

TRADUCTOARE

- ***Suport de curs*** -

Științe inginerești aplicate –Inginerie Medicala BN
- anul II, semestrul II -

Conf.dr.ing. Bogdan ȚEBREAN

Departamentul „Electrotehnică și Măsurări

Facultatea de Inginerie Electrică

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Cursul I

Introducere în măsurarea mărimilor neelectrice

1.1 Introducere. Definiții. Generalități.

1.2 Clasificarea traductoarelor

1.3 Problema măsurării electrice a oricărei mărimi neelectrice

1.4 Caracteristicile generare ale schemelor de măsurare ale mărimilor neelectrice:

1.1 Introducere. Definiții. Generalități.

Cuvintele “senzor” și “traductor” sunt folosite în cadrul sistemelor de măsurare.

Senzor - foarte popular în zona americana, în timp ce notiunea de **traductor** - frecvent folosită în zona europeană.

Cuvântul “senzor” este derivat din cuvântul latin sentire care înseamnă “a percepe”, în timp ce “traductor” din transducere care înseamnă “a traversa”.

“**senzor**” → “dispozitiv care detectează o schimbare într-un stimul fizic și o transformă într-un semnal care poate fi măsurat sau înregistrat”,

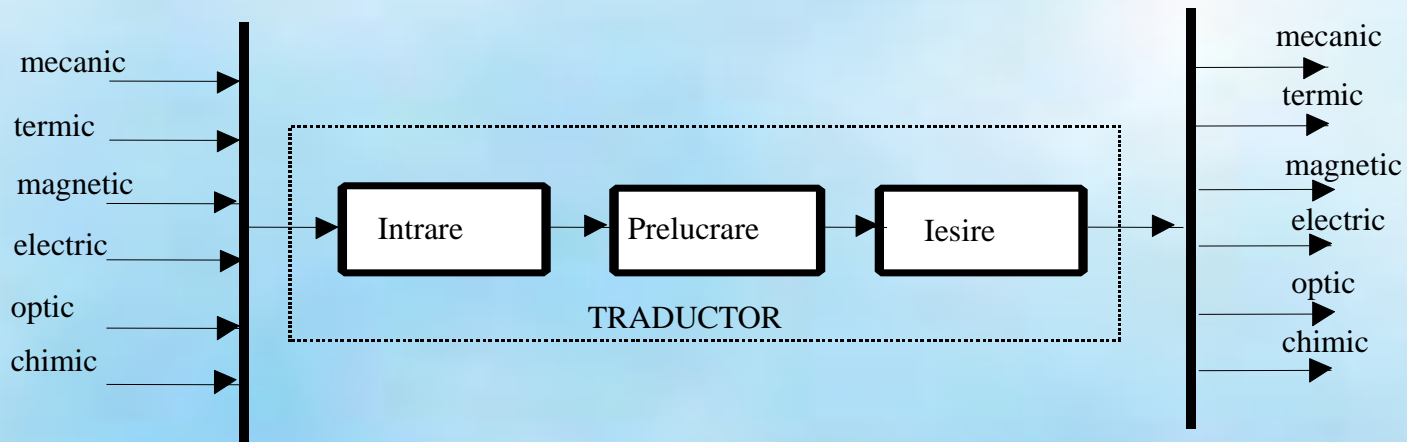
“**traductor**” → “dispozitiv care transferă putere de la un sistem la altul în aceeași formă sau în una diferită”.

Delimitare sensibilă între cele două notiuni: se poate folosi cuvântul “senzor” pentru elementul sensibil în sine, iar cuvântul “traductor” pentru elementul sensibil și circuitele asociate (cunoscute sub denumirea de adaptor).

Într-un cadru general - un **traductor** - un dispozitiv care convertește un semnal de o anumită natură fizică într-un semnal corespunzător având o natură fizică diferită.

1.1 Introducere. Definiții. Generalități.

Deoarece există 6 clase diferite de semnale - mecanic, termic, magnetic, electric, optic și chimic - putem spune că orice *dispozitiv care convertește semnale dintr-o clasă în alta este considerat a fi un traductor*



Consecinta este că - în această accepțiune - semnalul de ieșire al traductorului poate fi de orice natură fizică utilă (folositoare).

În practică însă, numai acele *dispozitive care oferă o ieșire electrică* sunt denumite *traductoare*.

1.2 Clasificarea traductoarelor

CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

<i>Criteriul de clasificare</i>	<i>Tipuri de traductoare</i>	<i>Elemente de caracterizare</i>
1. Forma semnalului de ieșire din traductor	- analogice	- semnalul de ieșire este continuu variabil cu mărimea de măsurat; - se pot utiliza în toate situațiile de măsură.
	- numerice	- semnalul de ieșire se prezintă ca o succesiune de impulsuri sau o combinație de tensiuni, care indică după un anumit cod valoarea instantanee a mărimii de măsurat; - funcționează în regim de comutație, semnalul fiind operat prin intermediul circuitului în care traductorul este plasat; - se pot utiliza pentru majoritatea mărimilor de studiat, dar pe baza unei analize comparative cu traductoarele analogice, în care să se prevadă: viteza de succesiune a măsurărilor, viteza de răspuns a traductorului, limitele valorice de măsurare, precizia, sensibilitatea, repetabilitatea.

CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

<i>Criteriul de clasificare</i>	<i>Tipuri de traductoare</i>	<i>Elemente de caracterizare</i>
2. Principiul de funcționare	- generatoare	- traductoarele furnizează un semnal electric fără a fi alimentate din exterior cu energie electrică; - termocuplul, generatoare tahometrice, dispozitive fotoelectrice, traductoare piezoelectrice, etc.;
	- parametrice	- necesită alimentare din exterior cu energie electrică pentru a furniza un semnal de ieșire dependent de mărimea de studiat; - este cazul mării majorități a traductoarelor neelectrice/electrice: traductoare rezistive, capacitive, inductive, etc.;
3. Mărimea de intrare	- traductoare pentru mărimi geometrice	- traductoare rezistive, inductive, capacitive, cu radiații, fotoelectrice, cu ionizare, piezoelectrice, cu impulsuri, etc.;; - se măsoară în principal următoarele mărimi: deplasări liniare sau unghiulare mari sau mici, dimensiuni liniare sau unghiulare, abateri de lungime, grosimi și grosimi de straturi de acoperire, niveluri de lichide, rugozități, deformări și eforturi unitare;

CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

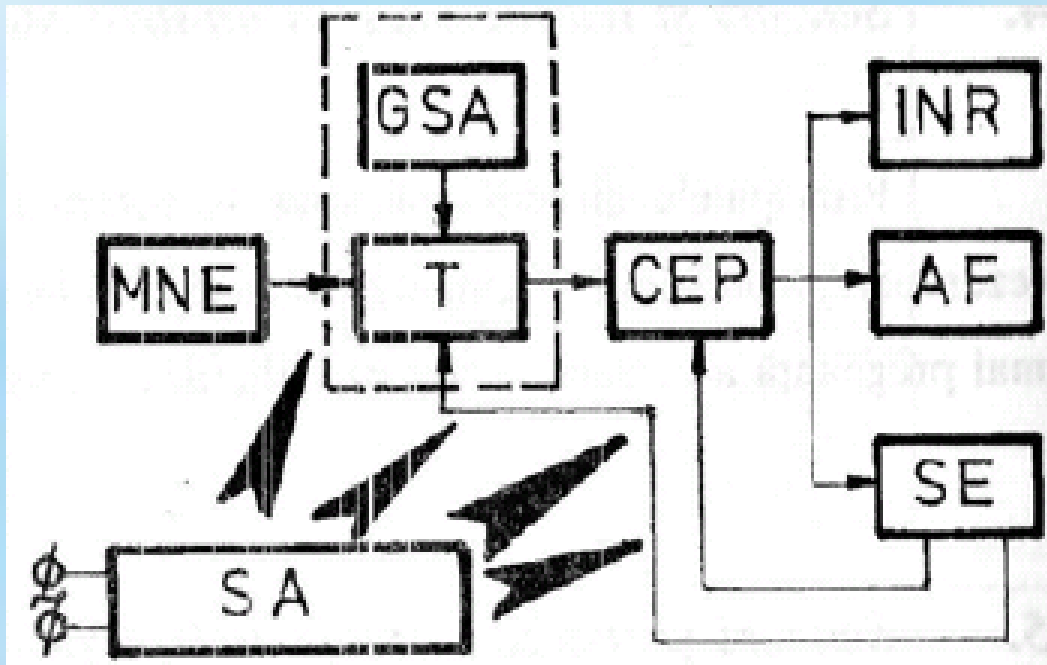
<i>Criteriul de clasificare</i>	<i>Tipuri de traductoare</i>	<i>Elemente de caracterizare</i>
3. Mărimea de intrare <i>(continuare)</i>	- traductoare pentru mărimi mecanice	- traductoare rezistive, inductive, capacitive, tensometrice, piezoelectrice, cu impulsuri, fotoelectrice, etc. - se măsoară în principal următoarele mărimi: mase, forțe, cupluri și puteri mecanice, presiuni, debite, viteze, accelerații, vibrații;
	- traductoare de temperatură	- traductoare rezistive, cu semiconductori, inductive, cu cuarț, cu termocuplu, pirometre de radiație, fotoelectrice, pe baza tensiunii de zgomot, etc.
	- traductoare pentru mărimi fotometrice	- traductoare și dispozitive fotoelectrice bazate pe fenomene de fotoconducție și efecte fotovoltaje, fotomultiplicatoare; - se măsoară mărimi precum: iluminarea unei suprafețe, flux luminos, indici de absorbție, reflexie, refracție, etc.

CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

<i>Criteriul de clasificare</i>	<i>Tipuri de traductoare</i>	<i>Elemente de caracterizare</i>
3. Mărimea de intrare <i>(continuare)</i>	- traductoare pentru măsurări de mărimi chimice, concentrații și umidități	- traductoare electrochimice rezistive, capacitive, fotoelectrice, cu radiații, etc.; - se măsoară mărimi precum: pH, conductibilitate, analize polarografice și cromatografice, umidități ale unor substanțe și ale aerului, etc.;
	- traductoare pentru măsurări de mărimi biologice	- traductoare electrochimice, rezistive, termoelectrice, cu impulsuri fotorezistive, etc.; - se măsoară mărimi precum: percepție senzorială mecanică și luminoasă, investigații în sistemul cardiovascular (presiuni, debite, grad de oxigenare, viteze, ritm cardiac, etc.), concentrații de gaze în aerul expirat, a presiunii, volumului și debitului de aer expirat, temperaturi, etc.;
	- traductoare pentru măsurări specifice în agricultură	- traductoare rezistive, capacitive, cu impulsuri, fotoelectrice, etc.; - se măsoară mărimi precum: condiții meteorologice (presiuni, viteze ale vântului, temperaturi, umidități), gradul de umiditate al solului, gradul de salinitate, etc..

1.3 Problema măsurării electrice a oricărei mărimi neelectrice presupune:

- alegerea unei metode și scheme corespunzătoare;
- transformarea mărimii neelectrice de măsurat sau a variației acesteia într-un semnal electric proportional;
- prelucrarea semnalului în vederea afișării, înregistrării sau a servoexecuției.



- SA – sursă de alimentare;
- MNE- mărimea neelectrică de măsurat;
- T- traductor neelectric/electric;
- CEP – circuit electronic de prelucrare;
- AF- afișare;
- INR – înregistrarea mărimilor de măsurare;
- SE – servoexecuție.

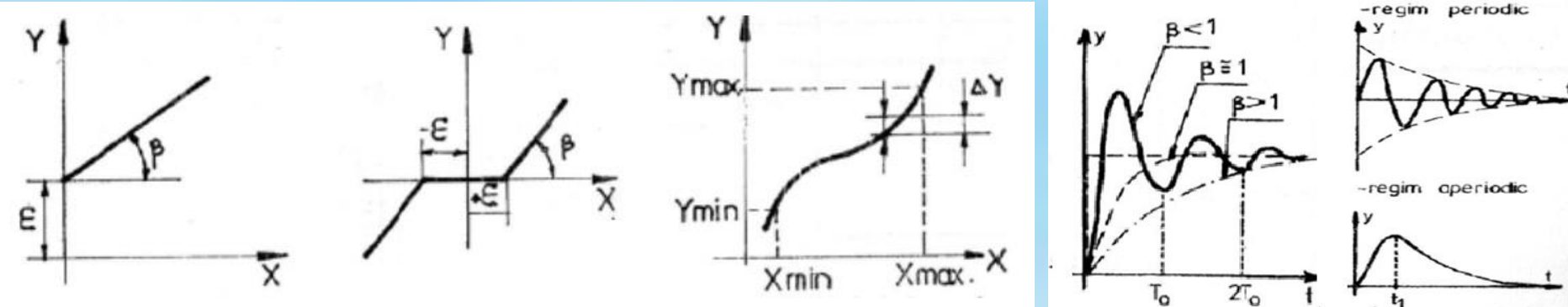
1.4 Caracteristicile generare ale schemelor de măsurare ale mărimilor neelectrice:

- *caracteristici de intrare* (natura semnalului, domeniul de variație și efectul produs asupra naturii semnalului);
- *caracteristici de transfer* (funcția de transfer, etajul sau circuitul de măsurare);
- *caracteristici de ieșire* (natura semnalului, domeniul de variație, efectul produs asupra naturii semnalului și puterea care poate fi transmisă etajului urmator).

Caracteristici de ieșire:

