat a traductorului trebuie măsurată cu un senzor de temperatură.

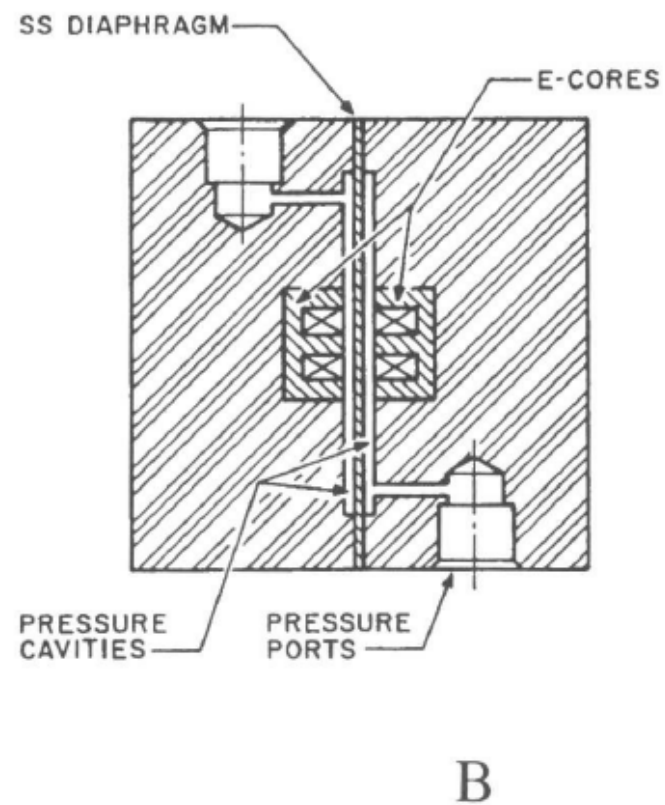
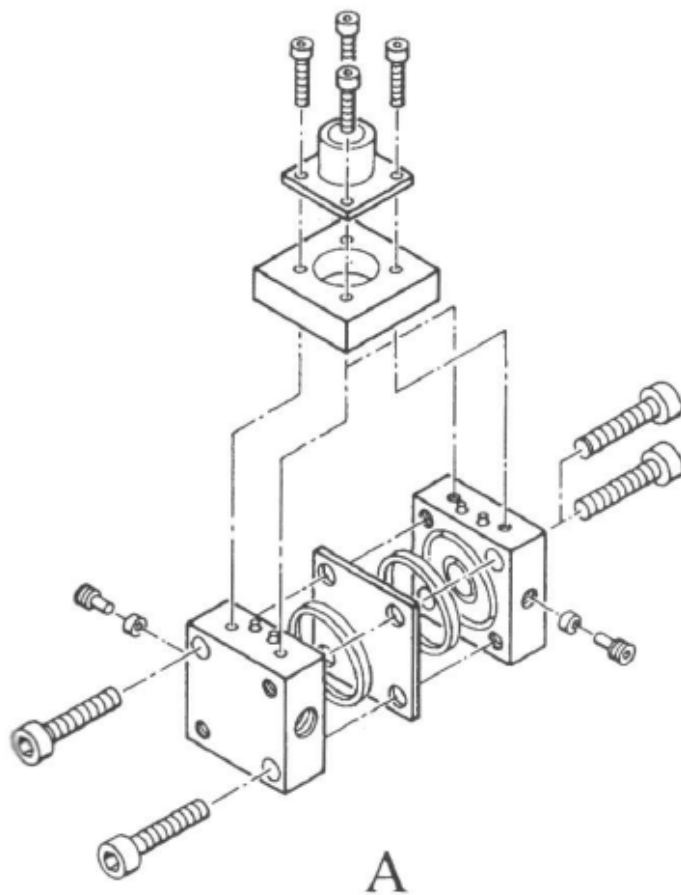
7.4. Senzori VRP

- O soluție privind măsurarea presiunilor de valoare foarte mică o reprezintă senzorii magnetici.
- Un senzor de presiune cu reluctanță variabilă VRP (variable reluctance pressure) folosește o diafragmă conductiv magnetică pentru a modifica rezistența magnetică a unui transformator diferențial.
- Principiul de funcționare este similar cu cel al senzorilor magnetici de proximitate.
- Figura ilustrează ideea de bază în modularea fluxului magnetic.



A - Principiul de funcționare a unui senzor VRP,
B - Circuitul echivalent al unui senzor VRP

- Ansamblul format dintr-o structură în formă de E și o bobină, produce un flux magnetic a căror linii de câmp vor trece prin structură, aerul dintre structură și diafragmă.
- Deoarece rezistența magnetică a aerului este de 1000 de ori mai mare decât a structurii în formă de E sau a bobinei, inductanța ansamblului va fi determinată de distanța dintre diafragmă și structura în formă de E.
- Când diafragma își va schimba forma sau poziția, spațiul cu aer va crește sau va scădea în funcție de direcția de deflexie, se va modifica distanța parcursă de liniile de câmpul magnetic și implicit inductanța ansamblului.
- La fabricarea senzorilor VPR, diafragma permeabil magnetică va fi introdusă între două structuri identice formate din ansamblul: structură în formă de E – bobină formându-se în acest mod câte o cavitate de presiune pe ambele fețe ale diafragmei figura următoare.
- Cu cât diafragma este mai subțire cu atât domeniul de măsură este mai mare, dar nu va trece de 25 – 30 μm .



Arhitectura unui senzor VRP

BMP280 – Sensor digital de presiune Bosh

- BME280 este senzorul de ultima generație de la Bosch, cu un zgomot de altitudine joasa de 0.25m si acelasi timp de conversie ca modelele anterioare.
- Are aceleași specificații însa poate utiliza I2C ori SPI.
- Pentru conectare ușoara, se merge pe I2C.
- Daca se doreste conectarea mai multor senzori fara grija coliziunilor de adresa I2C, se merge pe SPI.
- Specificații tehnice:
 - Interfata digitala I2C (pana la 3.4 MHz) si SPI (3 si 4 fire, pana la 10 MHz)
 - Interval tensiune alimentare VDD principala: 1.71 V - 3.6 V
 - Interval tensiune interfața VDDIO: 1.2 V - 3.6 V
 - Consum curent:
 - 1.8 uA @ 1 Hz umiditate si temperatura;
 - 2.8 uA @ 1 Hz presiune si temperatura;
 - 3.6 uA @ 1 Hz umiditate, presiune si temperatura;
 - 0.1 uA in modul sleep
 - Interval de operare d -40...+85 C, 0...100 % umiditate relativa, 300...1100 hPa.
 - Senzorul de umiditate si senzorul de presiune pot fi activati/dezactivati independent.
 - Mod de operare:
 - repaus
 - Normal
 - forced
- În modul de repaus, nu se efectuează măsurători. Modul normal cuprinde un ciclu perpetuu automat între o perioadă de măsurare activă și o perioadă de așteptare inactivă. În modul forțat, se efectuează o singură măsurare. Când măsurarea este terminată, senzorul revine în modul de repaus.



- Aplicații uzuale:
 - Îmbunătățirea navigării GPS (de exemplu, îmbunătățirea timpului pentru prima remediere, calculul mort, detectarea pantei)
 - Navigație interioară (detectare podea, detectare ascensor)
 - Navigație în aer liber, aplicații de agrement și sport
 - Prognoza meteo
 - Aplicații pentru îngrijirea sănătății (de exemplu, spirometrie)
 - Indicarea vitezei verticale (de exemplu, viteza de creștere / scufundare)
- Dispozitive uzuale:
 - Receptoare precum telefoane mobile, tablete PC, dispozitive GPS
 - Sisteme de navigație
 - Dispozitive portabile de îngrijire a sănătății
 - Stații meteo de acasă
 - Jucării zburătoare
 - Ceasuri

- Typical value at $V_{DD} = V_{DDIO} = 1.8\text{ V}$, maximal value at $V_{DD} = V_{DDIO} = 3.6\text{ V}$.
- 2 Typical value at $V_{DD} = V_{DDIO} = 1.8\text{ V}$, maximal value at $V_{DD} = V_{DDIO} = 3.6\text{ V}$.
- BMP280 constă dintr-un element de detectare a presiunii piezo-rezistive și un ASIC (circuit integrat special) cu semnal mixt.
- ASIC efectuează conversii A / D și oferă rezultatele conversiei și senzorul specific date de compensare printr-o interfață digitală.
- BMP280 oferă cea mai mare flexibilitate proiectantului și poate fi adaptat cerințelor în ceea ce privește precizia, timpul de măsurare și consumul de energie prin selectarea dintre cele mai mari numărul de combinații posibile ale setărilor senzorului.
- BMP280 este echipat cu un filtru IIR încorporat pentru a reduce la minimum perturbările pe termen scurt ale datelor de ieșire cauzate de trântirea unei uși sau a unei ferestre.
- Coeficientul filtrului variază de la 0 (oprit) la 16.

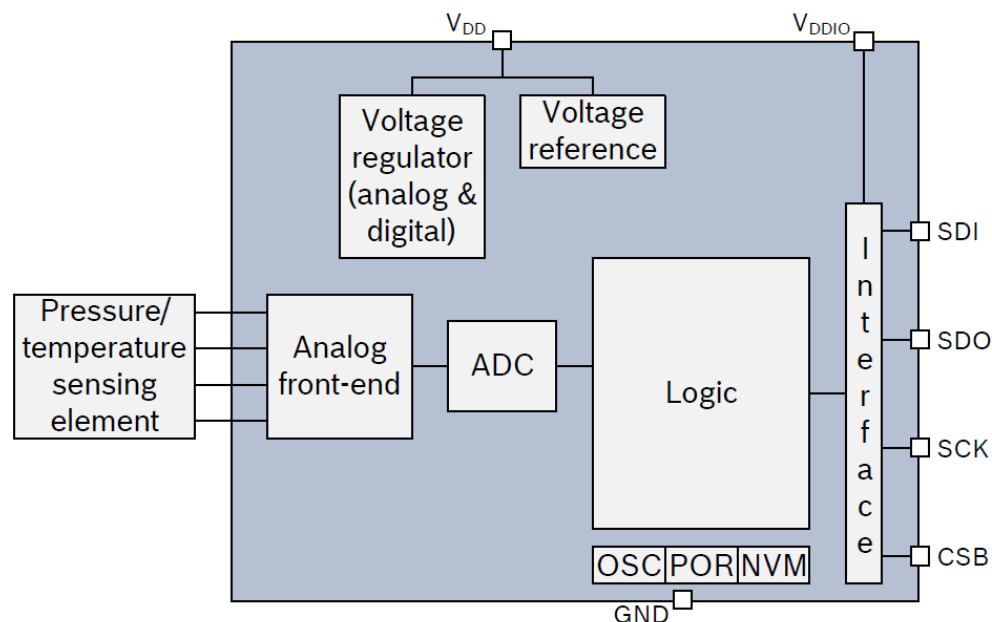
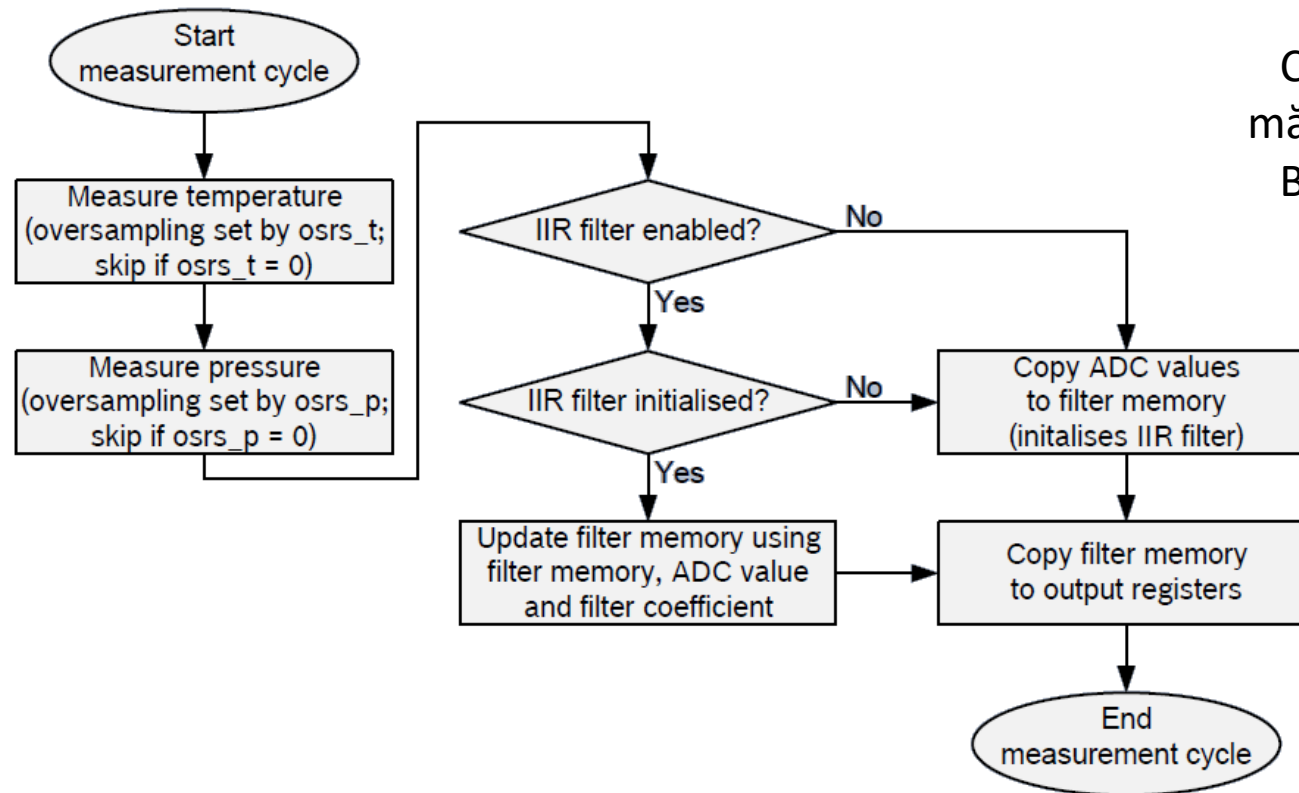


Diagrama block simplificată pentru BMP280

- BMP280 are doi pini de alimentare separate
 - VDD este principala sursă de alimentare pentru toate blocurile funcționale analogice și digitale interne
 - VDDIO este un pin de alimentare separat, utilizat pentru alimentarea interfeței digitale (I2C / SPI)
- Avertizare. Menținerea oricărui pin de interfață (SDI, SDO, SCK sau CSB) la un nivel logic ridicat atunci când VDDIO este oprit poate deteriora permanent dispozitivul cauzat de fluxul excesiv de curent prin diodele de protecție ESD.



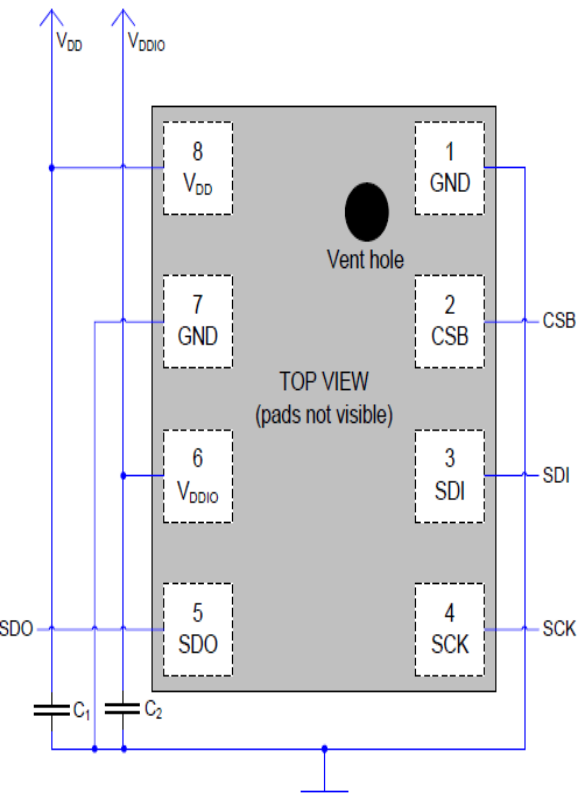
Ciclul de
măsurare al
BMP280

- Filtrul IIR
 - Presiunea mediului este supusă multor schimbări pe termen scurt, cauzate de ex. prin trântire a unei uși sau a unei ferestre sau prin vânt suflând în senzor.
 - Pentru a suprima aceste perturbații în datele de ieșire fără a provoca trafic suplimentar de interfață și sarcină de lucru a procesorului, BMP280 are un filtru IIR intern.
 - Reduce în mod eficient lățimea de bandă a semnalelor de ieșire.
 - Ieșirea următoarei etape de măsurare este filtrată utilizând următoarea formulă:

$$data_filtered = \frac{data_filtered_old \cdot (filter_coefficient - 1) + data_ADC}{filter_coefficient}$$

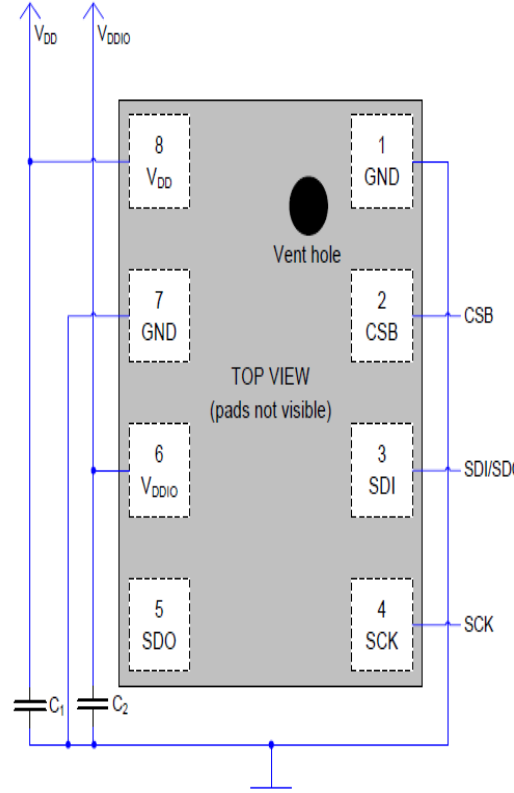
unde ***data_filtered_old*** sunt datele provenite de la achiziția anterioară, iar ***data_ADC*** este data provenite de la ADC înainte de filtrarea IIR.

Diagramme de connexion



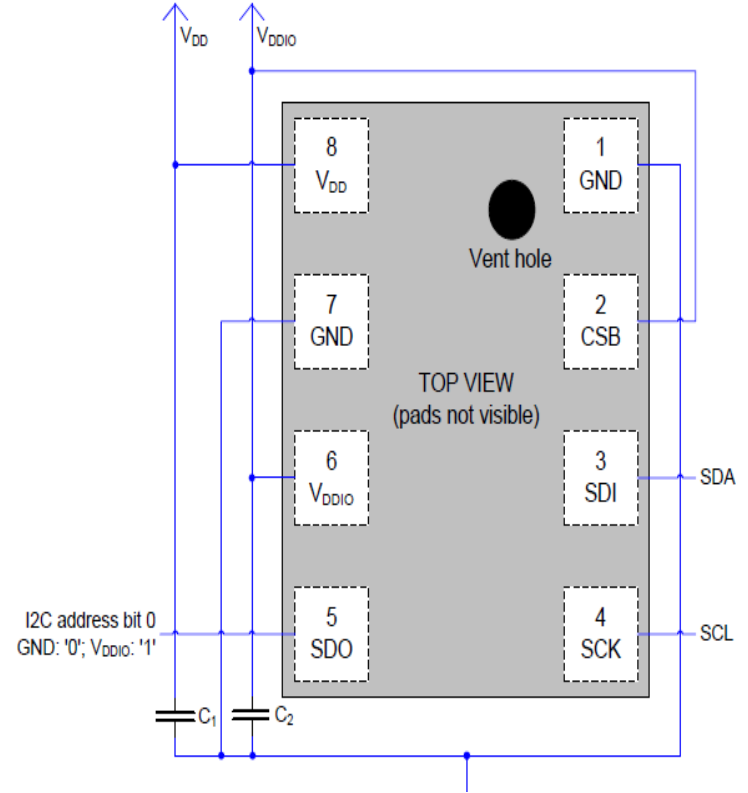
Connection diagram 4-wire SPI

C_1, C_2 is 100 nF.