- statice: $X=f(Y)$

- dinamice: $X=f(t)$



Cursul II

Traductoare analogice pentru măsurarea deplasărilor

2.1 Traductoare rezistive analogice de deplasare

2.2 Traductoare capacitive analogice de deplasare

2.3 Traductoare inductive analogice de deplasare

2.4 Traductoare cu efect Hall

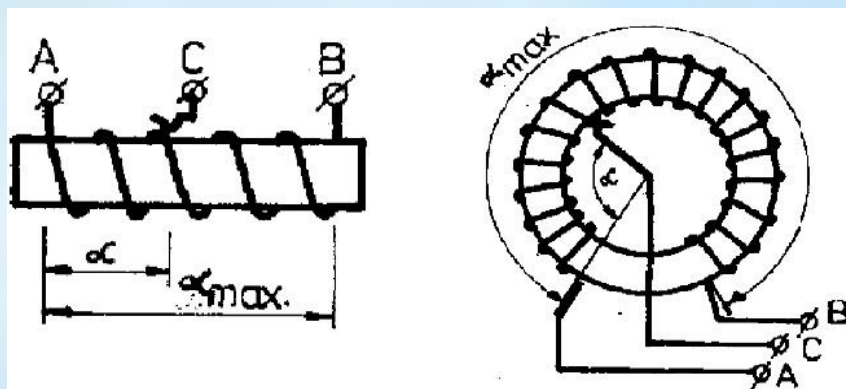
2.5 Traductoare fotoelectrice

2.6 Traductoare interferometrice

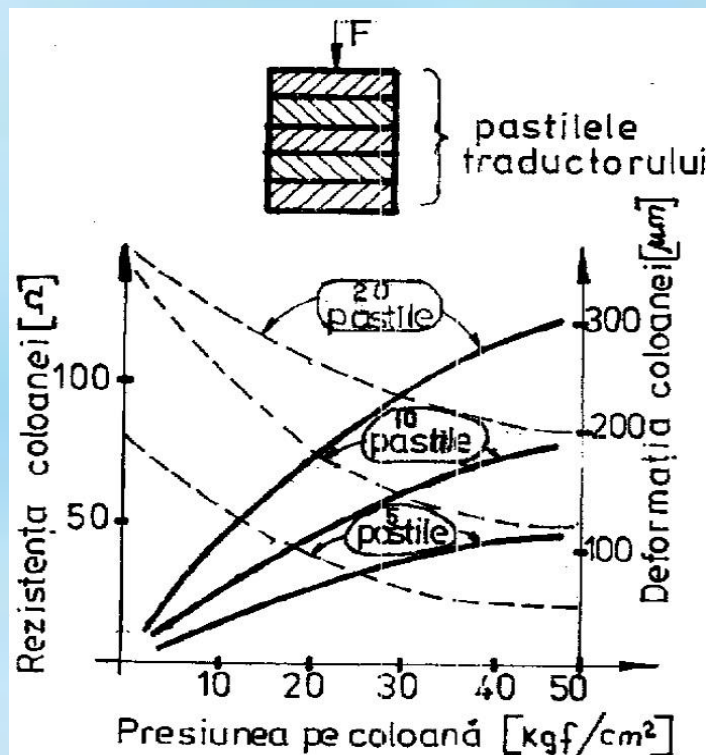
2.7 Traductoare cu fibră optică

2.1 Traductoare rezistive analogice de deplasare

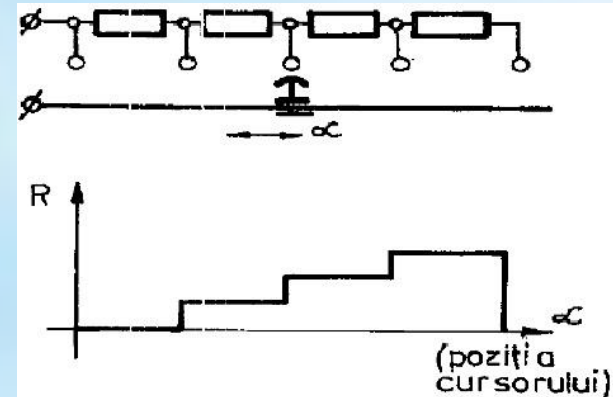
- potențiomtru liniar sau rotativ



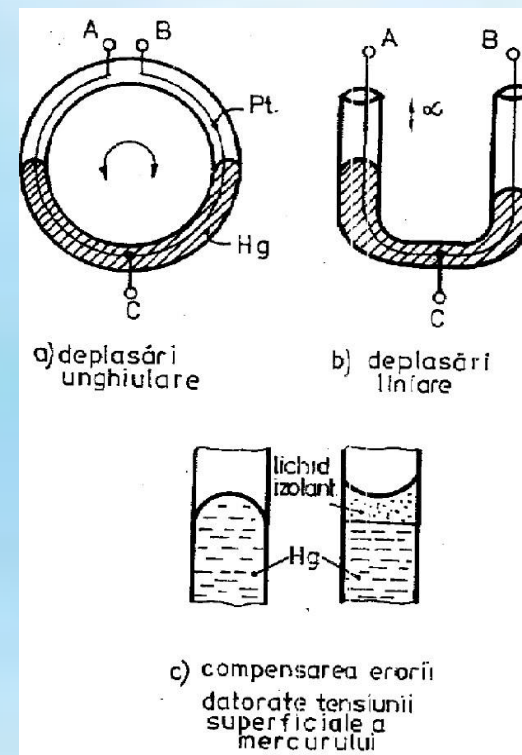
- traductor cu pastile de cărbune



- traductoare cu contacte

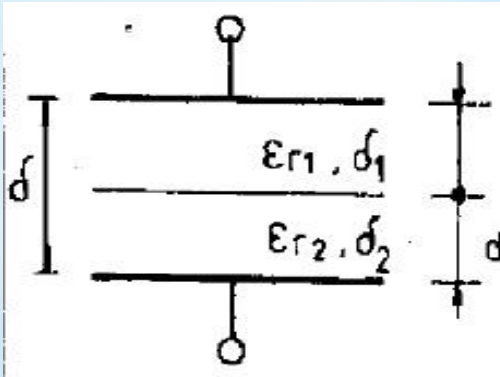


- traductor cu contact de mercur



2.2 Traductoare capacitive analogice de deplasare

- traductor plan cu modificarea distanței dintre armături



$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{\delta_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{\delta_2}{\epsilon_{r2}}}$$

- S - suprafața activă comună a armăturilor;
- ϵ_r - permitivitatea electrică relativă a zonei „i”;
- δ_i - distanța dintre armături.

Dacă $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$ (dielectric aer): $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$; $\delta = \delta_1 + \delta_2$

Dacă $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$ (dielectric aer) și considerând distanța inițială δ_0 dintre armături și d deplasarea de măsurat:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta_0 + d} = \frac{\epsilon_0 S}{\delta_0} \left[\frac{1}{1 + \frac{d}{\delta_0}} \right]$$

- care pentru $d \ll \delta_0$, devine:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta_0} \left[1 - \frac{d}{\delta_0} \right]$$

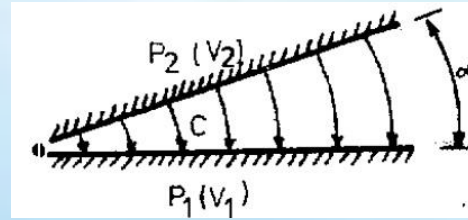
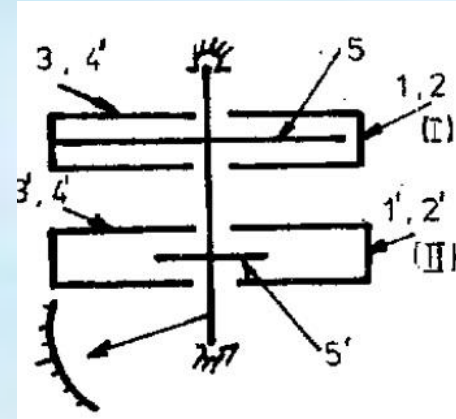
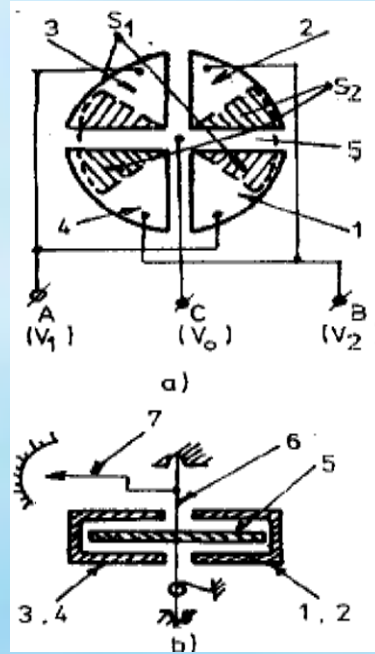
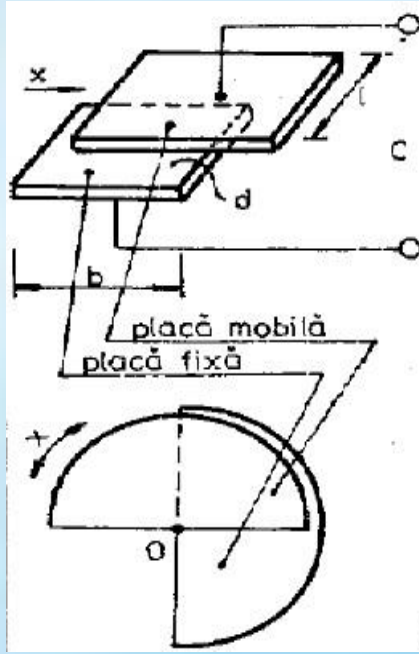
Dacă $\epsilon_{r1} \neq \epsilon_{r2}$, între placile condensatorului se introduce un material de grosime δ_2 și permitivitate ϵ_{r2} :

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta - d + \frac{d}{\epsilon_{r2}}} = \frac{\epsilon_0 S}{\delta} \left[\frac{1}{1 - \frac{d(\epsilon_{r2} - 1)}{\delta_0 \epsilon_{r2}}} \right]$$

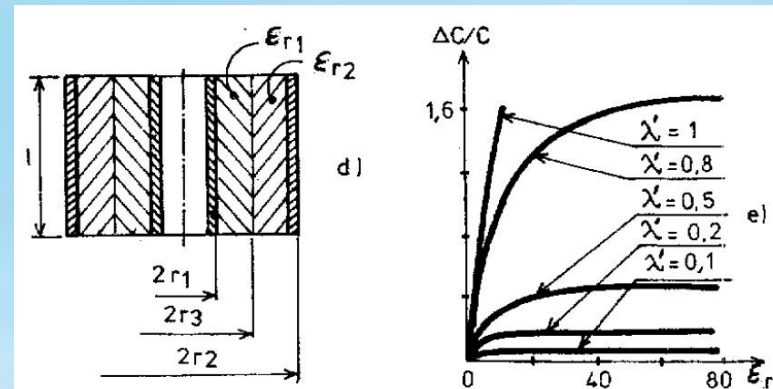
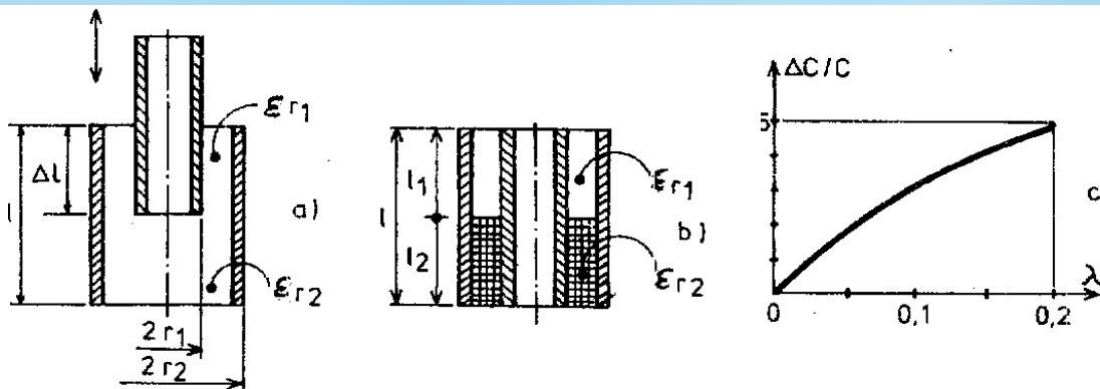
- care pentru $\frac{d(\epsilon_{r2} - 1)}{\delta_0 \epsilon_{r2}} \ll 1$, devine: $C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta} \left[1 + \frac{d(\epsilon_{r2} - 1)}{\delta_0 \epsilon_{r2}} \right]$

- sensibilitatea fiind cu atât mai bună cu cât ϵ_{r2} este mai mare.

- traductoare plane cu modificarea suprafeței comune a armăturilor - pentru deplasări liniare și unghiulare

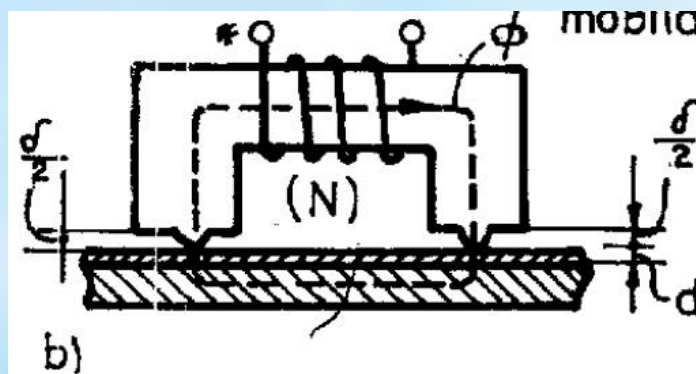
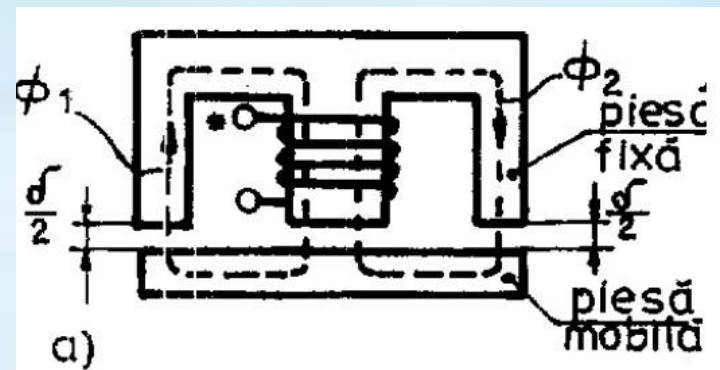


- traductoare cilindrice pentru deplasări liniare



2.3 Traductoare inductive analogice de deplasare

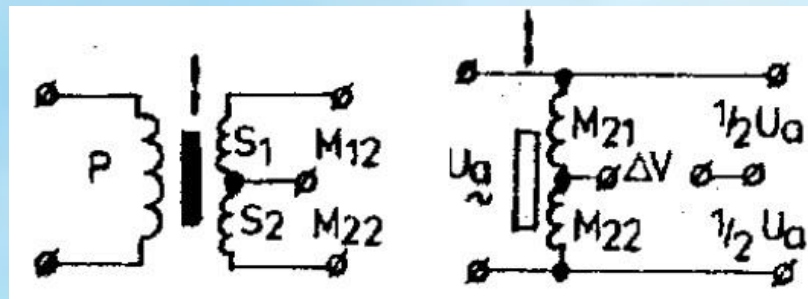
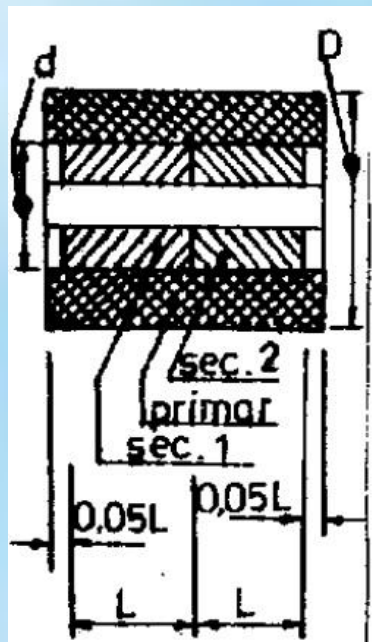
- traductor cu întrefier variabil (mărimea neelectrică de măsurat acționează asupra mărimii l_δ întrefierului)



$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

$$R_m = \frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe} S_{Fe}} + \frac{l_\delta}{\mu_\delta S_\delta}$$

- traductor cu circuit magnetic deschis

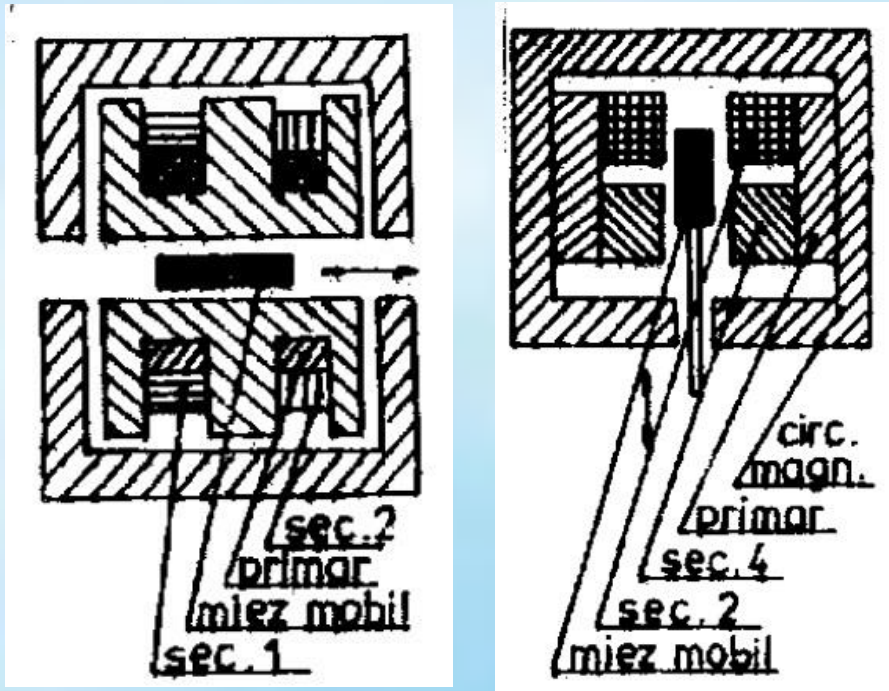


- se prezintă sub forma unui solenoid cu miez acționat de către mărimea de măsurat prin intermediul unui sistem mecanic;

- la variația mărimii de măsurat se modifică poziția miezului, deci inductivitatea bobinei;

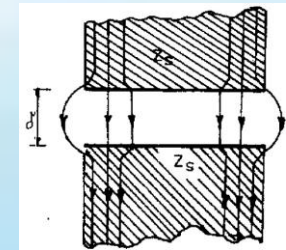
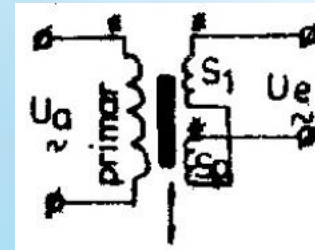
- pentru creșterea sensibilității se recomandă varianta diferențială.

- traductor tip transformator și inductiv diferențial

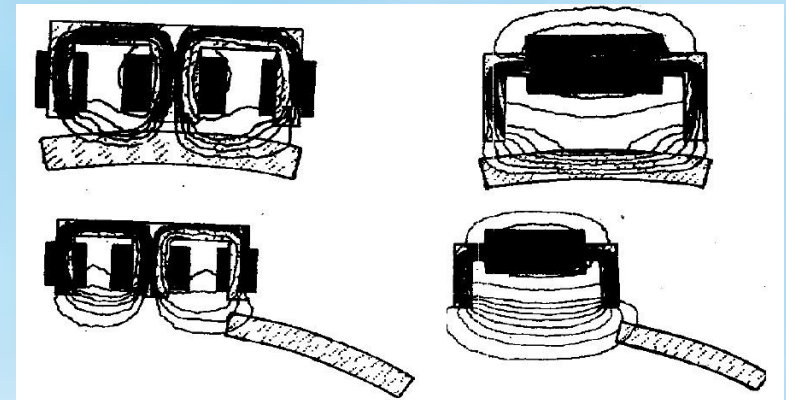
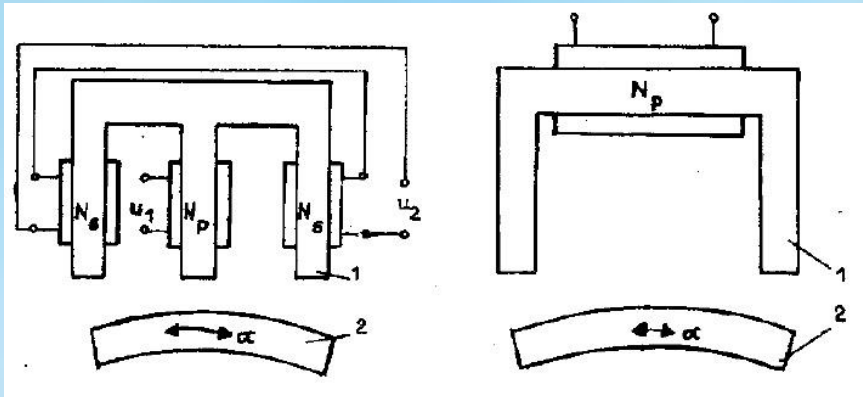