Connection diagram 3-wire SPI

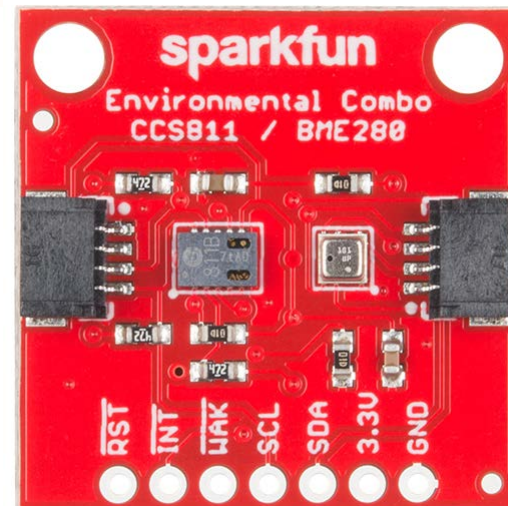
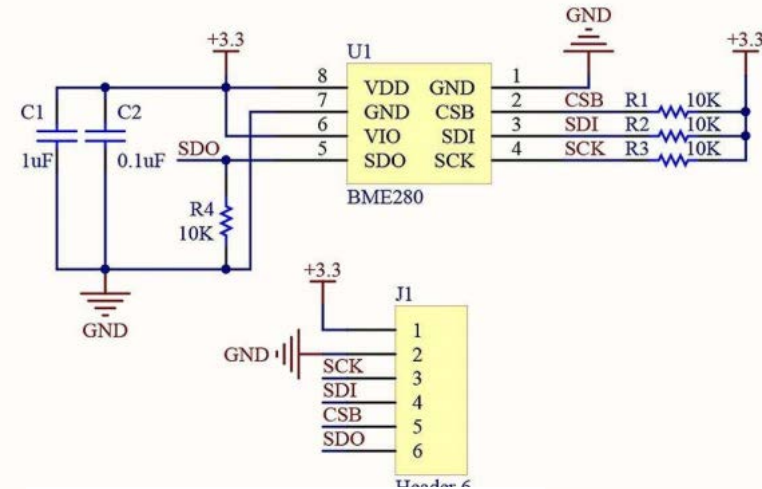
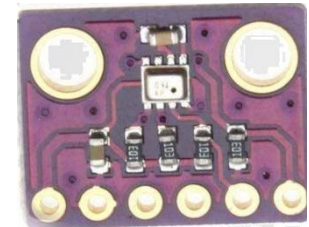
C_1, C_2 is 100 nF.



Connection diagram I2C

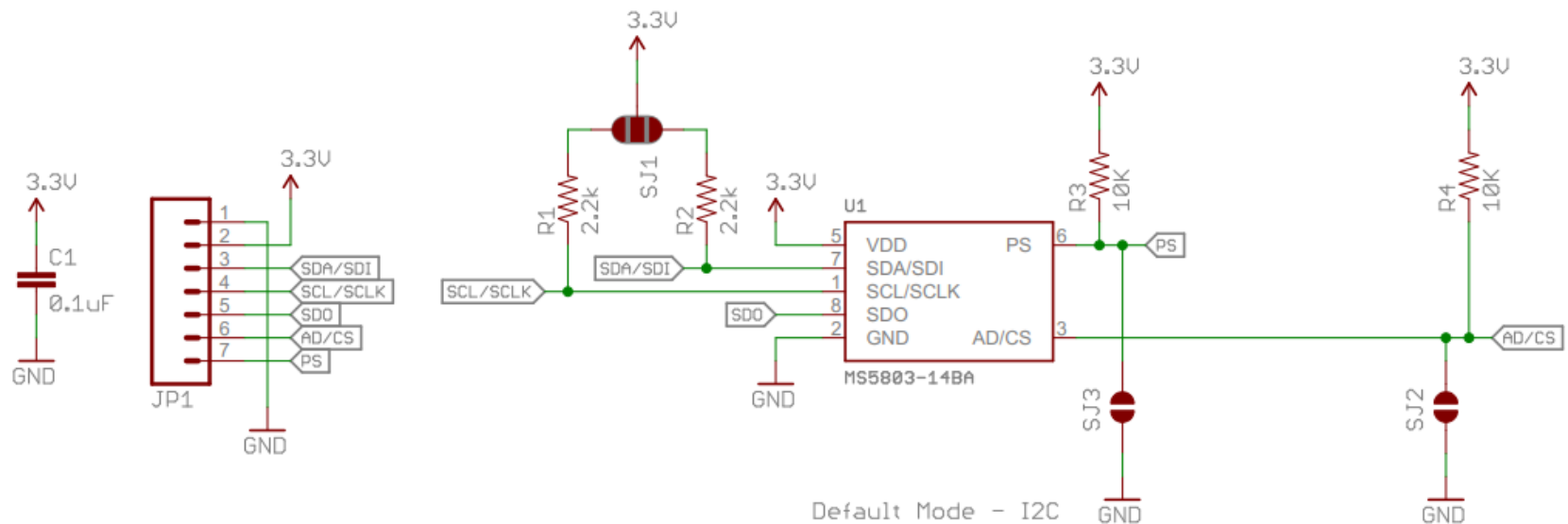
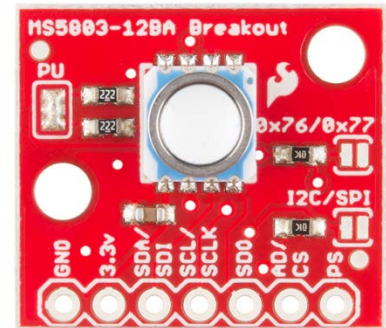
C_1, C_2 is 100 nF.

- Variante comerciale:
 - Modul senzor presiune atmosferica/altimetru ME-BME280
 - Senzor pentru masurarea calitatii aerului (CO2,TCOV, temperatura, presiune, umiditate) Qwiic - CCS811 + BME280 – Sparkfun
 - Modul senzor presiune atmosferica/altimetru BMP280



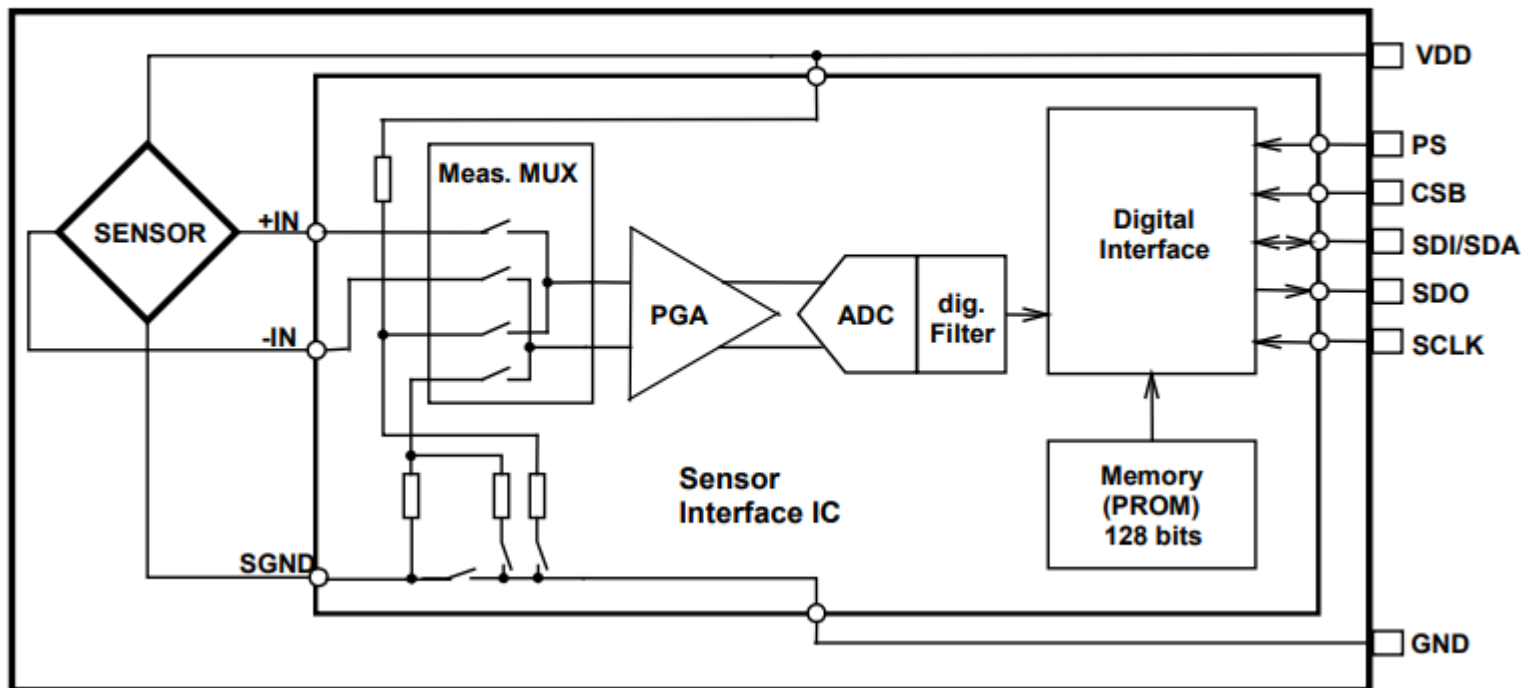
Senzor de presiune MS5803-14BA

- Senzorul poate masura presiunea absoluta a fluidului (aer, apa sau orice se comporta ca un fluid vascos)
- **Caracteristici:**
 - Tensiune de operare - 1.8 la 3,6 V
 - Curent - 1,4 mA
 - 0-14 bar
 - Rezolutie - 1 / 0,6 / 0,4 / 0,3 / 0,2 mbar
 - I2C si SPI
 - Gel protejate

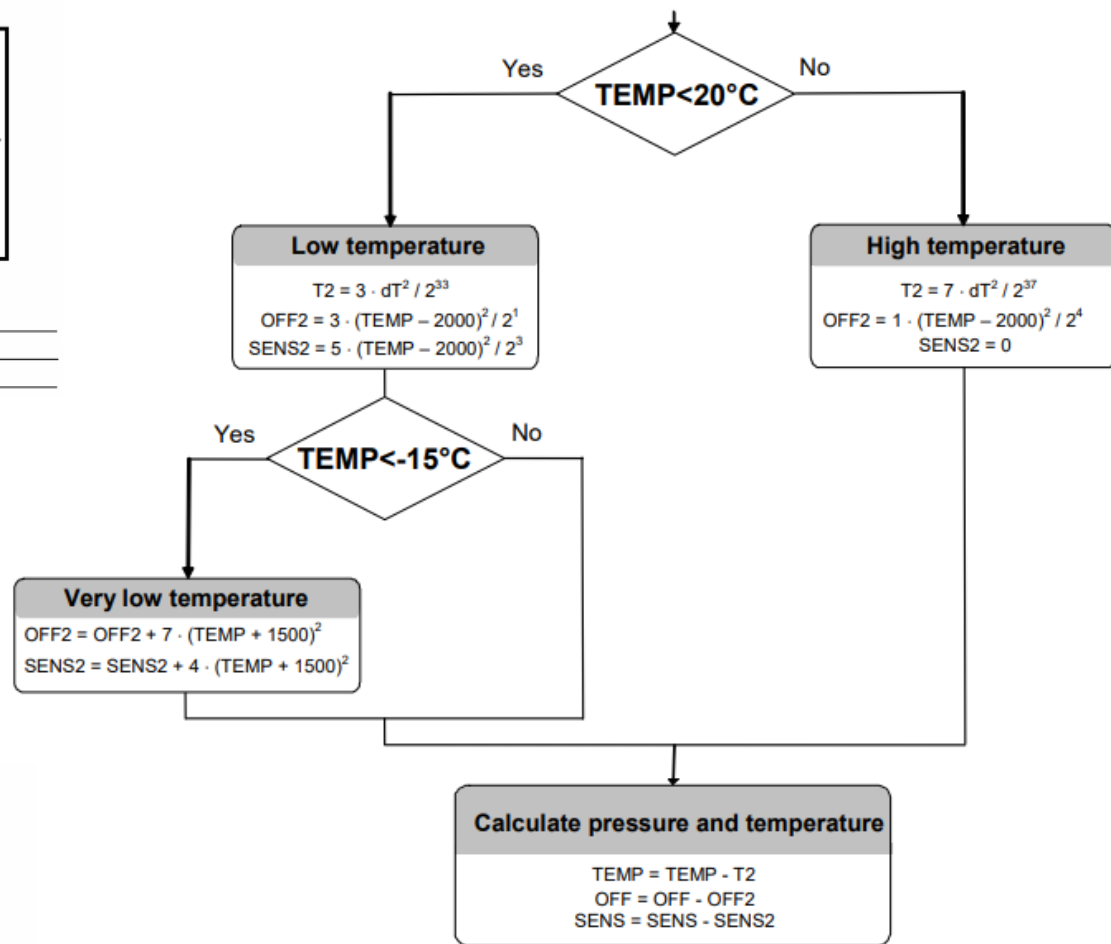
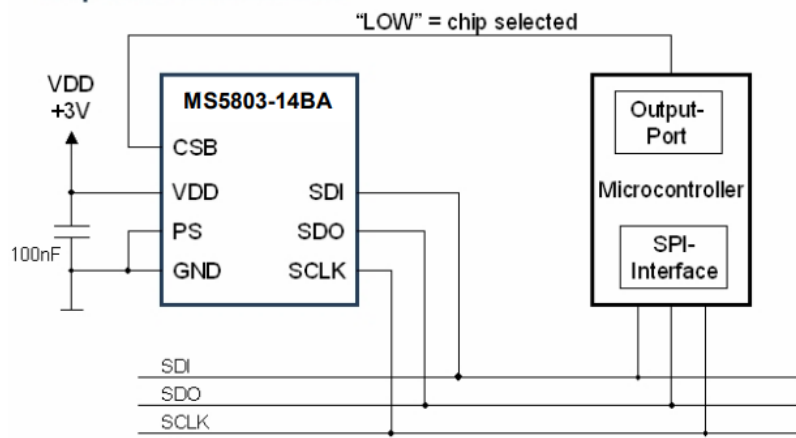


Mode I2C: Default address 0x76.

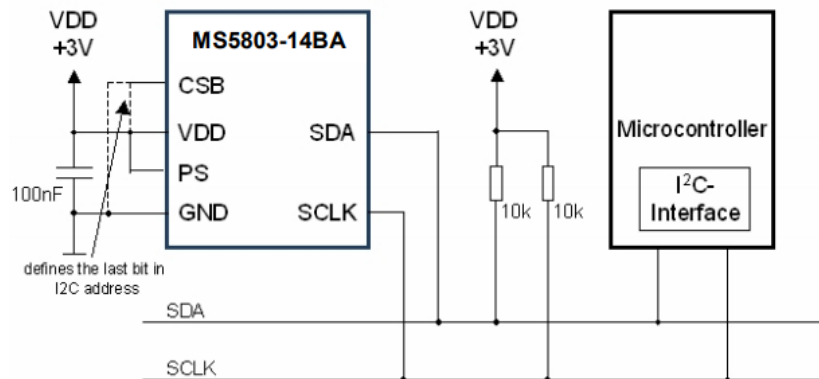
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



SPI protocol communication



I²C protocol communication

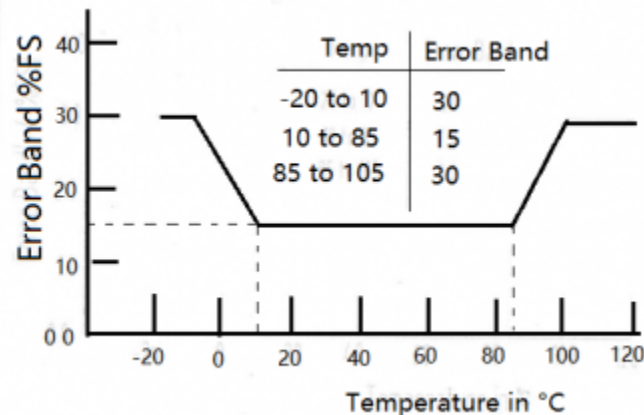
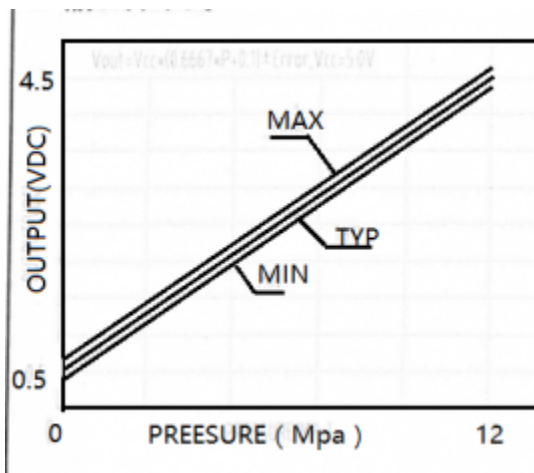


Compensarea cu temperatura

Senzor presiune apa G1/4 1.2MPa

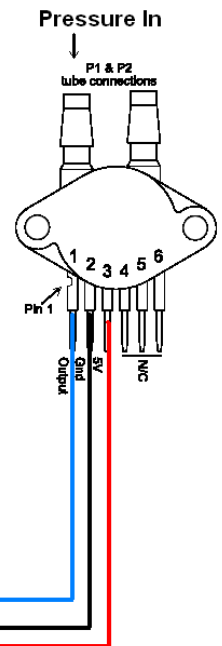
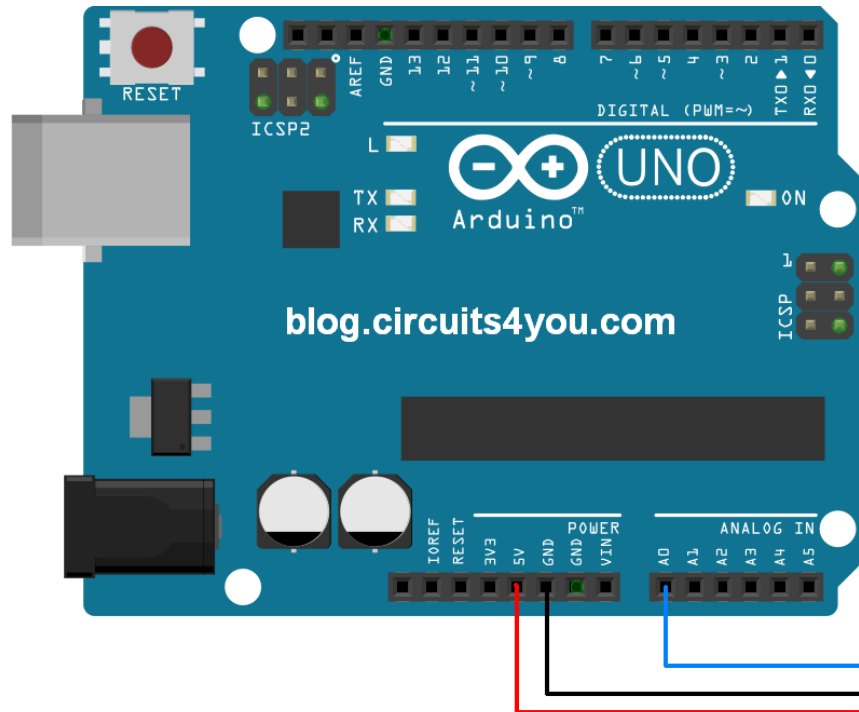
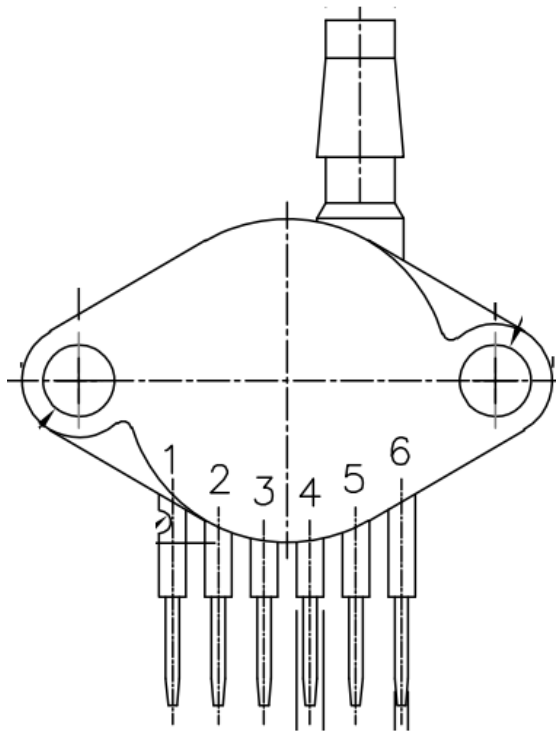
- **Specificatii**

- Senzor Hall
- Curent de lucru: $\leq 10\text{mA}$ (DC 5V)
- Tensiune de lucru: DC 0.5 ~ 4.5V
- Presiunii de lucru: 0 ~ 1.2Mpa
- Max. Presiune: 2,4 MPa
- Presiune distructiva: 3,0 MPa
- Temperatura de lucru: $-20\sim+105\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de depozitare: $-20\sim+105\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Precizia măsurării: $\pm 1,5\%$ FS
- Timp de raspuns: $\leq 2,0\text{ms}$
- IP65