- se prezintă sub forma unui transformator la care fie poziția bobinei primare poate fi modificată (obținând un traductor cu inductanță mutuală variabilă), fie miezul interior se deplasează sub acțiunea mărimii neelectrice de măsurat;

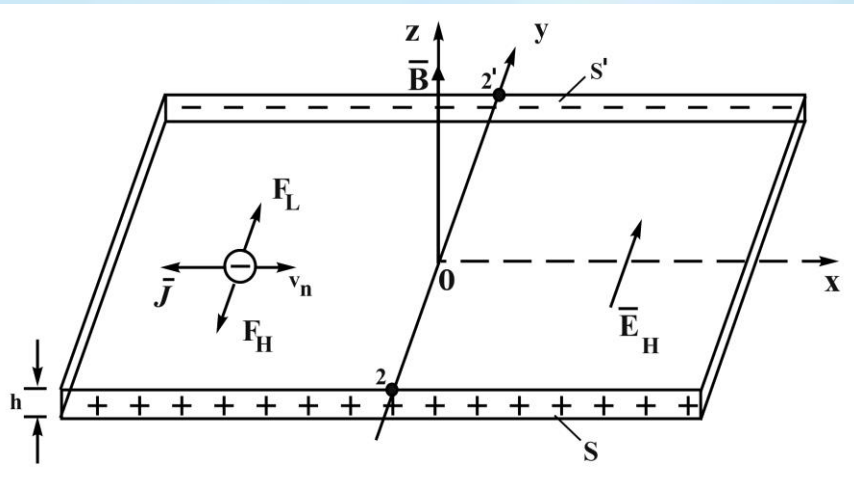
- conferă avantajul separării electrice a circuitului de alimentare față de cel de măsurare.



- traductor tip transformator rotativ



2.4 Traductoare cu efect Hall

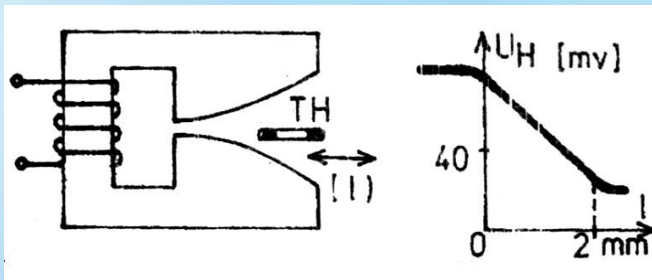


Efectul Hall apare atunci când o placă conductoare sau semiconductoare, parcursă de un curent electric, se află într-un camp magnetic având inducția magnetică normală pe suprafața ei. Atunci când inducția magnetică este prezentă, între două puncte care sunt echipotențiale în lipsa câmpului magnetic se va stabili o diferență de potențial, numită tensiune Hall.

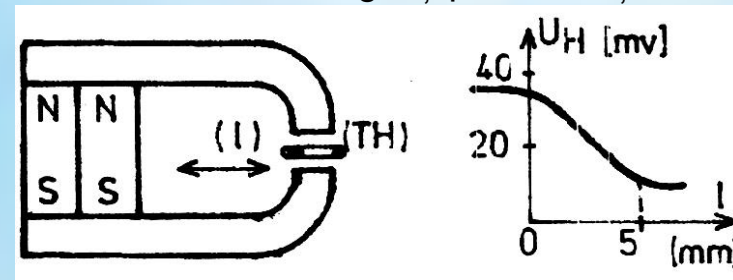
$$U_H = k_H i_c B$$

- U_H - tensiunea Hall;
- k_H - constanta Hall;
- i_c - curentul de comandă;
- B - inducția magnetică normală.

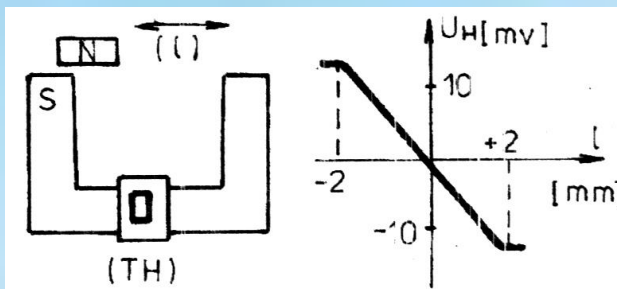
- traductor Hall cu cavitate



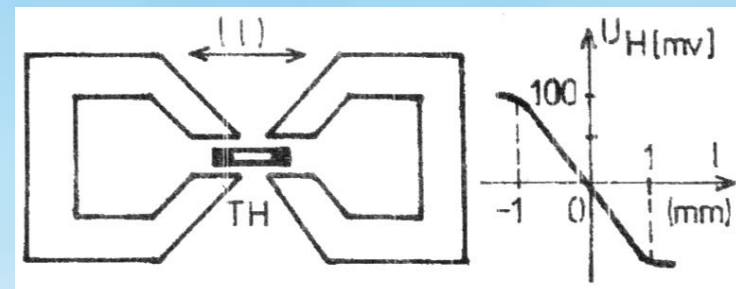
- traductor Hall cu doi magneti permanenți de excitație



- traductor Hall cu circuit magnetic – magnet permanent cu o parte mobilă

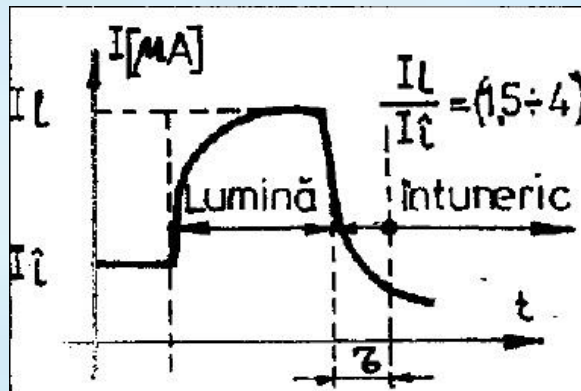


- traductor Hall cu două circuit neomogene magnetice independente diferențiale



2.5 Traductoare fotoelectrice

- aceste traductoare folosesc procedee prin care fluxul luminos care cade pe un fotoelement este convertit în valori de tensiune:



$$U_0 = \frac{k_B T}{2} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_i} + 1 \right)$$

- I_{sc} - curentul de scurtcircuit;

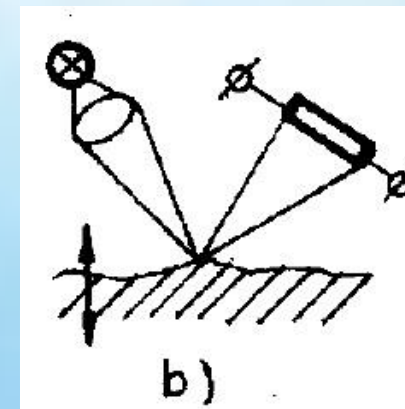
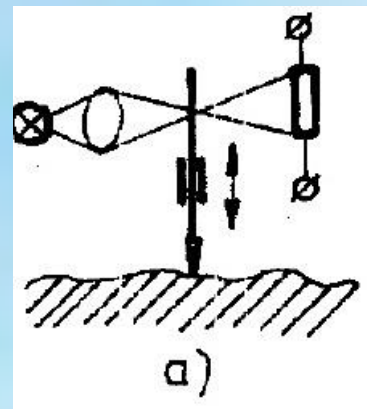
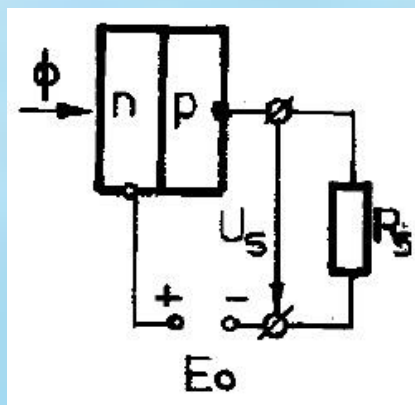
- I_i - curentul de întuneric;

- I_s - curentul de sarcină;

$$U_s = \frac{k_B T}{2} \ln \left(1 + \frac{I_s + I_{sc}}{I_i} \right)$$

- k_B - constanta lui Boltzmann;

- T - temperatura (K).