Senzor de presiune diferențial MPX5010DP

- MPX5010DP este un senzor de presiune integrat, cu doua porturi si 6 pini SIP.
- Traductorul piezorezistiv este un senzor de presiune monolitic, din silicon, creat pentru o gama larga de aplicații si ideal pentru sistemele bazate pe microprocesor ori microcontroler.
- Traductorul combină tehnici de microprelucrare avansate, metalizarea filmului subțire si procesarea bipolară pentru a oferi un semnal de ieșire analogic de înalta precizie, proporțional cu presiunea aplicata.
- Portul axial a fost modificat ca sa adapteze tuburi de nivel industrial.
- **Specificații:**
 - Semnal integrat condiționat, calibrat, de compensare termica
 - Configurație diferențială
 - 5.0% eroare maxima de la 0°C la 85°C
 - Construcție durabilă din epoxi
 - Compensare termica peste -40°C la 125°C
 - Construcție patentată din silicon, rezistentă la deformare, solicitare si forfecare
 - Gama de presiune de la 0 KPa la 10 KPa
 - Tensiune de alimentare între 4.75VDC si 5.25VDC
 - Sensitivitate de 450 mV/mm
 - Timp de raspuns de 1ms
 - Aplicații:
 - Senzori si instrumentare, electronice de consum, dispozitive portabile, automatizare si controlul proceselor, **domeniul medical**



<https://www.instructables.com/How-to-Read-MPX5010-Differential-Pressure-Sensor-W/>

Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 8 – Senzori tactili

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

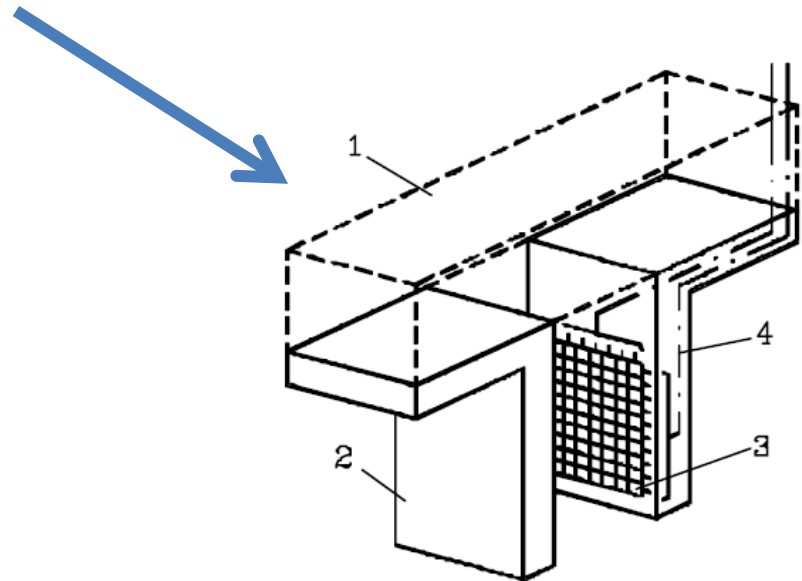
Intro

- Senzorii tactili imită posibilitățile senzitive ale mâinii umane, într-o activitate din mediul înconjurător.
- Senzorii tactili sunt localizați la nivelul efectorului robotului industrial.
- Sensitivitatea mâinii umane :
 - “pulpa” degetului - sensibilitatea este de 2mg/mm^2
 - suprafața dorsală a degetelor – sensibilitatea = 15 mg/mm^2
 - mâna stângă a unui virtuos al viorii:
 - efectuează 580 atingeri ale coardelor / minut
 - 1180 de nivele de atingere între 1N și 5N
- Problemele rezolvate cu ajutorul senzorilor tactili :
 - determinarea existenței contactului efector piesa prehensată;
 - determinarea coordonatelor și suprafeței de contact;
 - măsurarea forței de prehensare;
 - înregistrarea distribuției efortului pe bacul efectorului;
 - determinarea orientării piesei prehensate;
 - determinarea alunecării piesei între bacurile DP
 - determinarea proprietăților mecanice a pieselor prehensate

Clasificare:

- După parametrul măsurat în urma contactului piesă – bacul efectorului:
 - senzori de contact (existență),
 - senzori (cantitativi) pentru determinarea presiunii de contact și
 - senzori de alunecare.
- senzorii tactili sunt clasificați în trei categorii:
 - pentru determinarea forței de alunecare F_t ;
 - pentru determinarea momentului de torsiune M_t ;
 - pentru determinarea forței normale.
- Pentru a fi eficace, senzorii tactili trebuie să posede următoarele caracteristici [5.2]:
 - asigurarea unei rezoluții spațiale de minimum 2 mm;
 - asigurarea unei informații stabile;
 - să fie adaptabili și robuști;
 - să fie adaptabili la o suprafață oarecare;
 - să prezinte liniaritate medie;
 - să prezinte histereză redusă.

- Modul de realizare practică a acestor senzori este să fie sub o formă individuală, fie sub o formă matricială.
- Capacitatea informațională cea mai mare o au senzorii matriciali
- Informația poate fi obținută:
 - printr-un ansamblu de celule elementare dispuse în matrice;
 - printr-o linie informațională analizată secvențial;
 - printr-o tehnică ce livrează informațiile simultan.
- Senzori ***pentru prezența piesei*** :
- **Locul matricii senzoriale:**
 - 1 – efector;
 - 2 – bac;
 - 3 – matrice senzorială;
 - 4 – cale de informație



- Senzorii utilizați pentru **determinarea formei pieselor**
 - Acești senzori de “formă” trebuie să aibă o sensibilitate ridicată, influențată de dimensiunea elementului sensibil și parametrul “u” ce determină rezoluția a sensorului $1/u$.
 - Considerând un obiect de arie “A” pentru care s-a obținut o imagine $I = I_0 + I_1$, eroarea procentuală de acoperire este

$$\varepsilon = \frac{I_i + I_0 - A}{A} \cdot 100 \quad [\%]$$

- Variația erorii procentuale funcție de aria relativă a elementului senzorial (ARS %) este prezentată în figura 5.5. Se remarcă astfel că optimul este atins pentru ARS % = 50 %.

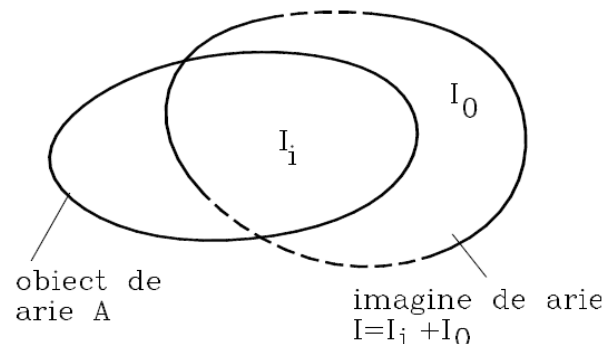
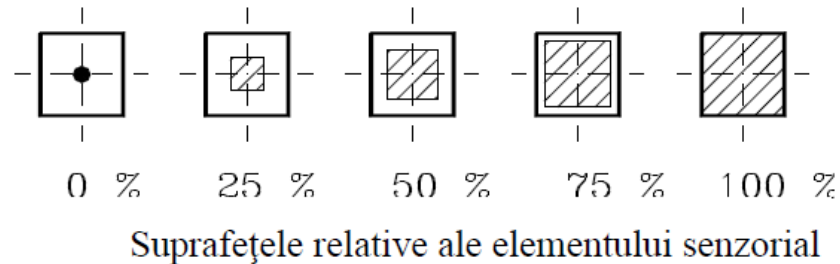
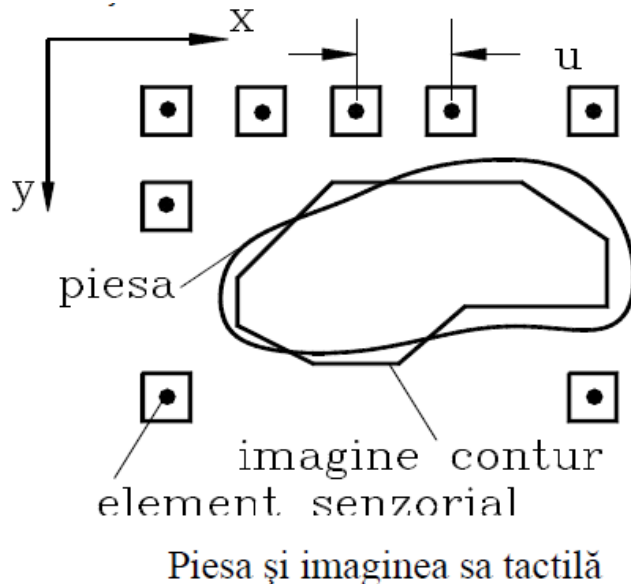


Fig.5.4 Calculul erorii de acoperire

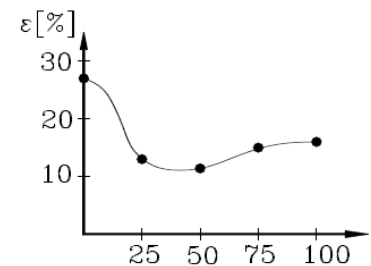


Fig.5.5 Eroarea procentuală de acoperire

Senzori tactili magnetoelastici

- Senzorii tactili magnetoelastici se bazează în principal pe determinarea unei forțe pornind de la fenomenul magnetoelastic.
- Se înțelege prin fenomenul *magnetoelastic* influența deformațiilor elastice a unui element sensibil feromagnetic asupra magnetizării acestuia.
- Principiul de funcționare a senzorului magnetoelastic este prezentat în figura 5.6.
- Dacă se aplică înfășurării primare o tensiune alternativă " u_1 ", în miezul feromagnetic fără sollicitare mecanică (fig.5.6a) liniile de câmp sunt circulare fără să străpungă planul înfășurării secundare astfel că " u_2 " = 0 .
- Dacă asupra miezului feromagnetic acționează forța F , liniile de câmp suferă o distorsionare (fig.5.6b) străbătând planul înfășurării secundare astfel că " u_2 " $\neq$ 0.

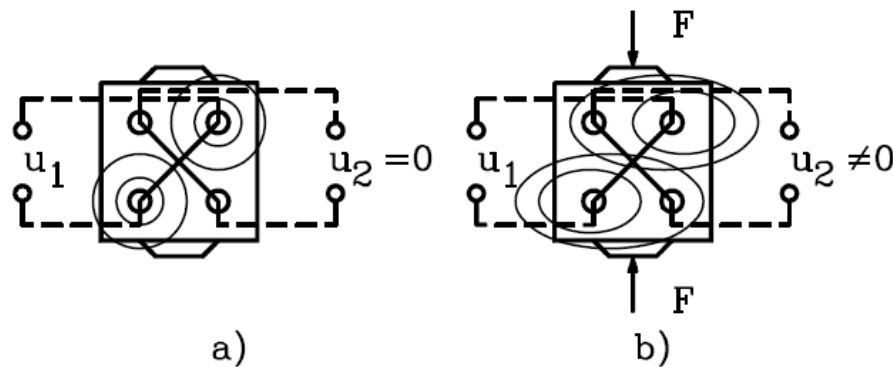


Fig.5.6 Principiul de funcționare al senzorului magnetoelastic

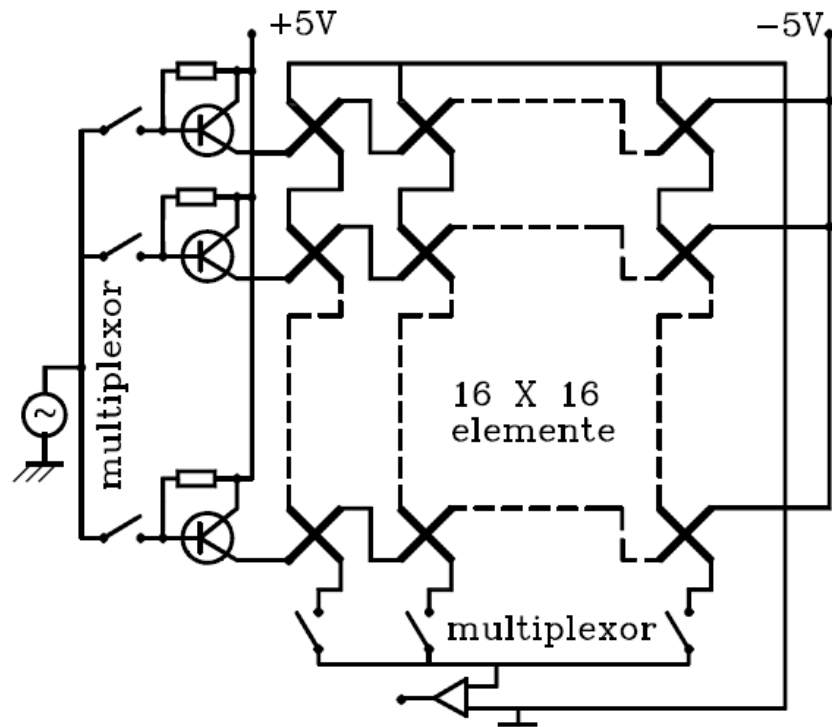


Fig.5.7 Schema electrică de principiu a matricii senzoriale

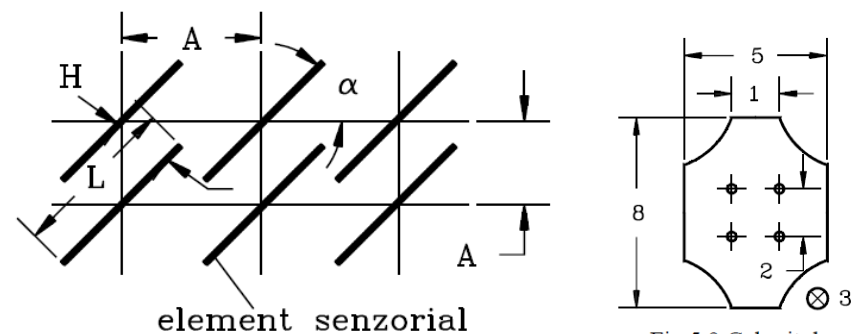


Fig.5.8 Aranjarea traductoarelor în matricea senzorială

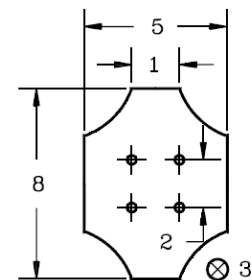


Fig.5.9 Gabaritul elementului sensibil

- A - distanța între centrele a două elemente senzoriale;
- L - lățimea unui element senzorial;
- H - distanța pe verticală între centrele a două elemente senzoriale;
- α - unghiul de înclinare a elementului senzorial

- Rezoluția matricii senzoriale este determinată de unghiul α .
- Pentru modelul realizat unghiul este $\alpha = 45^\circ$.
- Încercările experimentale au condus la concluzia că înfășurarea primară trebuie alimentată la curenți relativ reduși 20-30 mA și frecvență înaltă (20 kHz).
- În acest mod au fost reduse semnalele parazite.
- Relațiile de legătură între parametrii metrici A, H, L, α sunt:

$$A = L \cdot \cos \alpha$$

$$H = A \cdot \sin(90 - \alpha)$$

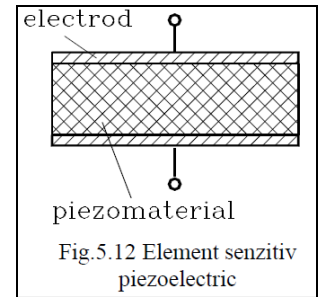
$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{H}{L}}$$

Senzori piezoelectrici

- Senzorii tactili piezoelectrici își bazează funcționarea pe fenomenul *piezoelectric* : apariția unei polarizări electrice pe suprafața unui cristal sau polimer atunci când asupra acestuia acționează o forță F .
- Pe baza celor prezentate anterior a fost realizat un senzor tactil folosit pentru a determina poziția de contact, presiunea de contact și distribuția acesteia.
- Ținând cont de fenomenul piezoelectric și solicitarea mecanică pentru un piezoelement echivalat cu o capacitate plană, se poate scrie: $U = d \cdot h \cdot \sigma / \varepsilon$

- unde

- σ [N/mm²] este efortul mecanic în piezoelement,
- ε [F/m] este permitivitatea materialului,
- h [m] este grosimea piezoelementului,
- d [C/N] este constanta piezoelectrică



- Structura elementului senzitiv piezoelectric este prezentată în figura 5.12.
- Pentru această structură se poate defini ecuația caracteristică a stratului piezoelectric: $U = Q/C$
- Deci $Q = d \cdot \sigma$
- Caracteristica dinamică a stratului piezoelectric este reprezentată prin:

$$u(t) = \frac{d}{C} \cdot \sigma(t_0) - \frac{1}{C} \cdot \int_{t_0}^t i dt$$

unde i [A] este curentul electric în circuitul de ieșire al piezoelementului și:

$$u(t_0) = \frac{d}{C} \cdot \sigma(t_0)$$

- În figura 5.13 este prezentată structura propusă pentru senzorul tactil.
- Senzorul este compus din 5 straturi și 5 electrozi.
- Doi electrozi (din aluminiu) sunt paraleli cu axa X iar alți 2 electrozi sunt paraleli cu axa Y.
- Grosimea senzorului prototip este aproximativ 300 μm .
- Rezistența electrică între electrozi este 845 Ω .

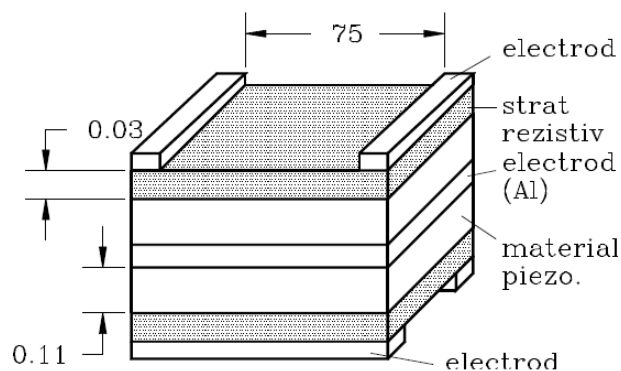


Fig.5.13 Senzor tactil piezoelectric

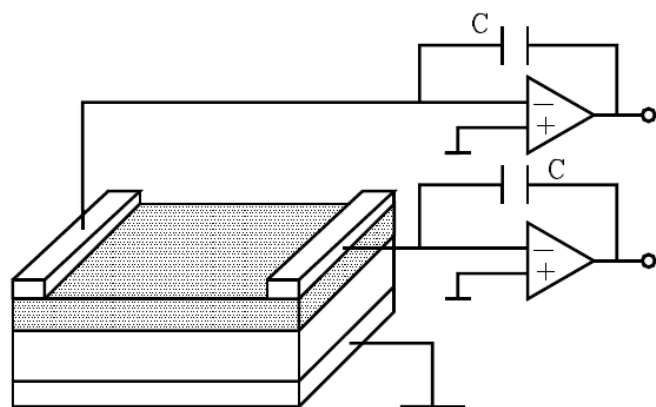


Fig.5.14 Schema electrică principală a circuitului de măsurare

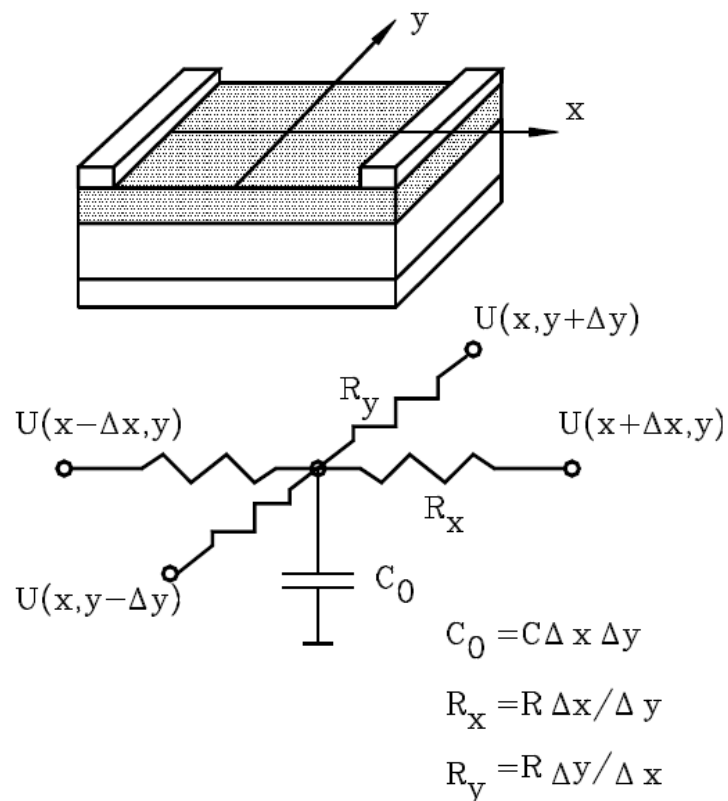


Fig.5.15 Modelul analitic al senzorului tactil piezoelectric

Bibliografie:

- http://mec.upt.ro/dolga/S_cap_51.pdf

Senzori, sisteme senzoriale

Cursul 9 - Senzori de locație acustici,
optici, telemetrie, stereoscopie

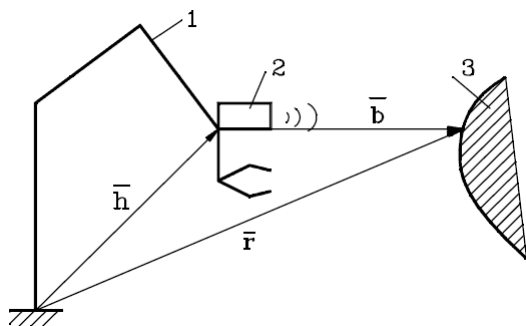
Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

7.1. Introducere

- Senzorii de locație localizare reprezintă o posibilitate de realizare a sistemului informațional al robotului industrial (RI).
- Permit:
 - obținerea unor informații privind caracteristicile, starea obiectelor de manipulat și a mediului tehnologic,
 - asigură și garantează mișcarea RI într-un mediu cu obstacole.
- Senzorii de detecție permit:
 - Măsurarea diversilor parametri:
 - distanța până la obiecte, viteza, dimensiunile și localizarea acestora.
 - obținerea de informații privind parametri mecanici, electrici, acustici etc. ale obiectelor din mediul tehnologic.
- Ca și parametri suplimentari pot fi incluși:
 - măsurarea unui rost (întrefier),
 - mărimea unei deformații,
 - alunecări,
 - defecte interioare ale unor piese,
 - grosimi de material etc.
- Obținerea acestor informații se poate realiza prin diverse metode:
 - acustice,
 - magnetice,
 - optice,
 - radiație,
 - electrice,
 - pneumatice,
 - electromagnetice etc

Senzori de locație acustici

- Senzori acustici pentru măsurarea distanțelor
 - au calități superioare celor optici impunandu-se într-o serie de aplicații.
 - sunt recomandabili la aplicații în medii gazoase și în condiții grele sau care exclud utilizarea fenomenului optic (prezența aburilor sau prafului, perturbații optice de la sudură prin arc electric etc.).
 - Metoda de localizare acustică permite obținerea unor informații despre mediul de lucru în următoarele intervale:
 - distanțe: 2 - 2000 mm în aer; 0.5 - 10000 mm în apă; eroare 2 % ;
 - viteză de deplasare: 2 mm/s în aer; 10 mm/s în apă; eroare 2 %
- Prin măsurarea timpului "T" scurs între emiterea semnalului sonor și recepționarea ecoului, de la obiectul controlat, se poate determina distanța "L" prin formula:
- $$L = \frac{C \cdot T}{2}$$
 - Unde C este viteza sunetului în aer, și dependența de temperatură $t[^\circ\text{C}]$ prin relația $C = 331.5 + 0.61 \cdot t \text{ [m / s]}$



Principiul de măsurare acustică a distanței:

1- RI; 2- senzor; 3-obiect;

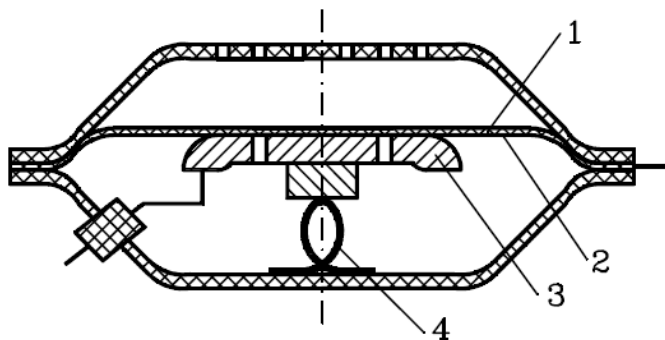
$$\bar{r} = \bar{h}(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) + \bar{b}(\phi_x, \phi_y, \phi_z, l)$$

$\bar{h}$ - este vectorul de poziție al senzorului

$\bar{b}$ - este vectorul de poziție al unui punct al obiectului analizat

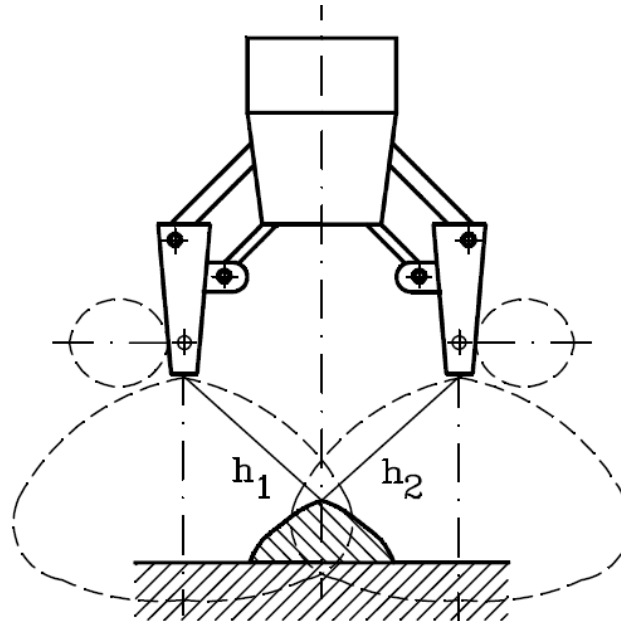
l - este distanța de la senzor la obiect

- Elementele componente ale unui senzor acustic, de tip electrostatic capacitiv,
- pentru măsurarea cu o precizie de 1 mm a distanțelor cuprinse între 20 cm și 2 m sunt prezentate în figura.
- Senzorul funcționează ca un difuzor în modul de emisie și ca un microfon în modul de recepție.
- Diametrul senzorului este de 38.1 mm și are ca element de bază (armătura mobilă a unui condensator) o folie de material plastic (1) placată cu aur având grosimea de 0.07 mm lipită pe o placă de aluminiu.
- Folia trebuie să fie elastică, plană, ușoară și foarte subțire.
- Ea este cea care convertește energia electrică în ultrasunete și ecoul în energie electrică.
- Dielectricul trebuie să suporte tensiuni înalte fără a străpunge.
- Principiul de funcționare a senzorului ca *emitor* este următorul: între armăturile (1) și (2) ale condensatorului se aplică semnalul electric corespunzător semnalului acustic ce trebuie produs iar atracția armăturilor (armătura "1" fiind mobilă vibrează) corespunde forțelor electrostatice datorate prezenței sarcinilor electrice pe acestea.
- Principiul de funcționare a senzorului ca *receptor* se bazează pe variația capacității condensatorului menționat în funcție de presiunea acustică a ecoului

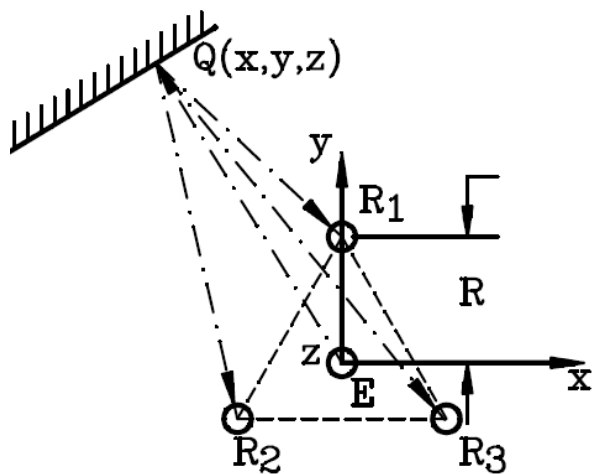


Elementele componente ale unui senzor acustic: 1-armătura mobilă; 2-armătura fixă; 3-folie izolantă elastică; 4-arc

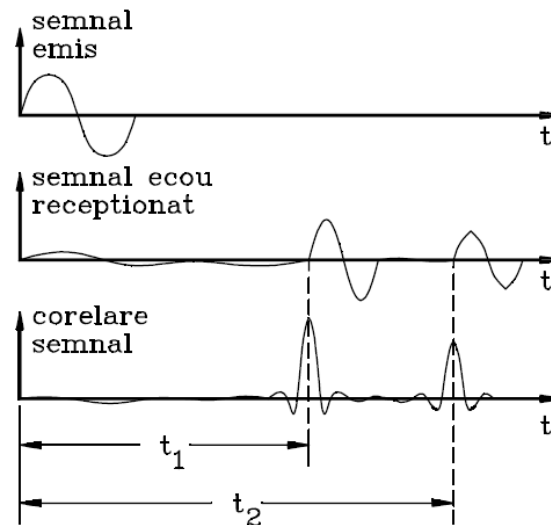
- În SUA au fost utilizați senzori acustici în dotarea roboților industriali pentru montaj.
- Regimul de lucru a fost stabilit pentru o frecvență de 270 kHz și o distanță de acțiune maximă de 3 m.
- Utilizarea unor senzori acustici în efectorul unui RI este exemplificată în figură.
- Pe fiecare "deget" sunt montați 2 senzori.
- Senzorii frontali în afară de măsurarea distanței până la obiect permit dirijarea precisă a axei efectorului deasupra obiectului de prehensat.
- La egalitatea distanțelor h_1 și h_2 axa efectorului se suprapune cu axa obiectului (de formă regulată).



- Structura unui sistem senzorial de detectare ultrasonică a obstacolelor (bazat pe metoda triangulației) este prezentat în figura 1.
- Emitorul (E) de unde ultrasonore este poziționat în centrul de greutate al unui triunghi echilateral ce are în vârfuri cele 3 elemente receptoare (R1, R2, R3).
- Toți acești senzori sunt orientați în aceeași direcție perpendiculară pe planul format de ei.
- Semnalul emitor este emis într-un interval de timp specific.
- Eco-ul semnal la cele 3 receptoare este păstrat în memorie pentru calcule ulterioare, în vederea corelării cu semnalul emitor.
- Corelarea între semnalul emis și semnalul recepționat de la 2 obstacole este prezentată în figura 2.



Structura unui sistem senzorial acustic:
E-emitor; R1, R2, R3-receptor



Corelarea semnal acustic emis – ecou
recepționat (t_1 , t_2 - intervalul de timp
emisie – recepție pe cele 2 obstacole)

- Fie $Q(x,y,z)$ un "obiect punctual" ce urmează a fi detectat iar "R" distanța dintre emitor și receptor.
- Considerând "d" distanța dintre emitorul (E) și punctul Q, iar "di" - distanțele de la punctul Q la cele 3 receptoare (R_i) ($i = 1, 2, 3$), coordonatele (x,y,z) se determină prin relațiile:

$$x = \frac{d_3^2 - d_1^2}{2\sqrt{3} R}$$

$$y = \frac{d_1^2 + d_3^2}{6R} - \frac{d_2^2}{3R}$$

$$z = \sqrt{d_2^2 - x^2 - (y - R)^2}$$

- O altă formulare a problemei este determinarea poziției obstacolului prin distanța "d", unghiul azimut " α " și unghiul elevație " β "

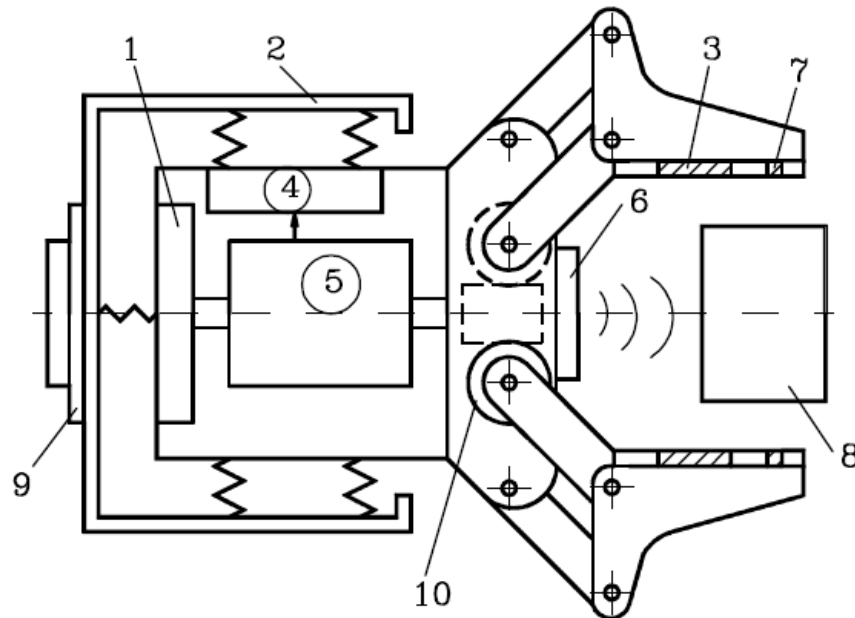
$$d_i = (d + d_i) - d \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$d = \frac{\Sigma(d + d_i)^2 - 3 R^2}{2 \cdot \Sigma(d + d_i)}$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{x}{z}\right)$$

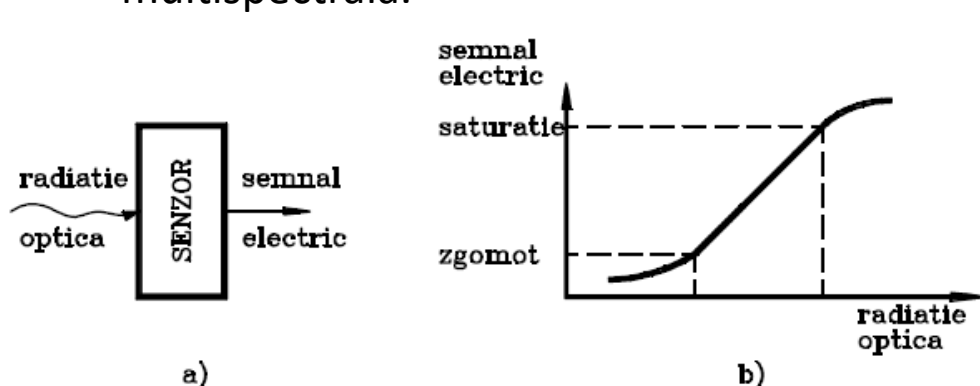
$$\beta = \arctg\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}}\right)$$

- În figura este prezentată varianta constructivă a unui efector final și locul de dispunere a unor elemente senzoriale de siguranță, contact, alunecare și forță / moment .
- Semnificația notațiilor este următoarea:
 - 1- traductor incremental de deplasare cuplat cu arborele motorului de acționare "5";
 - 2- senzor de forță / moment;
 - 3- senzor ultrasonice de proximitate;
 - 4- senzor de forță (determină forța de prehensare);
 - 5- motor de acționare.
 - 6- senzor ultrasonice de proximitate
 - 7- senzori optici
 - 8- obiect
 - 9- flansă pentru fixarea efectorului față de dispozitivul de ghidare
 - 10- traductor potențiometric de deplasare.



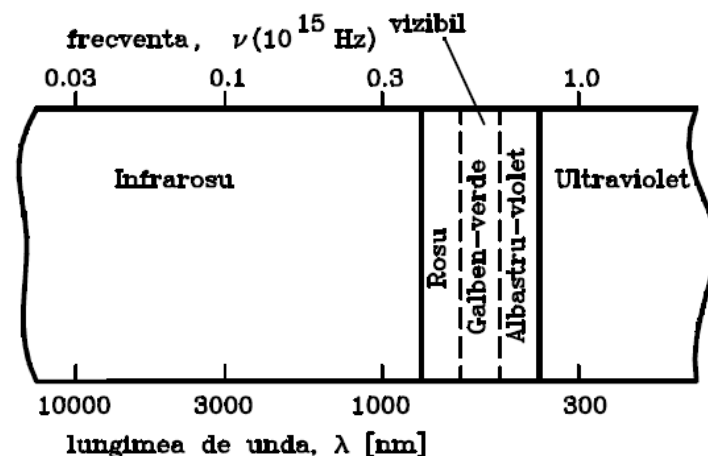
Senzori de detecție optoelectronici

- Una din posibilitățile cele mai performante de detecție utilizată la ora actuală în robotică este cea oferită de domeniul optoelectronic.
- Energia luminoasă este o formă radiantă de energie electromagnetică.
- Radiația optică (semnal de intrare) este convertită într-un semnal electronic de ieșire care poate fi utilizat (după prelucrări) în comanda robotului industrial
- Radiația luminoasă este emisă sau absorbită prin cuante corespunzătoare unor particule numite fotoni.
- Acest principiu oferă o detecție în timp real, o rezoluție înaltă, o imagine multispectrală.



Conceptul conversiei optoelectronice:

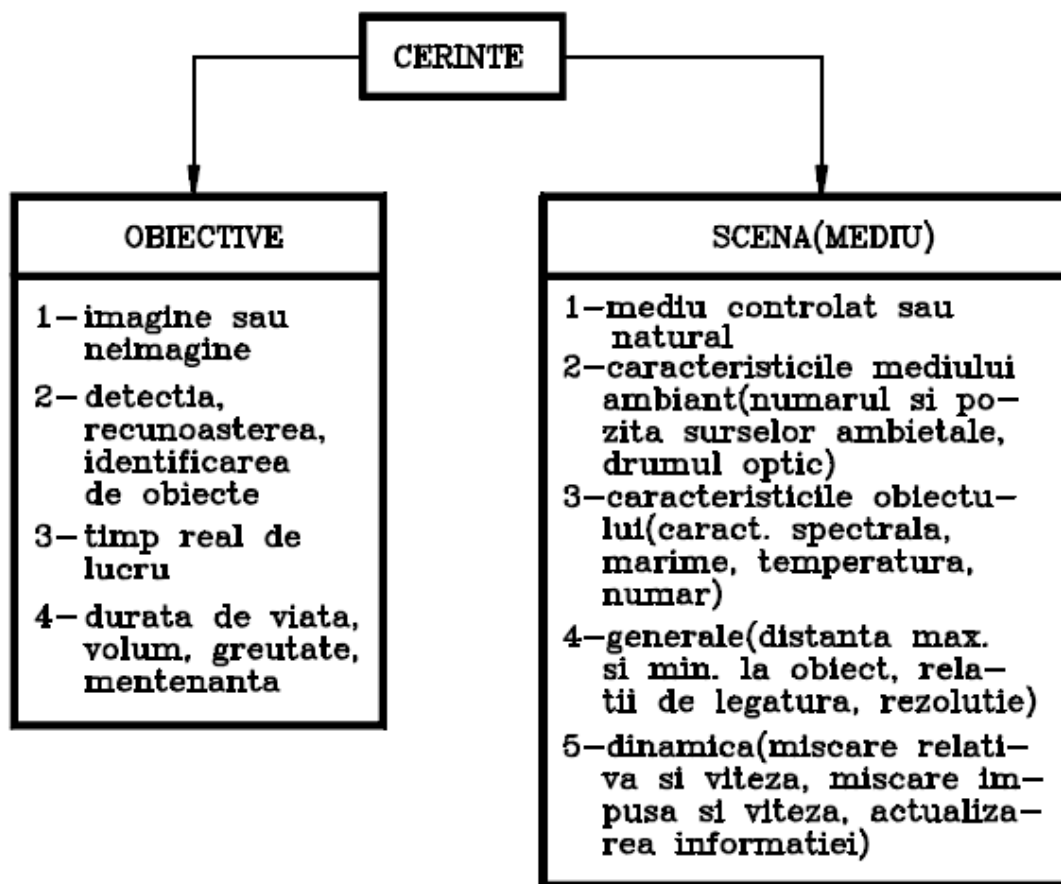
a) principiu; b) domeniu



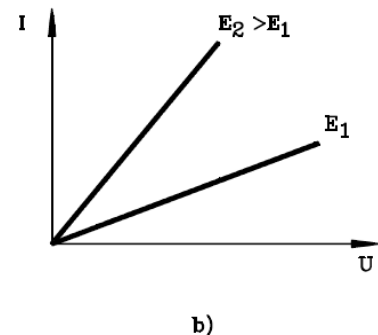
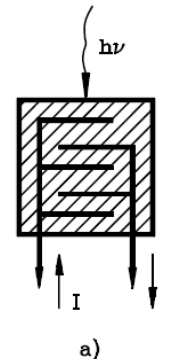
Spectrul radiației electromagnetice

- Radiația luminoasă în spectrul vizibil: 0.4 μm - 0.76 μm .
- Radiația infrarosie este cea cuprinsă în gama 0.76 μm - 100 μm
- Radiația ultravioleta cea cuprinsă în gama 0.01 μm - 0.4 μm .