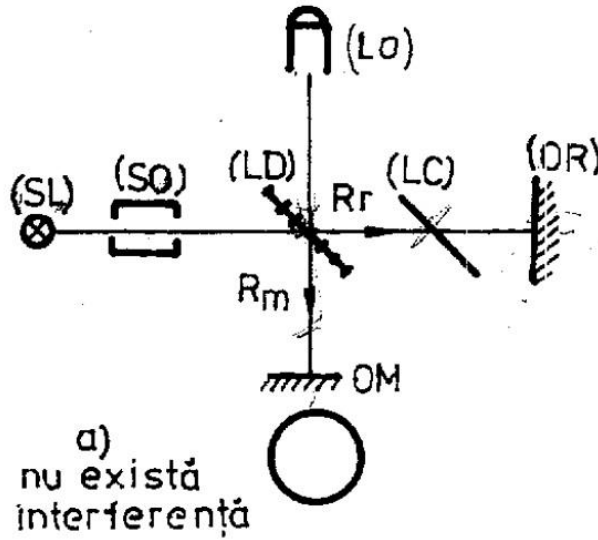


Principalele cerințe ale măsurării deplasărilor cu traductoare fotoelectrice sunt:

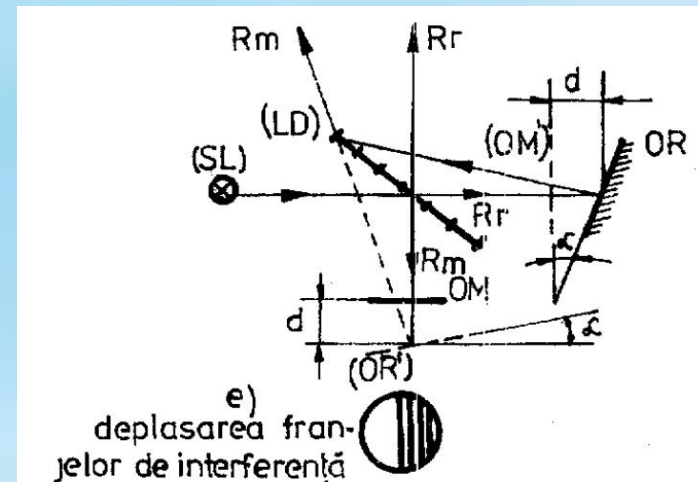
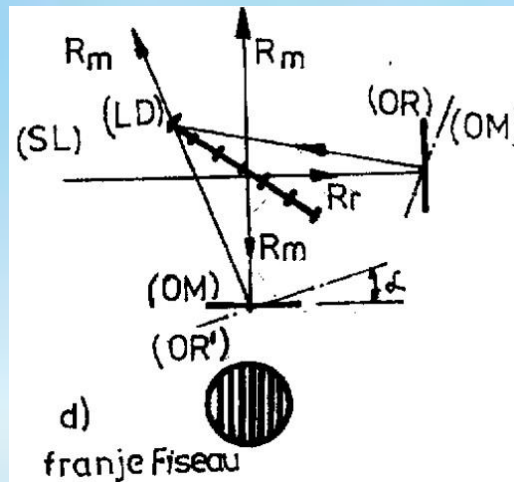
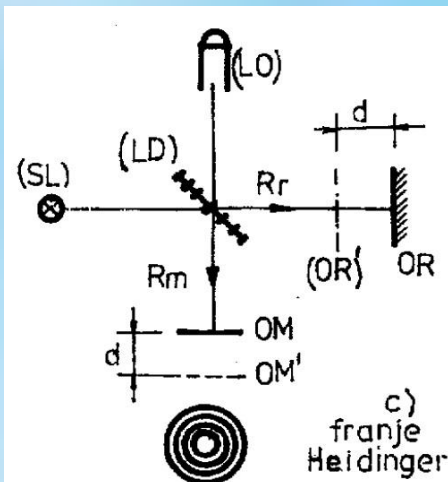
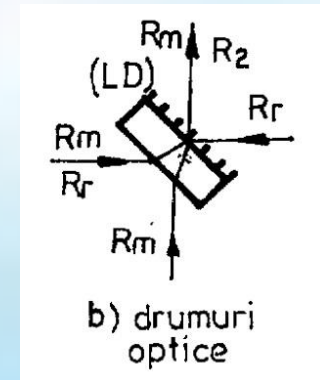
- menținerea constantă a fluxului luminos emis de sursă;
- eliminarea variațiilor locale de temperatură;
- limitarea în timp a utilizării unui fotoelement (apare fenomenul de îmbatrânire).

2.6 Traductoare interferometrice – Interferometrul Michelson

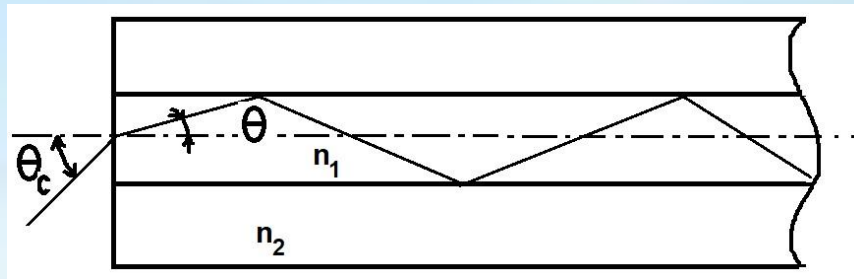
- principiul metodei interferometrice de măsurare a deplasărilor se bazează pe compararea distanței de măsurat cu lungimea de undă emisă de o sursă de referință monocromată, emisă de un laser și exprimarea acestei distanțe printr-un număr proporțional cu numărul de franje de interferență sesizate într-un anumit punct al schemei de măsurare.



- SL- sursă luminoasă;
- SO- sistem optic (cu rol de concentrare și focalizare);
- LD - lamă divizoare;
- OM - sistem de oglinzi măsurând;
- OR - sistem de oglinzi de referință;
- LO – lunetă de observare.

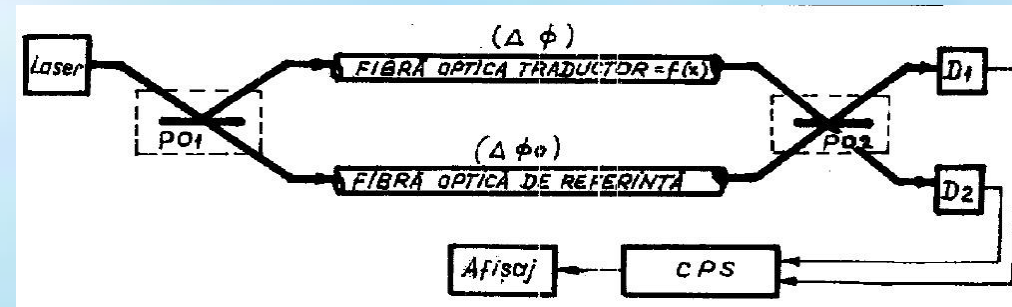


2.7 Traductoare cu fibră optică

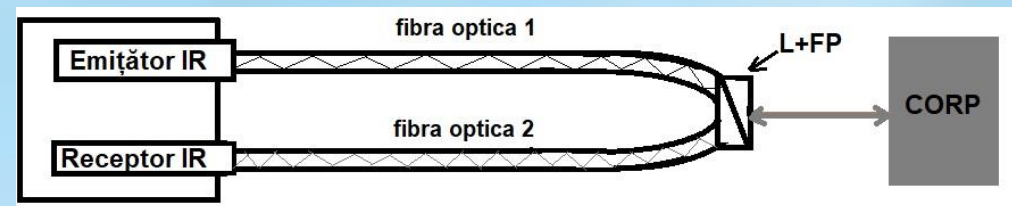


- principiul reflexiei totale (ideal);
- atenuare de 0.5...3dB/km (real);
- material dielectric cu indice de refracție n_1 mic ("inimă") și indice de refracție n_2 mare ("teacă");
- raza luminoasă va urma un traiect în zig-zag în lungul "inimii" fibrei, corecta amplasare a acesteia față de sursa de lumină fiind condiționată de "unghiul critic" θ_c , ca unghi maxim de incidență:

$$\theta < \theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}; n_2 > n_1$$



- raza luminoasă produsă de un laser este ghidată prin intermediul unei prisme optice PO1, la două fibre optice, una de referință, a doua solidară cu deplasarea ce urmează a fi măsurată;
- razele luminoase de la ieșirea fibrelor optice sunt conduse prin intermediul prisme optice PO2 la detectoarele D1 și D2;
- prin intermediul circuitului de prelucrare al semnalului CPS valorile măsurate ajung la afișajul analogic sau digital.



- de la emițătorul IR pornește o rază de lumină prin fibra optică 1;
- lumina focalizată prin lentila (L) ajunge la corpul față de care măsurăm distanța;
- lumina reflectată patrunde doar în fibra optică 2 datorită filtrului de polarizare (FP);
- în funcție de intensitatea luminii detectate de receptor se măsoară distanța.