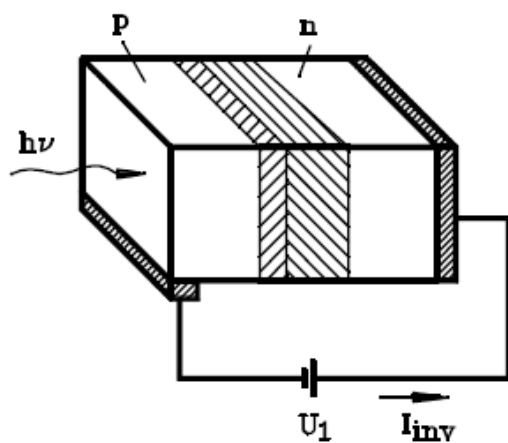
- Conversia fluxului radiant în semnal electric prezintă constrângeri în timp din cauza factorilor ce limitează procesul de detecție:
 - timpul de viață a purtătorilor de sarcină,
 - timpul de transport a sarcinii,
 - capacitatea termică,
 - electronica aferentă procesului,
 - modularea fluxului radiant.
- Performanțele acestor elemente, combinate cu parametrii ce descriu drumul optic, definesc în final performanțele senzorului optic.
- Cerințele unui sistem optic de detecție pot fi grupate în două categorii conform figurii



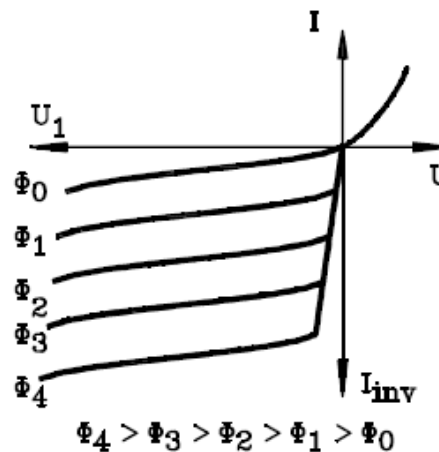
- Componentele unui senzor optic sunt grupate in trei categorii:
 - a) elementul fotosensibil, inclusiv primul nivel de preamplificare.
 - b) elemente optice (oglinzi, lentile, filtre) si elemente auxiliare pentru fixarea lor in carcasă;
 - c) elementele de circuit electronic pentru prelucrarea informației.
- În concluzie, o sursă de lumină (constituită dintr-o diodă LED, un bec cu incandescentă, tub fluorescent) generează un fascicol luminos care este captat de un element fotosensibil (fotodiodă, fotorezistență, fototranzistor).
- Analiza prezenței sau absenței fluxului luminos pe receptor va defini prezența sau absența obiectului controlat.
- **Fotorezistorul**
- este format dintr-un strat semiconductor de Se, SPb, STa, SeCd, SePb depus prin evaporare in vid pe
- un grătar metalic, fixat in prealabil pe o placă izolatoare.
- Fotorezistorul este prevăzut cu două contacte (identice si simetrice) neredresoare pentru includerea sa in circuit.
- Pelicula semiconductoare se protejează prin acoperire cu lac sau peliculă de masă plastică
- Supusă incidenței razelor de lumină, pelicula isi modifică rezistența electrică, aceasta scăzand cu cresterea fluxului luminos incident pana la valori in jur de 100Ω ..
- Rezistența de intineric R_d a fotorezistorului este definită ca rezistența inclusă in circuitul electric de către fotorezistorul neiluminat.



- **Fotodioda** reprezintă o joncțiune p-n de o construcție specială astfel încât să facă posibilă incidența razelor de lumină în domeniul zonei de difuzie a acesteia.
- Caracteristicile statice ale fotodiodei evidențiază două regimuri posibile de funcționare:
 - regimul propriu-zis de fotodiodă și
 - regimul de fotogenerator (transformator al energiei luminoase în energie electrică).
- În regim de fotodiodă, joncțiunea p-n este polarizată invers cu ajutorul sursei U_1 .
- Incidența razelor de lumină în zona de difuzie determină o creștere a curentului invers I_{inv} .
- Simbolul și modul de polarizare a fotodiodei sunt prezentate în figura

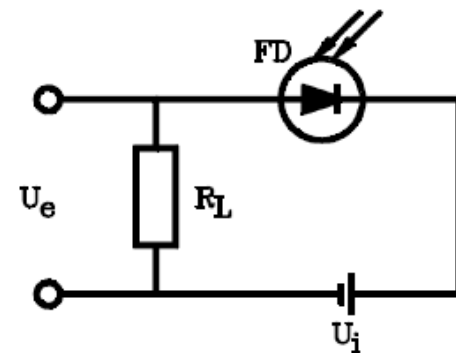


a)



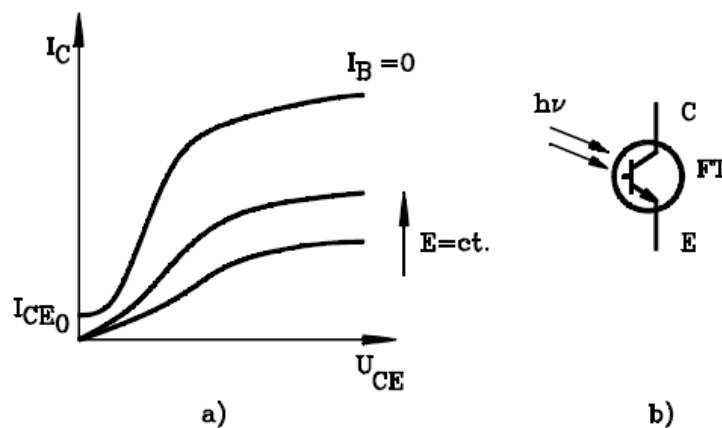
b)

Fotodioda: a) construcție; b) caracteristici



Simbolul și
polarizarea fotodiodei

- Curentul de saturație I_{inv} , care corespunde unui flux luminos incident nul, se numeste curent de intuneric ($\sim 1 \mu A$).
- Timpul de crestere, măsurat între momentul când curentul variaza între 0.1 și 0.9 din valoarea finală, la aplicarea unui salt de iluminare, este de ordinul a $1 \mu s$.
- Caracteristica de sensibilitate spectrală a fotodiodei prezintă (ca și celelalte fotodetectoare) un maxim.
- Fotodioda cu Si prezintă un maxim pentru $\lambda_{max} = 800 \text{ nm}$.
- În infraroșu, fotodiodele din Ge au $\lambda_{max} = 1,6 \mu m$ iar cele din InAs, $\lambda_{max} = 3.5 \mu m$.
- La stabilirea tipului de fotodiodă se are în vedere în primul rând lungimea de undă a radiației recepționate.
- **Fototranzistorul**, ca și tranzistorul obișnuit, reprezintă o placuță semiconductoră (n-p-n sau p-n-p) la care regiunea de bază poate fi iradiată cu lumină.
- Fototranzistorul este plasat într-o carcasă ermetică în care există o fantă circulară, acoperită cu sticlă, care permite iluminarea bazei.
- Caracteristicile acestui element sensibil sunt prezentate în figura:



Fototranzistorul. Caracteristici și reprezentare.

- Fototranzistorul realizează si o amplificare a curentului fotoelectric.
- Perechile electron - gol formate prin incidența radiațiilor determină o creștere a curentului de colector similară celei impuse de creșterea curentului de bază I_B .
- Deoarece curentul rezidual al fototranzistorului (curent de întuneric) este dat de:
 - $I_{CE0} = (\beta + 1) \cdot I_{CB0}$
 - el este mult mai mare decât cel al fotodiodei care corespunde la I_{CB0} .
- Notând prin I_F curentul de colector datorat incidenței razelor de lumină si prin βI_F cel datorat efectului de tranzistor, curentul de colector al unui fototranzistor este:
 - $I_C = (\beta + 1) \cdot (I_F + I_{CB0})$
- Inerția fototranzistoarelor în funcționare este mai mare decât cea a fotodiodei

Senzori, sisteme senzoriale

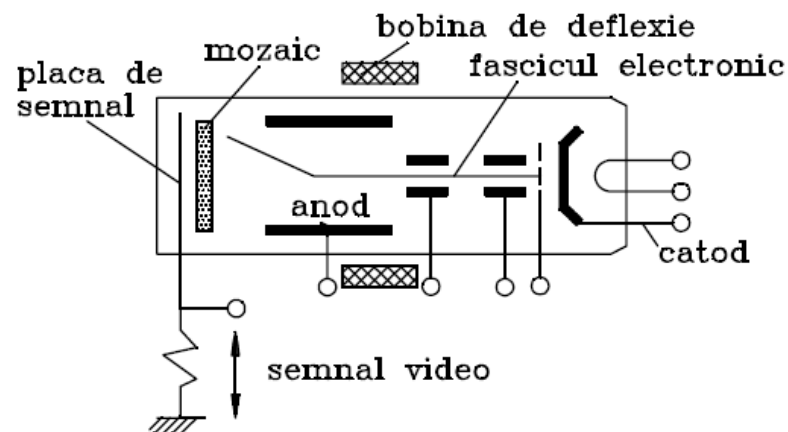
Cursul 10 – Senzori vizuali

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

10.1. Introducere

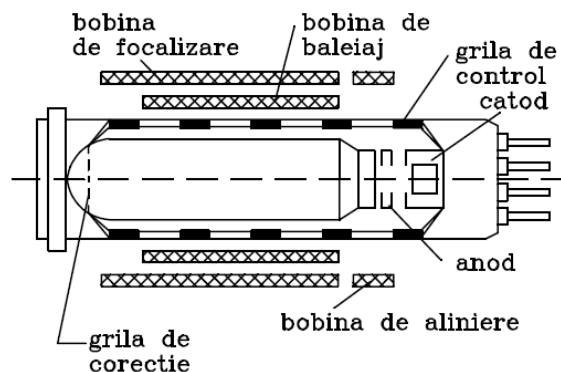
- Aplicațiile senzorilor vizuali - a vederii artificiale - sunt extrem de variate în toate sectoarele (industriale sau neindustriale).
- Putem aminti astfel:
 - *control și inspecție*: stări de suprafețe, culori, aspect, forme, contur, dimensiuni (liniare, plane sau spațiale);
 - *verificarea*: prezenței sau absenței unui subiect, simboluri, caracter, semnătură;
 - *identificări și localizări de obiecte*: în plan (2D) sau spațiu (3D);
 - *lectură* (cu sau fără recunoaștere): caractere alfanumerice, valori numerice;
 - *urmărirea unui contur*: cordon de sudură etc
- **Principii de realizare a senzorilor vizuali**
 - Sensorul vizual constă în esență dintr-un receptor video clasic, utilizat în televiziune.
 - Acest senzor este practic un generator de date electronice care convertește imaginea luminoasă într-un șir de semnale analogice electronice folosind tehnicile optoelectronice.
 - Receptoarele video au urmat o evoluție impusă de dezvoltarea electronicii.
 - Deși varietatea constructivă a receptorului video de-a lungul timpului este destul de mare câteva soluții se fac remarcate:
 - varianta bazată pe tuburi *orticon*;
 - varianta bazată pe tuburi *vidicon*;
 - varianta cu *matrice de fotodiode pe corp solid*;
 - traductoare fotoelectrice cu *dispozitive cuplate prin sarcină (CCD)*.
 - Alegerea unui anumit tip de senzor este determinată de o serie de caracteristici calitative și nu în ultimul rând de prețul de cost.

- **Tubul orticon** face uz de fenomenul de fotoemisie - emisia electronică a unei suprafețe activate de lumină.
- Schema unui tub orticon este prezentată în figura.
- Imaginea care trebuie sesizată este focalizată pe un plan transparent care este compus dintr-o placă colectoare, care la rândul ei este adiacentă mozaicului.
- Placa colectoare este realizată dintr-un material transparent conductiv electric.
- Mozaicul este format dintr-o placă pe care s-a depus un strat fotoemitător pe baza de cesiu, rezultând un complex de 109 celule fotoemiseive independente.
- Un fascicul de electroni este emis dinspre catod și focalizat pe mozaic.
- Acest fascicul este dirijat astfel încât să baleieze mozaicul de la stânga la dreapta, respectiv de sus în jos.
- Să considerăm că pentru un interval de timp extrem de redus procesul de baleiere poate fi oprit astfel încât fasciculul de electroni să fie focalizat asupra unui singur punct sensibil al mozaicului.
- Cind punctul sensibil nu este iluminat cu lumina provenind de la imaginea vizualizată, electronii sunt reflectați înapoi către catod și sunt atrași spre anod.
- Pe placa colectoare nu este generat nici un curent și deci semnalul video este zero.
- Dacă punctul sensibil este iluminat, dinspre scena vizualizată, pe rezistența plăcii colectoare va lua naștere o tensiune proporțională cu intensitatea iluminării punctului respectiv.
- Fasciculul de electroni scanează întreaga suprafață a mozaicului, astfel încât la ieșirea de pe placa colectoare se obține un semnal video analogic.



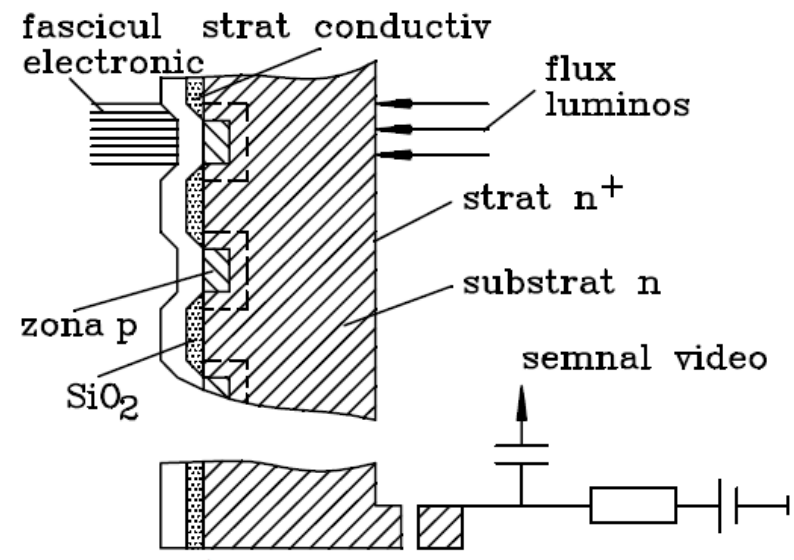
- **Tubul vidicon**

- Vidiconul a câștigat o deosebită popularitate în special datorită costului scăzut.
- În esență, acesta este un tub de sticlă vidat, proiectat pentru sistemele de baleiaj tradiționale.
- Tipurile comerciale sunt standardizate pentru diametre de 12.7 mm, 25.4 mm și 38.1 mm.
- Pentru scopuri speciale, s-au proiectat tuburi vidicon și cu diametre până la 114.3 mm.
- Schema principală a unui tub vidicon este prezentată în figura.
- Forma uzuală a acestuia este cea a unui cilindru având la un capăt cele 8 terminale, iar la celălalt, o față plană din sticlă optică.
- Pe fața interioară a acestei sticle optice se află un strat transparent și bun electroconductiv, făcând contact electric cu un inel exterior.
- Peste acest strat, se depune prin evaporare un strat fotoconductiv (mozaic) (sulfura de antimoniu, sulfura de cadmiu sau oxid de plumb).
- Fața liberă a mozaicului este baleiată de fasciculul de electroni generat de tunul electronic situat în partea opusă a tubului.
- Focalizarea fasciculului de electroni și câmpurile de baleiaj pot fi electrice, magnetice (cele mai răspândite) sau mixte.
- Potențialul suprafeței (interioare) baleiate de fasciculul electronic este adus de către acesta la un potențial ușor negativ (până la -1 V) în raport cu catodul care furnizează electronii.
- Cea de a doua suprafață a stratului conductiv este conectată la un potențial pozitiv de 10...100 V.

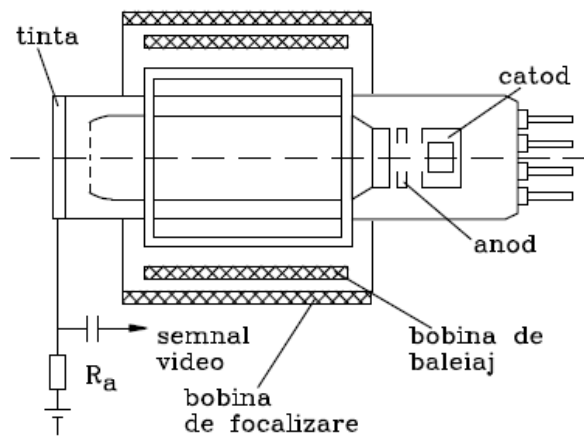


- Performanțele caracteristice cerute unui tub sunt următoarele:
 - a) *sensibilitatea și caracteristica de transfer*. Tuburile vidicon posedă o fotosensibilitate ridicată. Orice precizare privind sensibilitatea trebuie să includă o referință la nivelul de iluminare și la tensiunea și curentul de obscuritate la care au fost măsurate.
 - b) *răspunsul în timp sau remanența*. Remanența este consecința a doua cauze: remanența inerentă în procesul de descărcare al fasciculului electronic și inerția procesului fotoconductiv. Remanența descrește cu creșterea iluminării.
 - c) *rezoluția imaginii*. Tubul vidicon posedă o rezoluție liniară înaltă (până la 700 linii de explorare). Rezoluția este limitată în principal de dimensiunea finită a fasciculului de baleiaj focalizat.
 - d) *geometria imaginii*. Distorsiunea imaginii este stabilită de optica electronică a tubului ca și de acțiunea câmpurilor de baleiaj și de focalizare ale fasciculului electronic. O îmbunătățire considerabilă a geometriei se poate obține prin creșterea diametrului bobinelor de deflexie.
 - e) *răspusul spectral* (dependența sensibilității de lungimea de undă)
- Dezavantajele tubului viticon:
 - siguranța de exploatare redusă (determinată de balonul de sticlă al tubului și de încălzirea la incandescență a tunului electronic),
 - necesitatea utilizării la tensiuni ridicate în vederea obținerii imaginii de exploatare,
 - variația geometriei imaginii de exploatare funcție de temperatura și de tensiunea de alimentare

- **Matrice de fotodiode pe corp solid** (sidiconul)
 - Senzorul vizual se bazează pe balaierarea prin intermediul unui fascicul electronic a unei matrici de fotodiode montate într-un tub vidat.
 - Structura care s-a impus este cea a unei matrici de diode "pn" polarizată invers.
 - În figura se prezintă construcția principală a țintei cu matrice de diode din siliciu.
 - Substratul "n" este polarizat pozitiv în raport cu catodul, astfel încât joncțiunile "pn" ale diodelor sunt blocate.
 - Golurile produse de fotoni în substratul "n" difuzează în zona redusă, traversând joncțiunea "pn" și ridicând potențialul zonei "p".
 - Stratul de bioxid de siliciu, situat între diode, are rolul de a interzice fascicului electronic să bombardeze substratul "n" producând astfel un semnal nedorit.

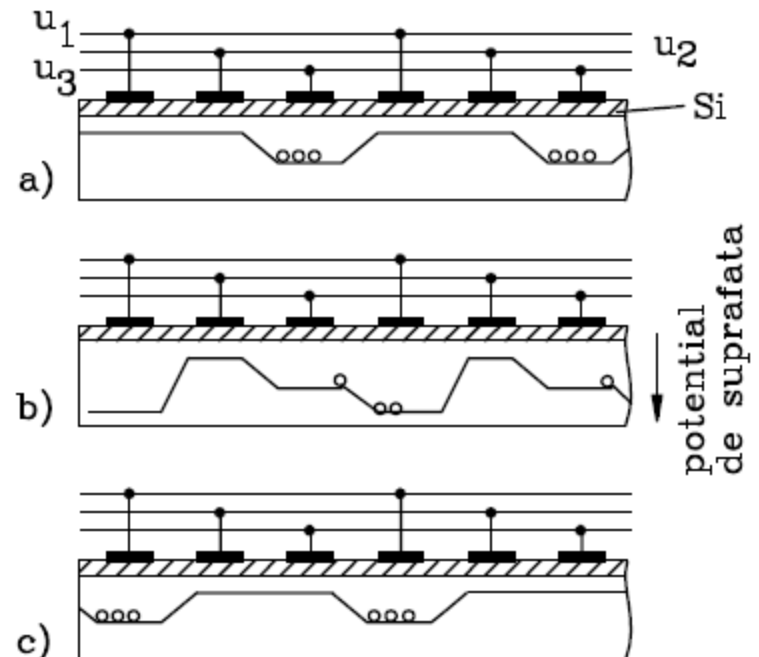


- Schema unui senzor vizual realizat pe acest principiu este prezentată în fig.
- În comparație cu sistemele cu tub vidat matricile de fotodiode pe corp solid se deosebesc printr-o:
 - rezistență mecanică mai mare,
 - siguranță mai mare,
 - masă și gabarit reduse,
 - tensiuni de alimentare și consum de energie mici,
 - fotosensibilitate și domeniu dinamic raportate la luminozitate mai ridicate,
 - posibilitatea adresării pe elemente și
 - ieșirea paralelă a semnalului.
- Dintre dezavantajele matricilor de fotodiode (în comparație cu celelalte soluții) se pot aminti:
 - rezoluția spațială relativ redusă în câmp,
 - o neomogenitate reală a caracteristicilor fotoelectrice ale diferitelor elemente,
 - dimensiunile relativ reduse ale matricii (valorile tip sunt de 32 x 32 mm și 64 x 64 mm).
- În sistemele vizuale ale roboților matricile de fotodiode se folosesc pentru problemele care necesită o acționare rapidă și o rezoluție spațială redusă.



Senzor vizual cu dispozitive cu sarcini cuplate prin sarcină (CCD - Charge Coupled Devices).

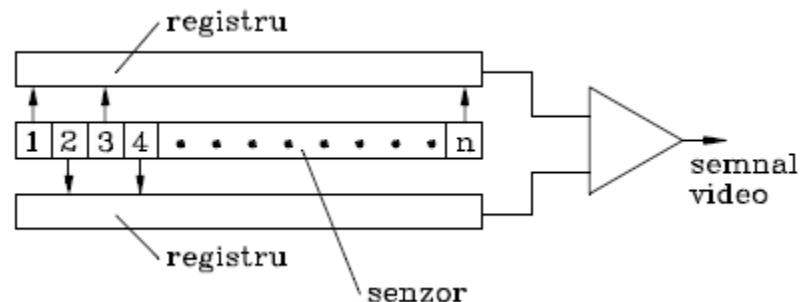
- Conceptul transferului de sarcină a fost descris de Boyle și Smith de la Bell Telephone în 1970.
- Acest principiu constructiv este o variantă aparținătoare tehnologiei dispozitivelor cu transfer de sarcină (CTD - Charge transfer device).
- Alte variante care pot fi amintite sunt:
 - dispozitive cu acumulare de sarcină BBD (bucket brigade devices),
 - dispozitive cu injectare de sarcini CID (charge injection devices).
- Din punct de vedere constructiv senzorul CCD este o matrice de elemente fotosensibile executate pe cristal semiconductor prin metoda microfotolitografiei.
- Dacă pe suprafața acestui sistem se proiectează un relief luminos, atunci în fiecare element se formează o sarcină localizată de purtători de sarcină minoritară (la potențial minim) și de mărime proporțională cu mărimea fluxului luminos pe elementul dat și cu timpul de acumulare.
- Distribuția mărimilor sarcinilor acumulate repetă relieful luminos vizualizat.
- După expirarea timpului de acumulare (de obicei este fix) sarcinile sunt deplasate succesiv pe linii și cadre și îndepărtate din structura senzorului prin dispozitivul de ieșire (registru).
- Semnalul astfel obținut formează semnalul video .



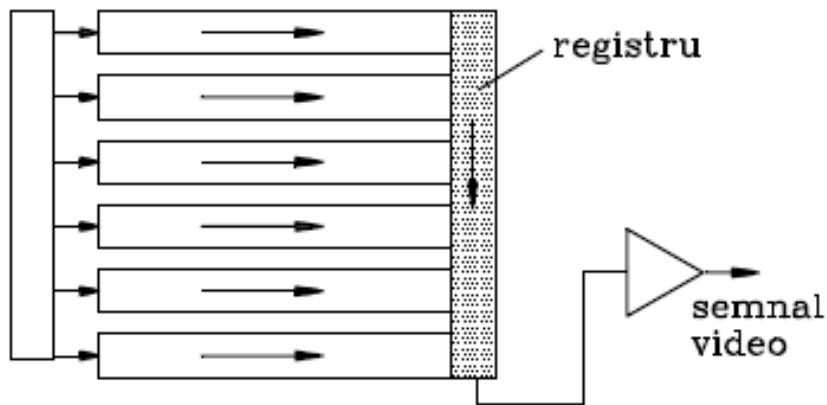
- Dintre avantajele acestui senzor se pot aminti:
 - reducerea cu un ordin de mărime a masei și gabaritului,
 - rezistența mecanică mare,
 - fiabilitate ridicată,
 - lipsa necesității alimentării cu tensiune înaltă și a încălzirii la incandescență,
 - Precizie geometrică deosebită a imaginii video (datorită legăturii rigide a semnalului video de coordonatele elementelor fotosensibile).
- În domeniul roboților industriali, senzorii vizuali bazați pe acest principiu sunt fie sub formă liniară, fie sub formă bidimensională.
- Dintre parametrii principali ai acestor senzori se pot aminti:
 - domeniul spectral 0.2(0.4)...1,1 nm;
 - Fotosensibilitate integrală 500 $\mu\text{A/lx}$;
 - rezoluție liniară 40...60 linii/mm;
 - neomogenitate a fotosensibilității până la 10 % .

- **Senzori vizuali liniari**

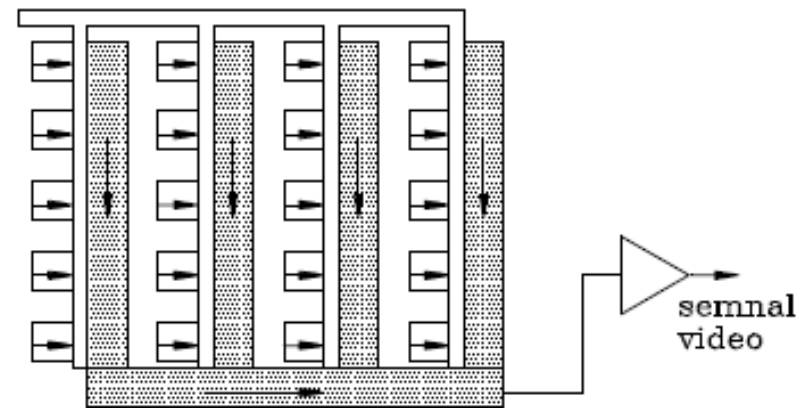
- Tehnologia CCD comportă un ansamblu de puncte discrete a senzorului vizual.
 - Fiecare punct sensibil = imagine elementară poartă denumirea de *pixel*.
- Construcția unui senzor vizual liniar este prezentată în figura.
- Elementele componente sunt următoarele:
 - elementul fotosensibil 1 cu n pixeli și registrele glisante 2, 3.
- Senzorii vizuali liniari permit realizarea până la 4095 puncte sensibile (pixel)
- Numărul maxim de pixeli este determinat de lungimea dispozitivului și dimensiunea fiecărui punct sensibil.
- O limită practică a acestui număr este impusă și de ineficiența transferului, caracteristică registrului de citire.
- Configurația bilineară prezentată este avantajoasă din punctul de vedere al rezoluției.
- Funcționarea senzorului cuprinde trei etape:
 1. în prima etapă fiecare punct sensibil (pixel) acumulează, pe durata "t", o sarcină electrică care este o măsură pentru expunerea punctului respectiv;
 2. în a doua etapa întreaga sarcină integrată pe fiecare pixel se transferă în paralel în registrele glisante (o celulă de transfer fiecărui pixel)
 3. în a treia etapă sarcinile celor două registre sunt deplasate alternativ spre ieșire; amplitudinea impulsurilor electrice rezultate sunt o măsură a expunerii pixelului corespunzător.



- Senzori vizuali bidimensionali.
 - Senzorul vizual bidimensional este format dintr-un ansamblu de elemente vizuale, liniare dispuse în paralel.
 - Informativ dimensiunea maximă a unui senzor bidimensional corespunde la 700 x 500 elemente (350.000 pixel).
 - O asemenea matrice este prevăzută cu circuite de adresare care comută tactul la linia dorită.
 - O structură care s-a impus în ultimul timp este cea corespunzătoare din figura 2 (transfer interlinii).
 - În acest caz, cele două funcțiuni de bază *de captare și memorare* a imaginii, sunt integrate pe aceeași arie și transferul unui cadru are loc într-o singură etapă



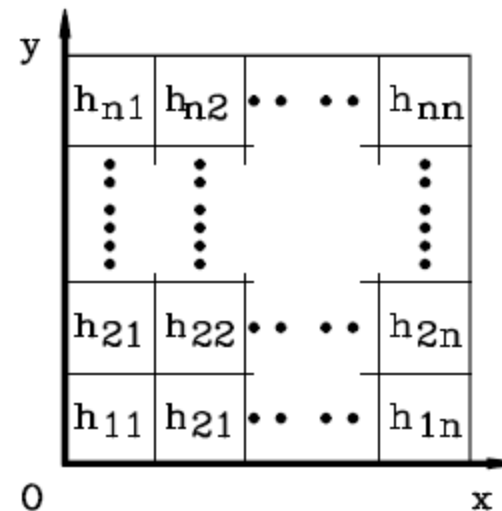
Organizarea citirii unui senzor vizual
liniar



Organizarea citirii la un senzor vizual
bidimensional

Prelucrarea informației senzorului vizual

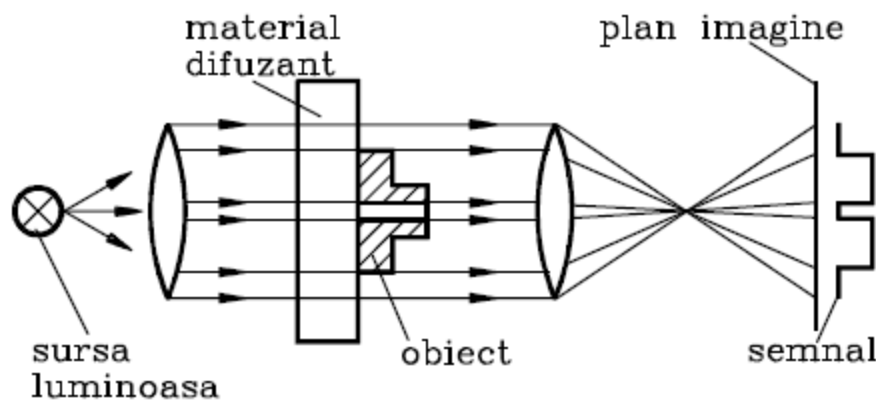
- Senzorul vizual oferă o serie de informații care reprezintă de fapt traducerea unui fenomen fizic sub diverse forme.
- Imaginea astfel obținută, prezentată acum sub forma unui semnal, trebuie în prima fază *tratată* în cadrul unor operații specifice.
- În acest mod sunt eliminate o serie de aspecte din cadrul semnalului sau altele sunt amplificate.
- Imaginea astfel obținută poate fi *modelată* în vederea obținerii unor parametri care descriu obiectele cercetate prin intermediul senzorului vizual.
- Acești parametri permit emiterea unor concluzii privind forma obiectelor, orientarea, poziționarea acestora etc.
- **Tratarea imaginii.**
 - Fie suprafața sensibilă a senzorului vizual discretizată în matricea pătrată $H_{n \times n}$ raportată sistemului de axe XOY.
 - Fiecare element al matricii corespunde unui punct sensibil al senzorului vizual (pixel).
 - Tratarea imaginii cuprinde operațiile necesare diferențierii unui obiect față de altele sau a acestuia în cadrul scenei analizate.
- Două tehnici de tratare sunt frecvent utilizate:
 - *Metoda imaginii binare și*
 - *metoda nivelului de gri.*



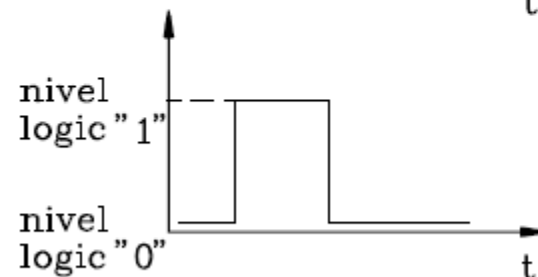
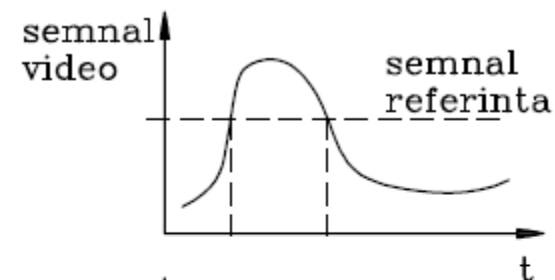
Sistemul de coordonate atașat matricii H

• Metoda imaginii binare

- Metoda imaginii binare este una din metodele cele mai recunoscute de analiză a imaginii.
- În acest caz imaginea trebuie să prezinte contraste puternice (zone luminoase și zone întunecate) astfel încât zona de diferență a contrastului luminos corespunde conturului piesei.
- Creșterea contrastelor se poate obține prin tehnica siluetei (se utilizează iluminarea pe un plan), utilizarea dependenței intensității luminoase de lungimea de undă, iluminarea direcțională (pentru evidențierea reliefului obiectelor) .
- Amplitudinea semnalului de pe fiecare punct sensibil (pixel) se compară cu o valoare de referință.
- Se stabilește astfel o dependență logică a diverselor valori ale semnalului.
- Dacă amplitudinea semnalului este superioară semnalului de referință admis, pixelul se consideră de valoare logică "1" și respectiv valoare "0" în caz contrar.
- Imaginea astfel obținută poartă denumirea de imagine binară.

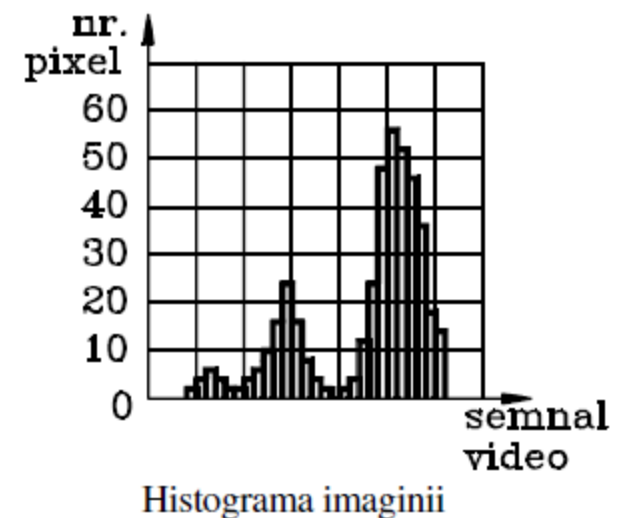


Tehnica siluetei



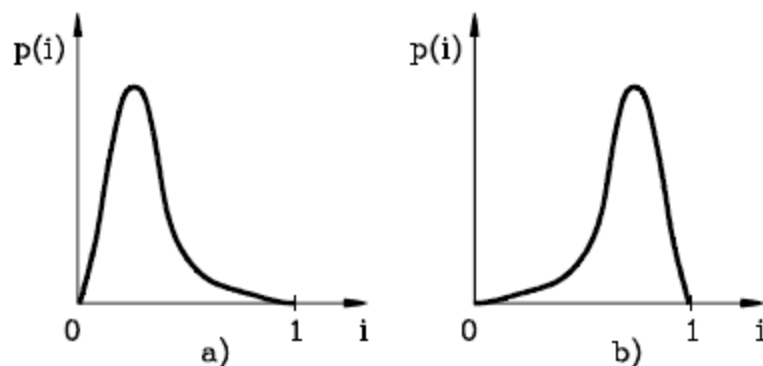
Principiul obținerii
imaginii binare

- Stabilirea nivelului de referință impune o atenție deosebită.
- Un nivel de referință arbitrar, nu asigură întotdeauna succesul operației.
- O serie de parametri legați de mediu, iluminare pot influența negativ această operație.
- Trasarea histogramei imaginii este o metodă mai recomandată de stabilire a nivelului de referință.
- Pe abscisă se prezintă semnalul video asociat unui pixel iar pe ordonată numărul de pixeli "n" de semnal "i".
- În acest mod semnalul video poate fi separat în cele două clase logice.
- În unele cazuri variația semnalului video este lentă.
- Se pot utiliza în acest caz și histograme locale.
- Utilizarea unei metode statistice oferă și un grad de optimizare în ceea ce privește alegerea valorii de referință.



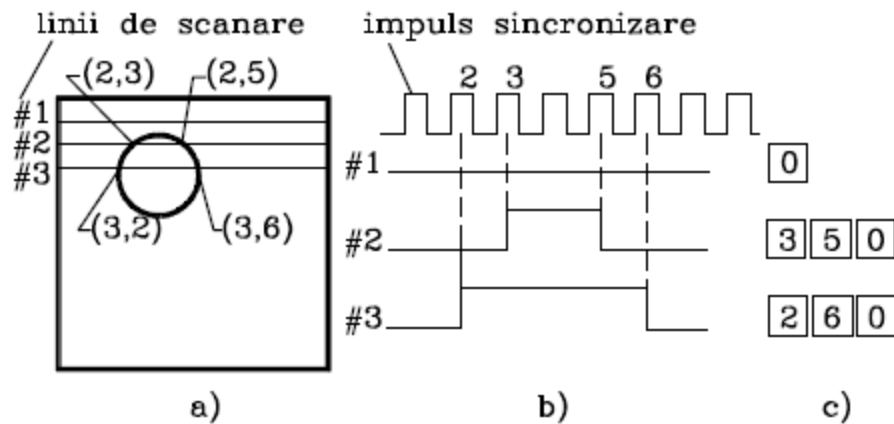
- **Metoda nivelului de gri**

- Metoda anterioara face apel doar la culoarea albă (nivel logic "1") și culoarea neagră (nivel logic "0").
- Lipsa unor nivele intermediare poate conduce la unele deficiențe de stabilire a conturului pieselor.
- Metoda nivelului de gri consideră că o imagine întunecată conține pixeli apropiați de valoarea "0" în timp ce a unei imagini luminoase se apropie de "1".
- Această situație este prezentată în figură (i = valoarea unui pixel; $p(i)$ = densitatea de probabilitate a intensității unui pixel).
- O primă etapă a tratării semnalului video constă într-o "netezire" a imaginii, adică o eliminare a variațiilor bruște a semnalului.
- În acest mod, valoarea unui pixel se înlocuiește cu o combinație liniară între valorile acestui pixel și a unui număr oarecare din cele vecine

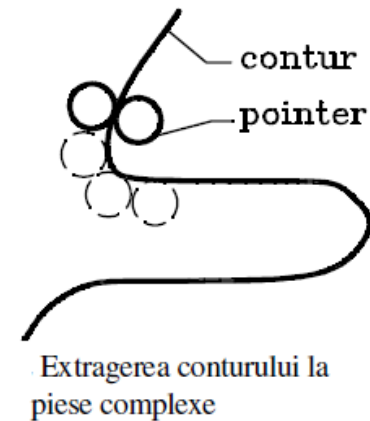


Histograma în gri: a) imagine întunecată; b) imagine luminoasă

- O imagine tratată (în final debarasată de orice "zgomot") a fost redusă la o cantitate de informație - binară sau nivel de gri - privind starea fiecărui pixel.
- Această informație trebuie prelucrată în continuare în vederea obținerii unor precizări suplimentare care să permită modelarea matematică a imaginii.
- **Segmentarea imaginii**
- Segmentarea imaginii este operația de extragere teoretică (separare) a unor *zone particulare* din imaginea tratată anterior.
- Pixelii aparținători acestor zone au o *proprietate comună* (de ex. aparțin la obiectul vizualizat).
- În mod curent se aplică două metode:
 - a) *extragerea conturului* - se separă toți pixelii cuprinși în interiorul unor linii cu contrast puternic;
 - b) *topologia zonelor* - se separă toți pixelii dintr-o zonă care respectă o aceeași stare logică.
- **Extragerea conturului**
- Operația de filtrare a asigurat condițiile de determinare a limitelor imaginii.
- *Extragerea conturului* presupune *definirea limitelor imaginii* unui obiect vizualizat în scopul stocării acestei informații în memoria sistemului de comandă.
- Adeseori determinarea acestor limite are loc simultan cu memorarea informației.



Extragerea conturului: a - scanarea imaginii;
b - semnal video; c - informație memorată

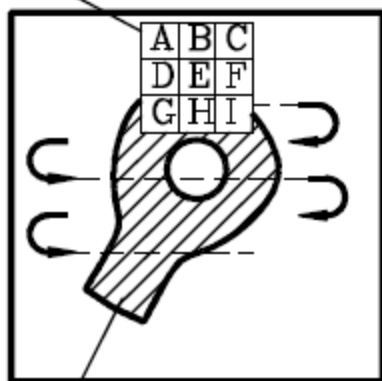


- În figura 1 se prezintă procesul de definire a granițelor unei imagini circulare și datele memorate.
- Sunt reprezentate comparativ trei semnale video rezultate în urma scanării imaginii.
- Aceste semnale sunt raportate semnalului de sincronizare.
- În urma acestei corespondențe se obțin datele de memorat (1c).
- Pentru corpuri complexe vizualizate s-a impus o metodă de analiză care să permită detalierea precisă a conturului.
- Această metodă constă în utilizarea a două "zone" de control care se deplasează pe limita internă și externă a conturului teoretic (fig.2).
- Limita reală a conturului este descrisă de locul geometric al distanței minime dintre centrele celor două "zone".