Cursul III

Traductoare numerice pentru măsurarea deplasărilor

3.1.1 Rigle incrementale și codificate

3.1.2 Traductoare numerice cu efect Hall

3.1.3 Traductoare numerice capacitive

3.1.4 Dispozitive și circuite detectoare de proximitate

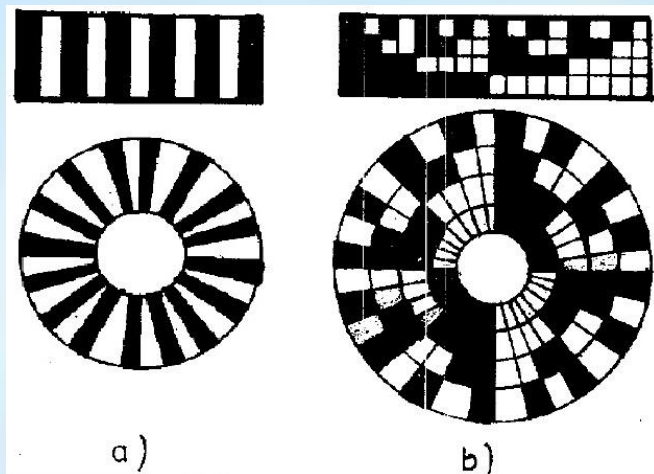
3.1.5 Radarul

Măsurarea grosimilor

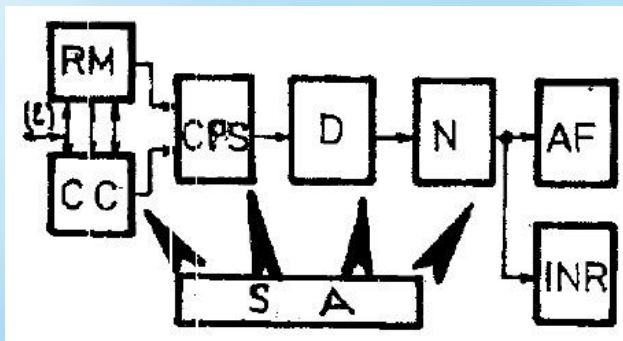
3.2.1 Măsurarea grosimilor plăcilor metalice

3.2.2 Măsurarea grosimilor straturilor de acoperire

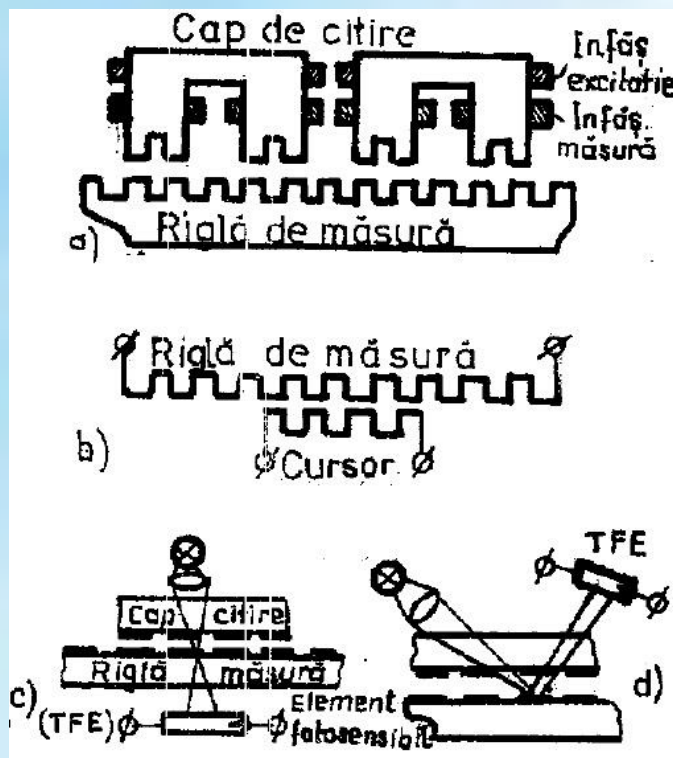
3.1.1 Rigle incrementale și codificate



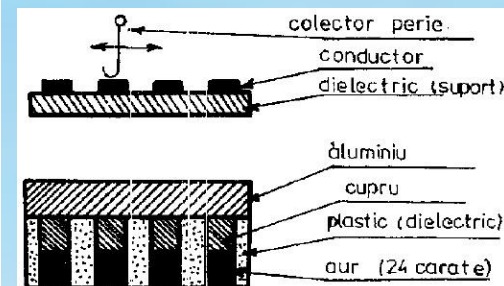
- au drept semnal de ieșire impulsuri electrice al căror cod corespunde poziției corpului a cărui deplasare se măsoară;
- rigle incrementale (cu diviziuni egal repartizate);
- rigle codificate (cu diviziuni dispuse conform unui anumit cod);



- RM – rigla de măsură;
- CC – cap de citire;
- CPS – circuit de prelucrare a semnalului;
- D – circuit de decodificare;
- N – numărător;
- AF – afișaj;
- INR – înregistrator;
- SA – sursă de alimentare.

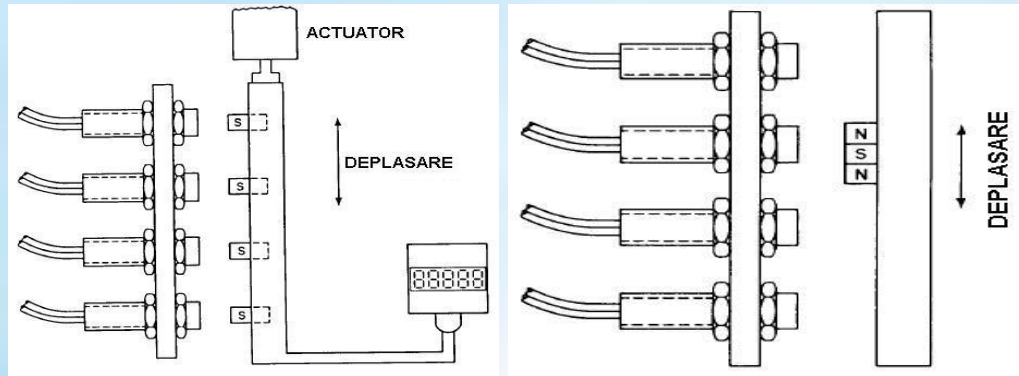
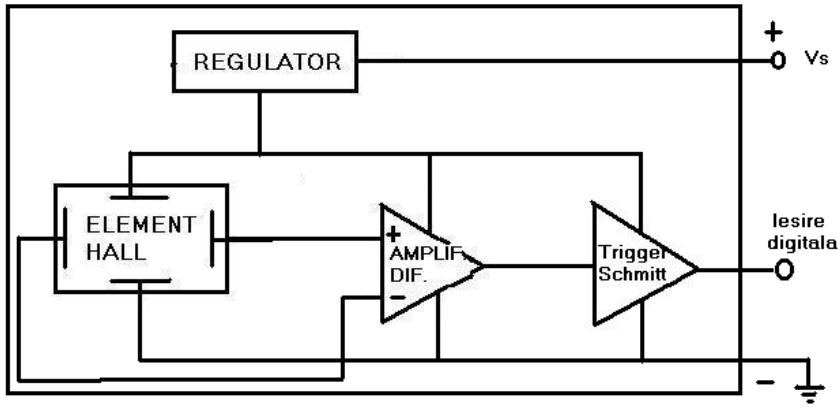


- a) tastare magnetica
- b) tastare inductiva
- c) tastare fotoelectrica
- d) tastare fotoelectrica
- e) tastare de contact

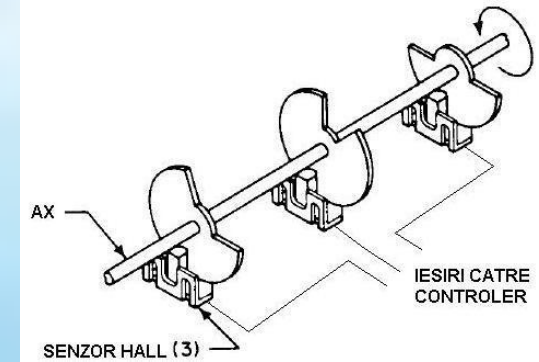
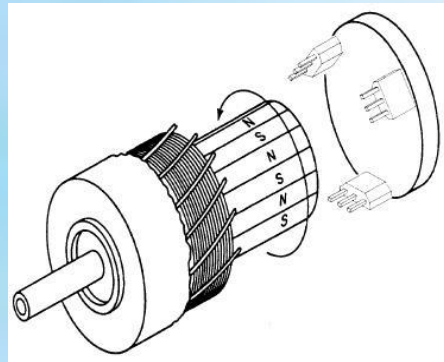
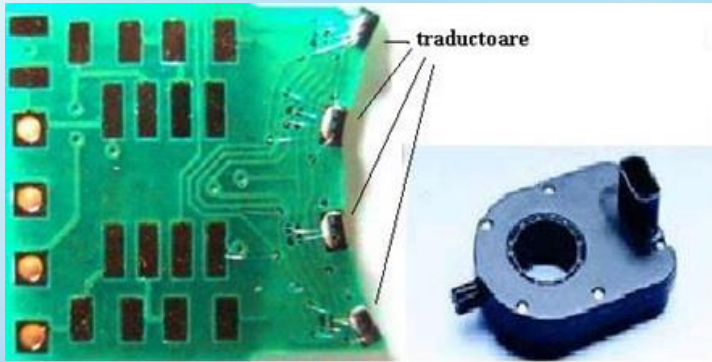