• Topologia zonelor

- Metoda constă în analizarea imaginii și definirea limitelor imaginii (a conturului) prin stabilirea zonelor cu pixeli de o aceeași stare logică.
- Una din posibilități se bazează pe considerarea unei matrici 3 x 3 de analiză (fig).
- Sunt analizate, în raport cu pixelul central, cele 8 posibilități de conexiune.

matrice de analiza 3x3



image

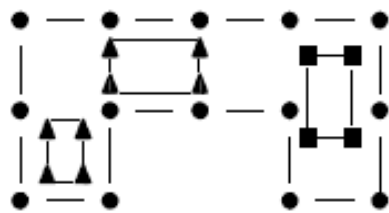
Image vizualizata si
matricea de analiza

Codificarea imaginii

- Informația, privind imaginea obiectului vizualizat, se poate utiliza practic dacă prelucrarea sa se face în timp real și dacă canalul de transmitere a informației (spre sistemul de comandă) permite acest lucru.
- În acest sens, se impune să se utilizeze acele metode de codificare a imaginii care să necesite cel mai mic volum de informație.
- În figură (de mai sus) arătăm procesul de definire a granițelor unei imagini și datele memorate.
- În acest caz prima din coordonatele punctului de graniță poate fi numărul liniei de scanare, iar a doua numărul impulsului de sincronizare de la începutul scanării până la apariția semnalului video (granița stângă) sau până la sfârșitul videosemnalului (granița dreapta).
- În acest mod se face economie de memorie fără a se obține un câștig important de timp.
- Economie de memorie și timp de lucru (în prelucrarea ulterioară a informației) se obține codificând conturul imaginii.
- În acest mod se "leagă" printr-o linie teoretică toți pixelii de aceeași valoare.
- Fiecare contur este astfel complet determinat prin specificarea nivelului de gri, localizarea unui pixel pe contur și o secvență de urmărire a conturului.
- Una din posibilitățile de descriere este conferită de codul Freeman.
- Acest cod definește 8 direcții posibile de deplasare pe contur, conform matricii șablon prezentate în figura de mai jos:

4	3	2
5	8	1
6	7	8

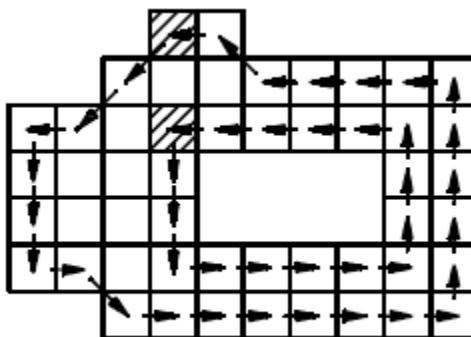
a)



b)

Exemplu de codificare:

a) – codul Freeman; b) - contururi tratate



Procesul de generare a codului

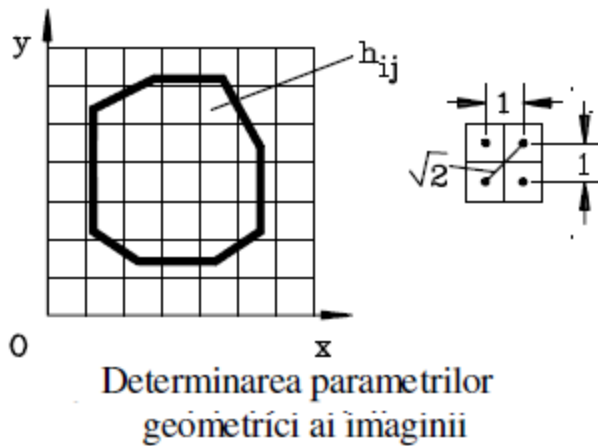
Procesul de deplasare a șablonului la generarea codului Freeman pentru conturul exterior, respectiv interior și pixelii de pornire se prezintă în figura 2. Cele două coduri sunt:

- contur exterior:

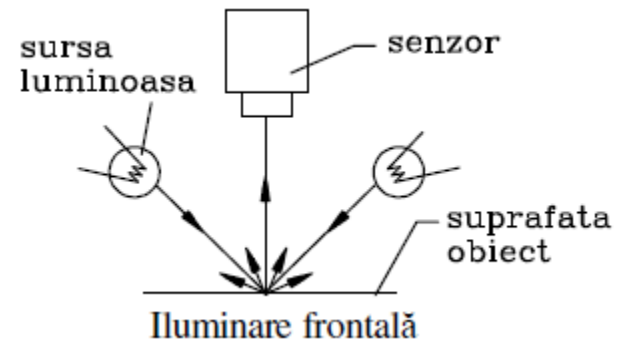
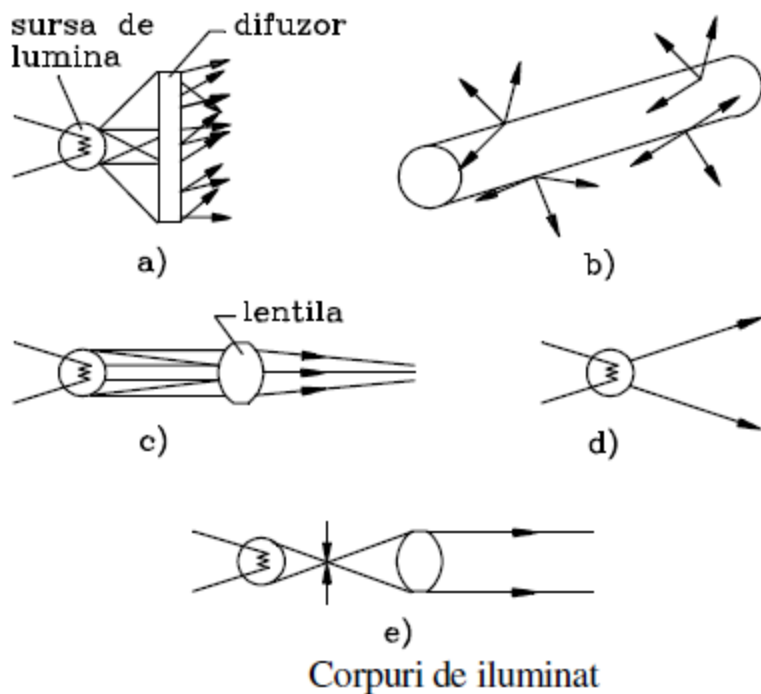
66577718111111133333555545

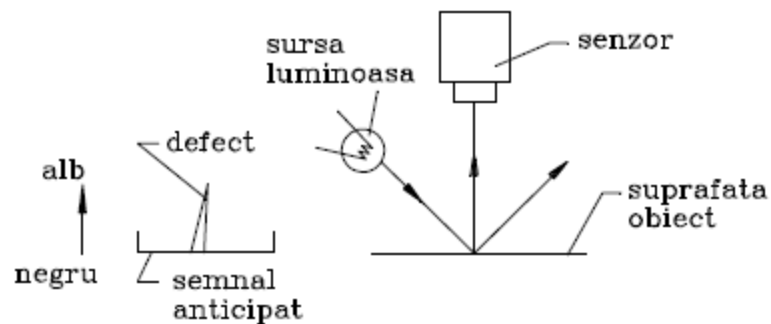
- contur interior: 77711111133355555

- **Modelarea imaginii**
- Imaginea obținută în etapele anterioare este pregătită pentru determinarea unor parametri cantitativi care o caracterizează.
- Reprezentăm imaginea obținută sub forma unei matrici pătrate $H_{n \times n}$ raportată sistemului de coordonate XOY (fig.).

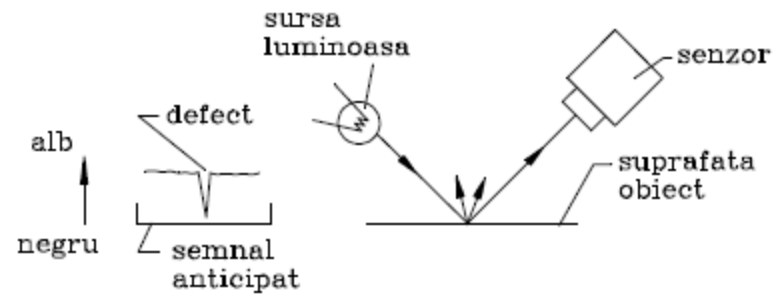


- **Iluminarea obiectului vizualizat**
- În scopul facilității prelucrării imaginii se folosesc diverse metode de iluminare specială.
- Corpurile de iluminat cele mai răspândite în acest domeniu sunt grupate în mod sugestiv în figură:
 - suprafețe difuze (fig.a)
 - lămpi fluorescente – b,
 - reflectoare difuze,
 - condensoare (c),
 - Proiectoare (d),
 - colimatoare (e)].
- În figura se prezintă metoda iluminării frontale. Această tehnică este recomandată pentru obținerea unor trăsături puternic contrastante.



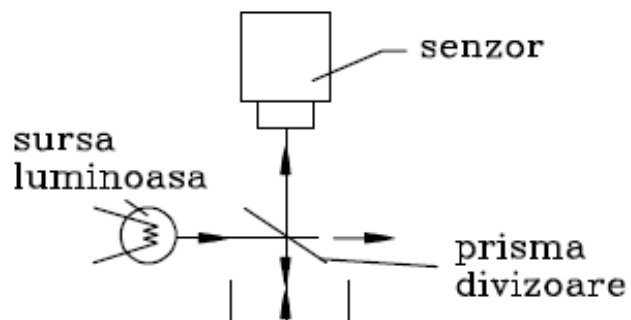


Imagine in cimp intunecat

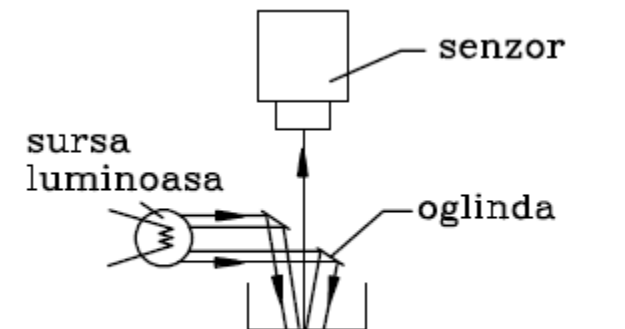


Imagine în câmp luminos

- Iluminare imagine în câmp întunecat.
 - Această metodă este recomandată pentru recunoașterea defectelor.
 - Fondul ar trebui să apară total întunecat, defectele creând singurele schimbări de amplitudine.
- Iluminare imagini în câmp luminos
 - Metoda este recomandată pentru recunoașterea defectelor de suprafață.
 - Uniformitatea iluminării este extrem de importantă pentru această metodă.
 - Variația de amplitudine sugerează existența unui defect.
- Pentru obiecte dificil de iluminat (datorită gabaritului) se pot utiliza metodele prezentate în figura 3 și figura 4.
- În primul caz, sistemul optic utilizează o prismă optică divizoare.
- În cel de-al doilea caz (tehnică mult mai eficientă din punctul de vedere al iluminării) sistemul optic utilizează două oglinzi pentru reflexia razelor luminoase de la sursă spre obiect.

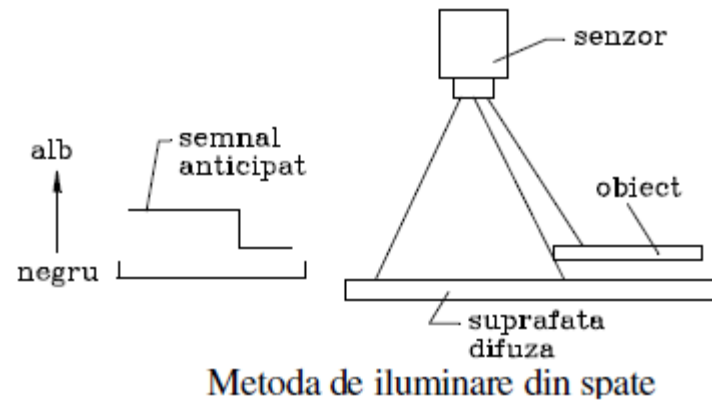
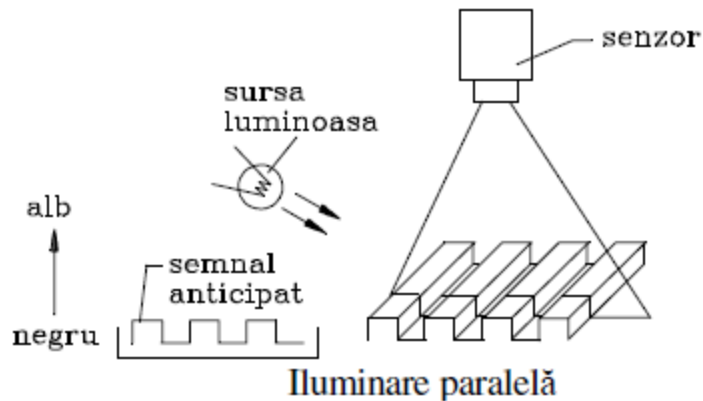


Iluminare prin prisma divizoare



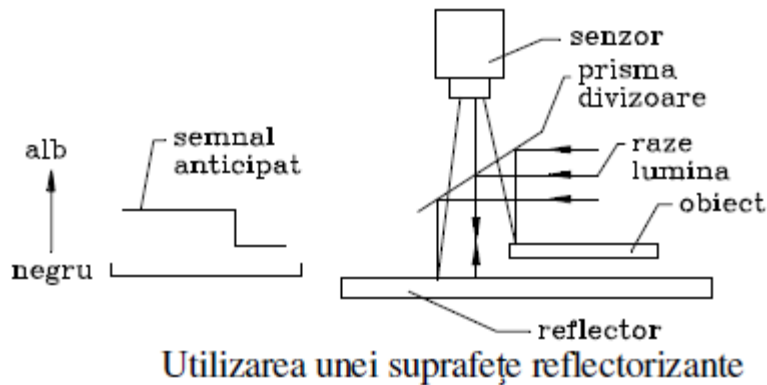
Iluminare cu ajutorul oglinzii reflectoare

- Pentru evidențierea mai precisă a elementelor în relief (concavități și convexități) se utilizează metoda următoare ("structurata") prezentată în figura 1.

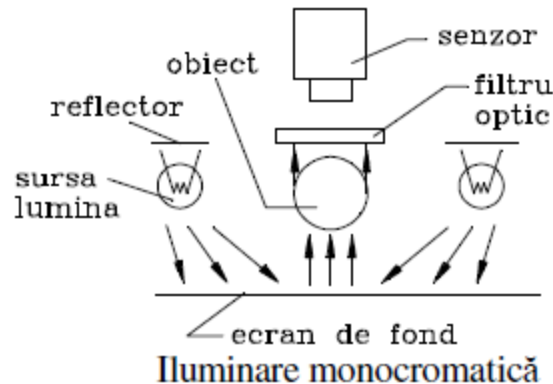


Inspectarea caracteristicilor de siluetă este posibilă printr-o iluminare ca în figura 2 (imagine neagră – în umbră).

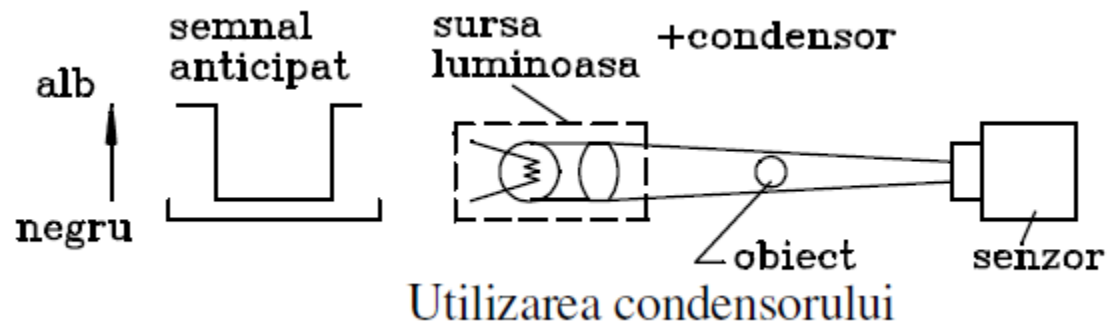
Utilizarea, pentru iluminarea obiectului, a unui sistem optic bazat pe o suprafață reflectoare și o oglindă este prezentată în figura 3



- În fig. se dă un exemplu de folosire a iluminării monocromatice pentru obținerea unei imagini de calitate a obiectelor în condițiile unei iluminări de fond intense.
- Se poate folosi o sursă de lumină monocromatică cu lungimea de undă acordată cu caracteristica spectrală a senzorului.
- În fața senzorului se montează un filtru optic cu bandă îngustă corespunzător cu lungimea de undă de lucru.
- Această metodă permite reducerea influențelor perturbatoare a surselor de lumină străine.



- Realizarea unei iluminări prin utilizarea unui condensor și semnalul anticipat sunt prezentate în figura.
- Conul de lumină trebuie să fie mai larg decât dimensiunea transversală a obiectului. Metoda este foarte eficientă și produce contraste puternice.



Senzori, sisteme senzoriale/ Măsurarea mărimilor electrice și neelectrice 2

Note de curs

Ș.l.dr.ing. Popa Sorin Eugen

Definiții: traductori și senzori

- Traductor - un dispozitiv care transformă o formă primară de energie într-un semnal corespunzător cu o formă de energie diferită
 - Forme de energie primară: mecanică, termică, electromagnetice, optice, chimice etc.
 - Senzor (de exemplu, termometru) este un dispozitiv care detectează o schimbare a unui stimul fizic și îl transformă într-un semnal care poate fi măsurat sau înregistrat
 - dobândește informații din „lumea reală”

Gama și Întinderea / Range and Span

- **Gama**: cele mai mici și cele mai mari valori ale stimulului
- **Span**: diferența aritmetică dintre cele mai mari și cele mai mici valori ale intrării care a fost detectată.
- **Scală completă de intrare** (IFS input full scale) = interval
- **Scală completă de ieșire** (OFS output full scale): diferență între intervalele superioare și inferioare ale ieșirii senzorului.
- **Gama dinamică** (dynamic range): raportul dintre limitele superioare și inferioare și este de obicei exprimat în db

Gama și Întinderea (exemplu)

- Exemplu: un senzor este proiectat pentru: -30°C la $+80^{\circ}\text{C}$ pentru a produce 2,5V la 1,2V
- Gama: -30°C și $+80^{\circ}\text{C}$
- Interval: $80 - (-30) = 110^{\circ}\text{C}$
- Scală completă de intrare = 110°C
- Scală completă de ieșire = $2,5\text{V} - 1,2\text{V} = 1,3\text{V}$
- Gama dinamică = $20\log(110/30) = 13,38\text{db}$

Intrare:

Gama: $0 - 30\text{ cm}$

Span = $30 - 0 = 30$

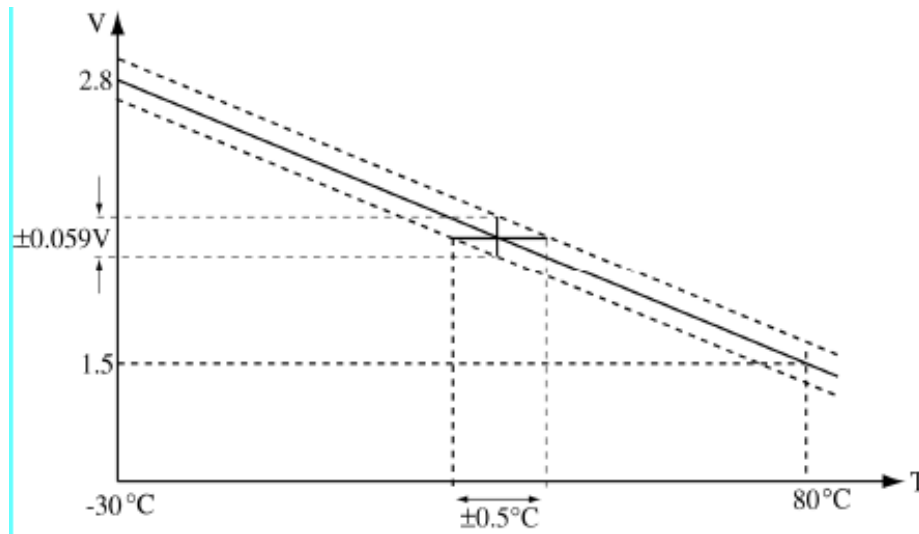
Ieșire Arduino A0:

Gama: $0 - 5\text{ V}$

Span = $5 - 0 = 5$

Eroare și acuratețe

- Eroarea : este diferența dintre rezultatul măsurării și valoarea reală a cantității măsurate
- eroare = valoare măsurată - valoarea adevărată
- $\varepsilon = t_{m\grave{a}s} - t_{adev}$
- Ca procent din scala completă (de exemplu, intervalul), eroarea este calculată ca:
- $\varepsilon = \frac{\Delta t}{t_{max} - t_{min}} \cdot 100$
- unde t_{max} și t_{min} sunt valorile maxime și minime la care dispozitivul este proiectat să funcționeze.

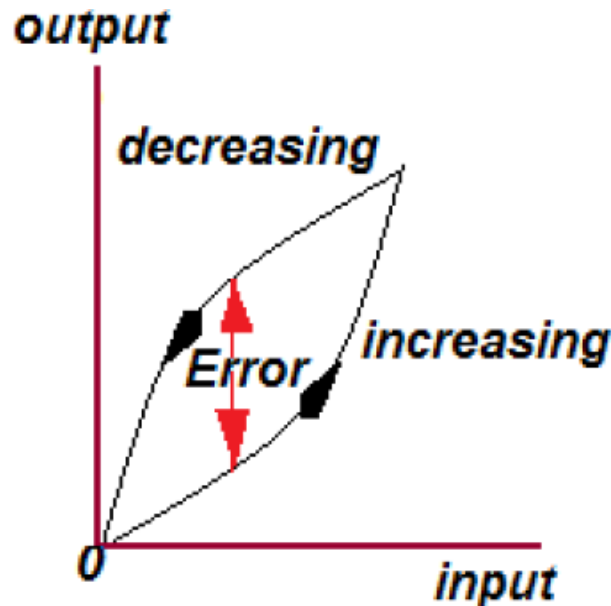


Exemplu: eroare și acuratețe

- Acuratețe: este măsura în care valoarea măsurată ar putea fi greșită și este exprimată în mod normal în procente
- Exemplu: Un termistor este utilizat pentru a măsura temperatura între -30 și $+80$ ° C și pentru a produce o tensiune de ieșire între 2,8 V și 1,5 V.
- Din cauza erorilor, precizia în detectare este de $\pm 0,5$ °C. deci valoarea măsurată poate fi mai mare sau mai mică cu 0,5 °C
 - În ceea ce privește intrarea ca $\pm 0,5$ ° C
 - Procent din intrare: eroare = $[0,5 / (80 + 30)] * 100 = 0,454\%$
 - În ceea ce privește ieșirea. Din funcția de transfer: eroare = $\pm 0,059V$. ?

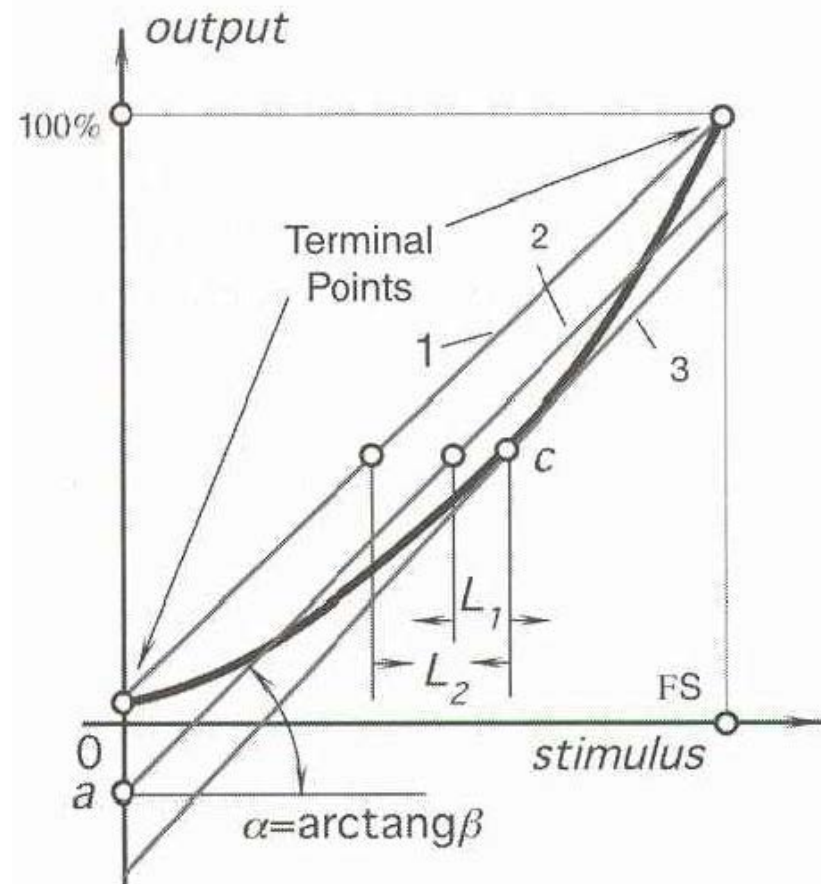
Histerezisul

- Histerezisul este deviația ieșirii senzorului în orice punct dat atunci când este abordat din două direcții diferite
- Cauzată de sistemele electrice sau mecanice
 - Magnetizare
 - Proprietati termice
 - Legături slăbite
- Dacă temperatura este măsurată, la o temperatură nominală de 50°C , ieșirea ar putea fi de 4,95 V când temperatura crește, dar de 5,05 V când temperatura scade.
- Aceasta este o eroare de $\pm 0,5\%$ (pentru o scală completă de ieșire de 10V în acest exemplu idealizat).



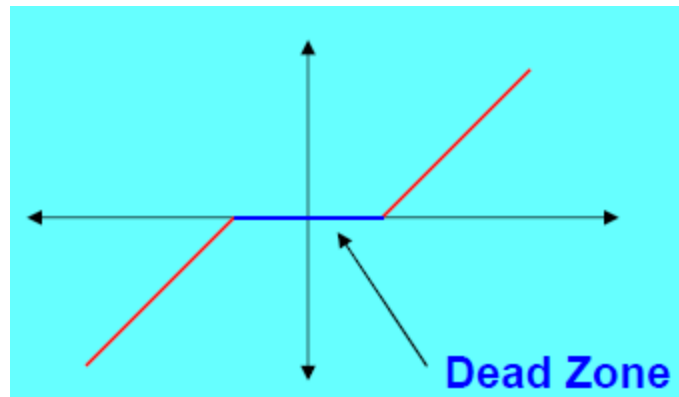
Neliniaritatea

- Neliniaritatea este definită ca abaterea maximă de la funcția ideală de transfer liniar.
 - Neliniaritatea trebuie dedusă din funcția de transfer efectivă sau din curba de calibrare
- Câteva metode pentru a face acest lucru:
 - A. prin utilizarea gamei senzorului
 - Treceți o linie dreaptă între punctele de distanță (linia 1)
 - B. utilizați o potrivire liniară optimă (cele mai mici pătrate) prin punctele curbei (linia 2)
 - C. utilizați tangenta la curbă la un moment dat pe curbă
 - Luați un punct în mijlocul intervalului de interes.
 - -Desenează tangenta și extinde-te la domeniul curbei (linia 3)



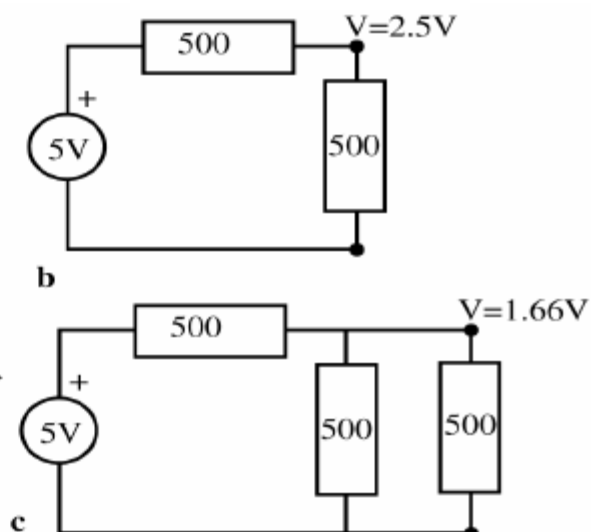
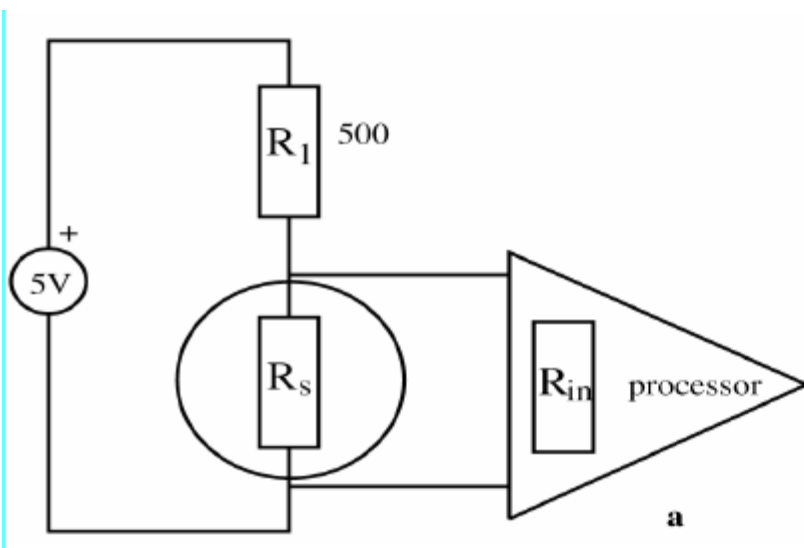
Deadband

- Deadband: lipsa de răspuns sau insensibilitatea unui dispozitiv într-un anumit interval de intrare.
 - În acest interval, care poate fi mic, ieșirea rămâne constantă.
 - Un dispozitiv nu trebuie să funcționeze în acest interval decât dacă această insensibilitate este acceptabilă.



Impedanța de ieșire

- **Impedanță de ieșire**: raportul dintre tensiunea nominală de ieșire și curentul de scurtcircuit al portului (adică curentul când ieșirea este scurtcircuitată)
- **impedanța de ieșire** este importantă pentru interfață
- Exemplu:
 - a) senzor de 500 W (impedanță de ieșire) conectat la un procesor
 - b) impedanța de intrare a procesorului este infinită
 - c) impedanța de intrare a procesorului este de 500 W.



Repetibilitatea

- Numită și **reproductibilitate**: eșecul senzorului de a reprezenta aceeași valoare în condiții identice atunci când este măsurat la momente diferite.
- - de obicei asociată cu calibrarea
- - dată ca procentaj al scalei complete de intrare a diferenței maxime între două citiri efectuate la momente diferite în condiții de intrare identice.

$$\text{Repetibilitatea} = \frac{Val_{MAX} - Val_{MIN}}{\text{gama completă}} \times 100$$

Fiabilitatea

- **Fiabilitatea**: o măsură statistică a calității unui dispozitiv care indică capacitatea dispozitivului de a-și îndeplini funcția declarată, în condiții normale de perare, fără eșec pentru o perioadă de timp sau un număr de cicluri declarate.
 - Dat în ore, ani sau în MTBF (media timpului de bună funcționare)
 - De obicei furnizate de producător
 - Pe baza testării accelerate pe durata de viață

Sensibilitatea

- Sensibilitatea unui senzor este definită ca schimbarea ieșirii pentru o modificare dată a intrării, de obicei o modificare cu o unitate a intrării.
- Sensibilitatea reprezintă panta funcției de transfer.
 - De asemenea, este utilizată pentru a indica sensibilitatea la alt mediu care nu este măsurat.
 - Exemplu: sensibilitatea măsurării rezistenței la schimbarea temperaturii

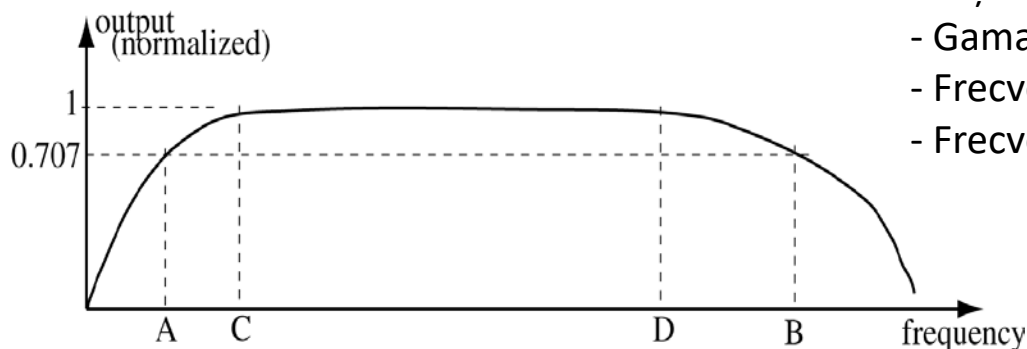
$$\frac{d}{dR}(aT + b) = 1 \quad \rightarrow \quad \frac{dR}{dT} = a \quad \left[\frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}} \right]$$

Rezoluția

- **Rezoluția**: creșterea minimă a stimulului la care senzorul poate răspunde.
- Este magnitudinea modificării intrării care rezultă în cea mai mică ieșire observabilă.
- Exemplu: un voltmetru digital cu rezoluție de 0,1V este utilizat pentru a măsura ieșirea unui senzor.
- Schimbarea intrării (temperatură, presiune etc.) care va oferi o schimbare de 0,1V pe voltmetru este rezoluția sistemului senzor / voltmetru.
- În general, în sistemele digitale, rezoluția poate fi specificată ca $1/2^N$ (N este numărul de biți.)

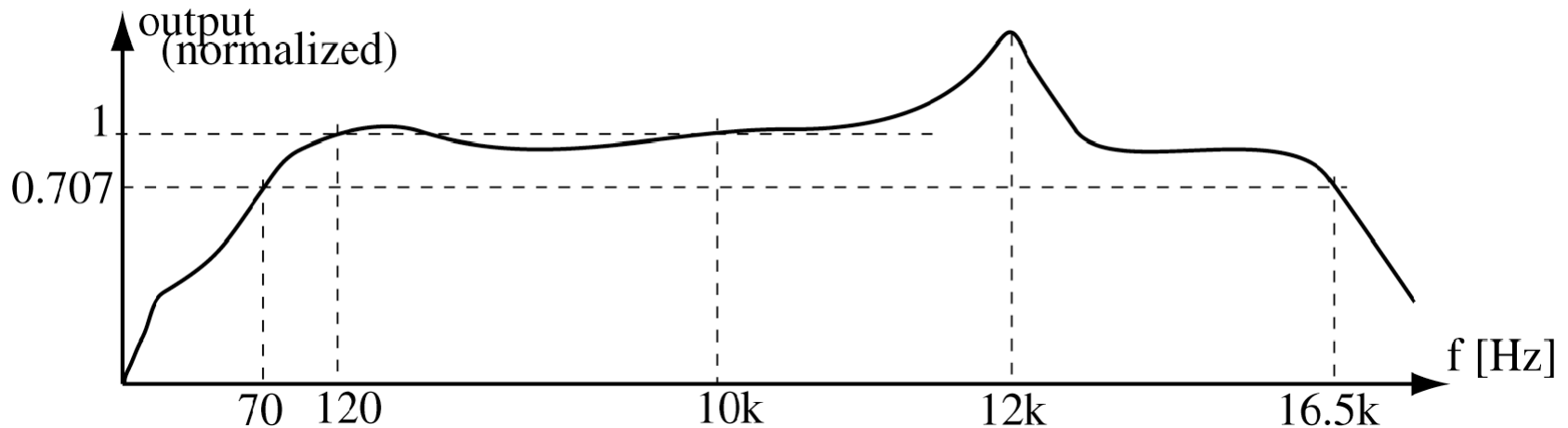
Răspunsul în frecvență

- Răspuns în frecvență: capacitatea dispozitivului de a răspunde la o intrare armonică (sinusoidală)
 - Un grafic de mărime (putere, deplasare etc.) în funcție de frecvență
 - Indică intervalul stimulului în care dispozitivul este utilizabil (senzori și actuatoare)
 - Oferă parametri de proiectare importanți
 - Uneori este dată și faza (perechea de parcele este diagrama Bode a dispozitivului)



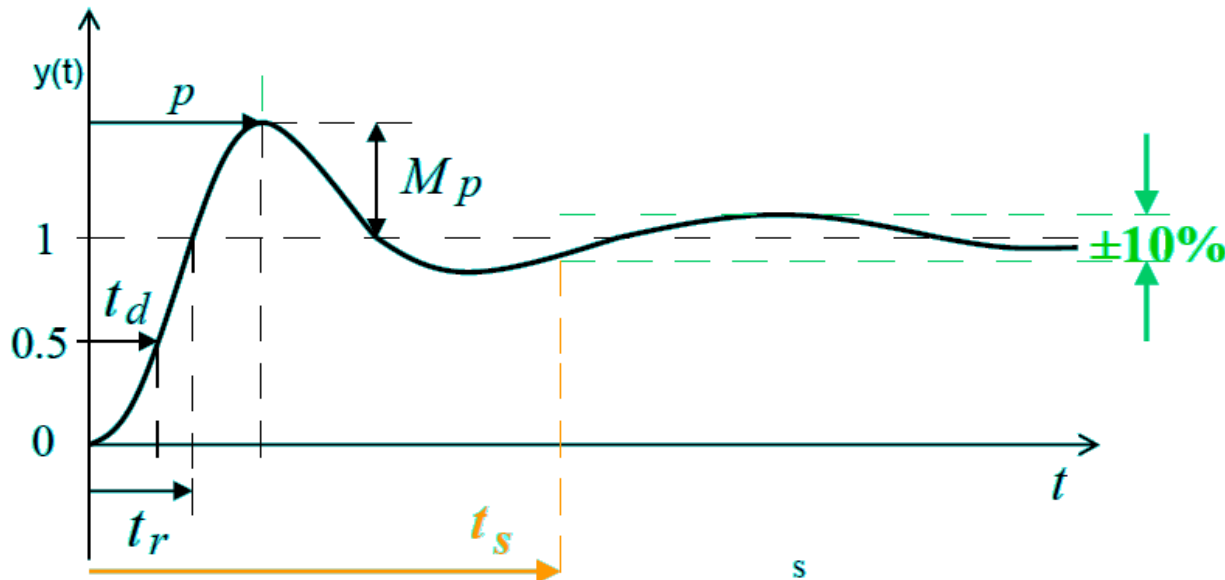
- Parametri de proiectare importanți
 - Lățime de bandă (B-A, în Hz)
 - Gama de frecvențe plate (D-C în Hz)
 - Frecvențe cutoff (punctele A și B în Hz)
 - Frecvențe rezonante

- • Bandwidth: $16.5\text{kHz} - 70\text{Hz} = 16.43\text{ kHz}$
- • Flat frequency range: $10\text{kHz} - 120\text{Hz} = 9880\text{ Hz}$
- • Cutoff frequencies: 70 Hz and 16.5 kHz
- • Resonance: 12 kHz



Timp de răspuns

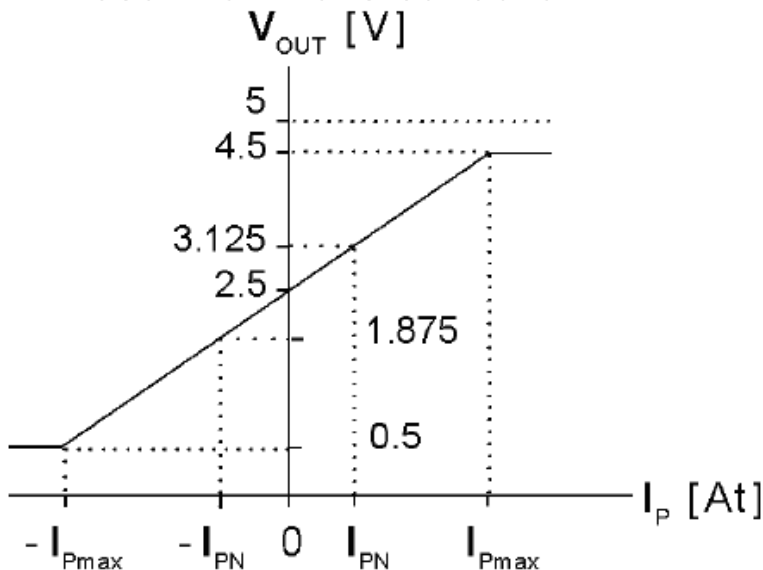
- Timpul de răspuns: indică timpul necesar pentru ca ieșirea să ajungă la starea de echilibru pentru o schimbare pas în intrare.
- În mod obișnuit, timpul de răspuns va fi dat ca timpul necesar pentru a atinge 90% din ieșirea în stare staționară la expunerea la o schimbare de pas în unitate a intrării.
- Timpul de răspuns al dispozitivului se datorează inerției dispozitivului (atât „mecanic”, cât și „electric”).
- De obicei, este de dorit un timp de răspuns rapid
- Timpii de răspuns lent au tendința de a citi media



Calibrarea

- **Calibrarea:** determinarea experimentală a funcției de transfer a unui senzor sau a unui actuator.
- De obicei, este necesar atunci când funcția de transfer nu este cunoscută sau,
- Când dispozitivul trebuie să funcționeze la toleranțe inferioare celor specificate de producător.
- De exemplu, utilizați un termistor cu o toleranță de 5% pe o scală completă de la 0 la 100 ° C pentru a măsura temperatura cu o precizie de, să zicem, $\pm 0,5$ ° C.
- Singurul mod în care se poate face acest lucru este stabilind mai întâi funcția de transfer a senzorului.

- Două metode:
- **Metoda 1.** funcție de transfer cunoscută:
 - - Determinați panta și punctul de trecere (funcția de linie) din doi stimuli cunoscuți (să zicem două temperaturi) dacă funcția de transfer este liniară
 - - Măsurați ieșirea
 - - Calculați panta și punctul de trecere în $V = aT + b$
 - - Dacă funcția este mai complexă, aveți nevoie de mai multe puncte:
 - $V = aT + bT^2 + cT^3 + d$
 - - 4 măsurători pentru a calcula a, b, c, d
 - - Trebuie să alegeți punctele în mod eficient - dacă sunt liniare, utilizați puncte apropiate de interval.
 - Dacă nu, utilizați puncte la distanțe egale sau puncte în jurul locațiilor cu cea mai mare curbură



	I_{PN} [A]	V_{OUT} [V]
1	± 6	2.5 ± 0.625
2	± 3	2.5 ± 0.625
3	± 2	2.5 ± 0.625

Determinați ecuația de ieșire.

- **Metoda 2:**
- • b. Funcție de transfer necunoscută:
 - - Măsurați ieșirea R_i la câte valori de intrare T_i este posibil
 - - Folosiți întreaga durată
 - - Calculați cea mai bună potrivire liniară (de exemplu cele mai mici pătrate)
 - - Dacă curba nu este liniară, utilizați o potrivire polinomială
 - - Poate folosi segmente liniare în bucăți dacă numărul de puncte este mare.

Calibrarea este uneori o cerință operațională (termocupluri, senzori de presiune)

- Datele de calibrare sunt furnizate de obicei de către producător
- Procedurile de calibrare trebuie incluse în documentele de proiectare
- Erorile datorate calibrării trebuie evaluate și specificate