3.1.2 Traductoare numerice cu efect Hall

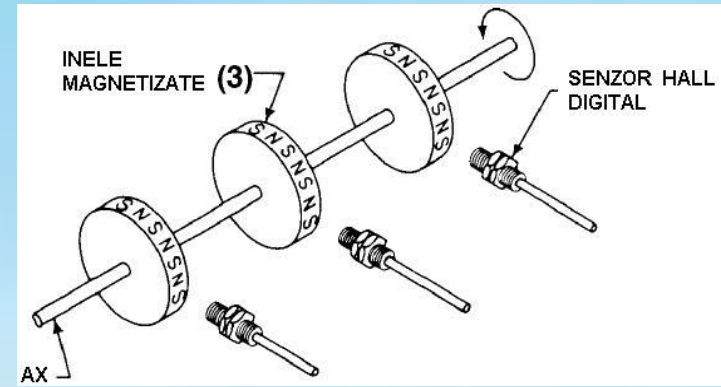
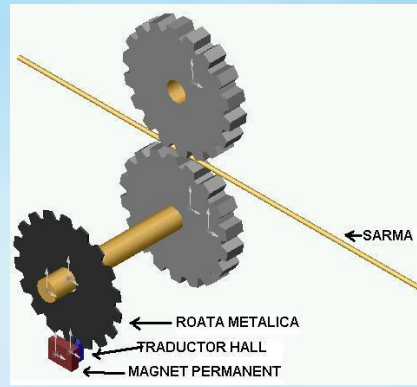
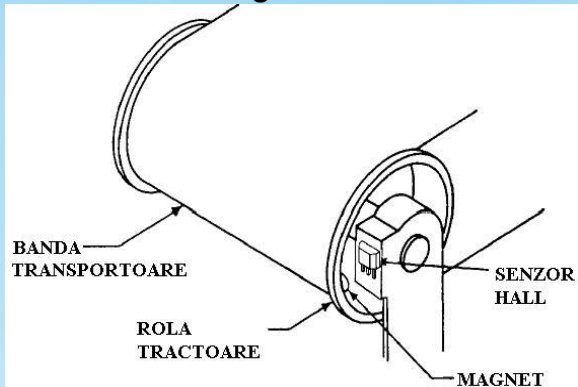
- determinarea poziției liniare cu traductoare Hall



- determinarea poziției unghiulare cu traductoare Hall

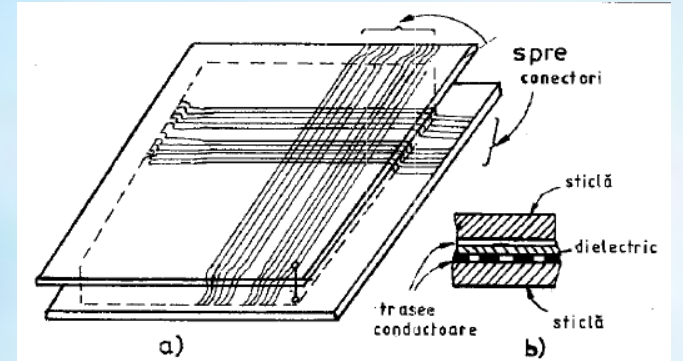
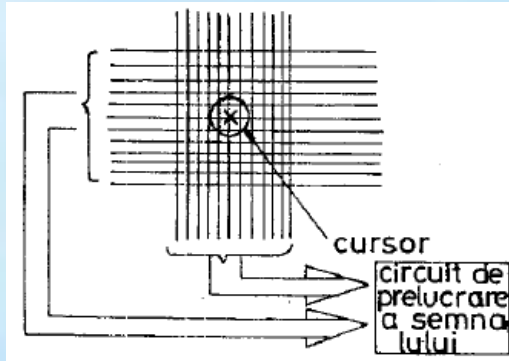
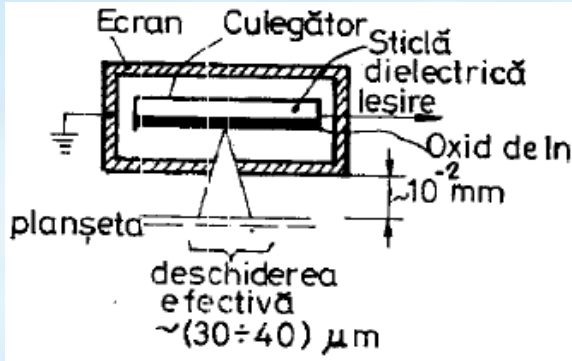


- măsurarea lungimilor:

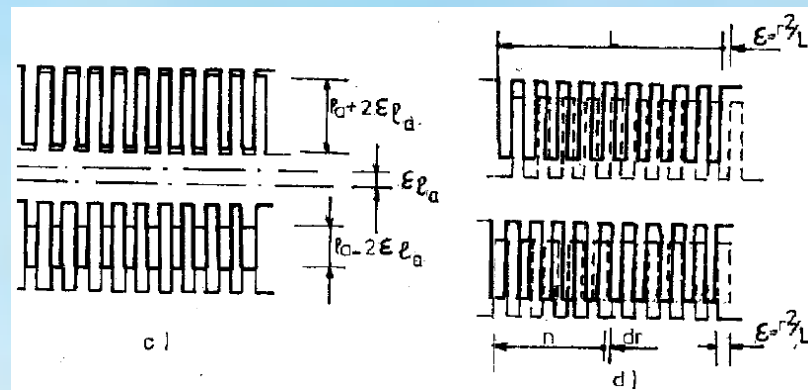
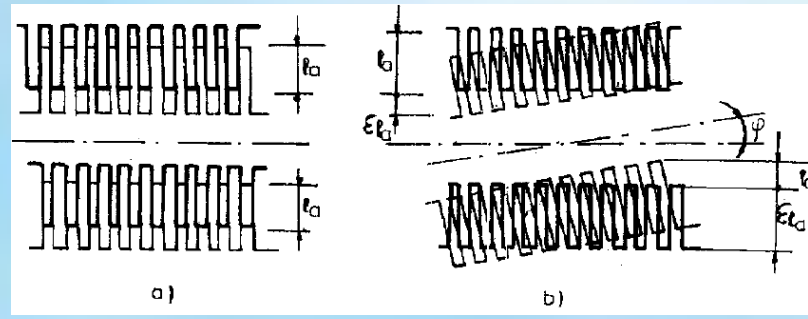
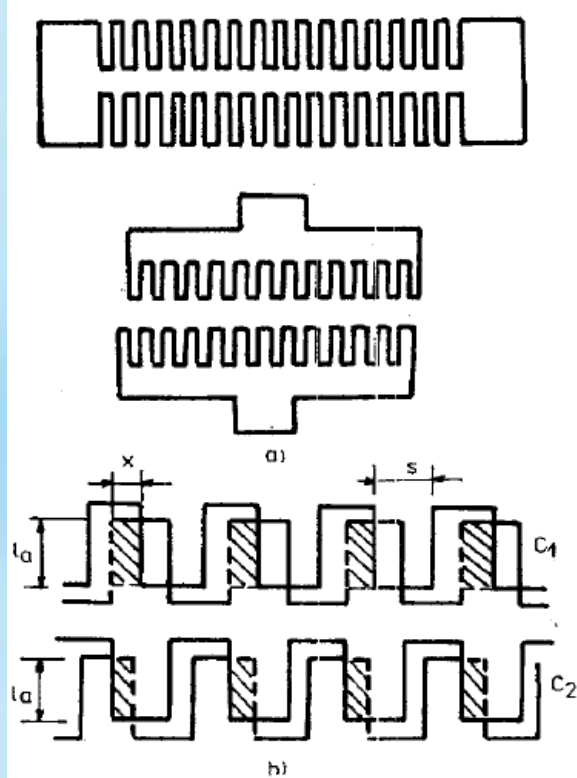


3.1.3 Traductoare numerice capacitive

- determinarea coordonatelor unui punct oarecare situate pe o reprezentare grafică în raport cu un punct fixat



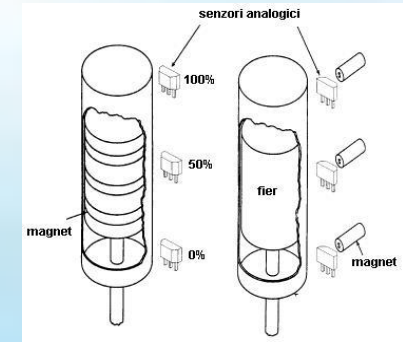
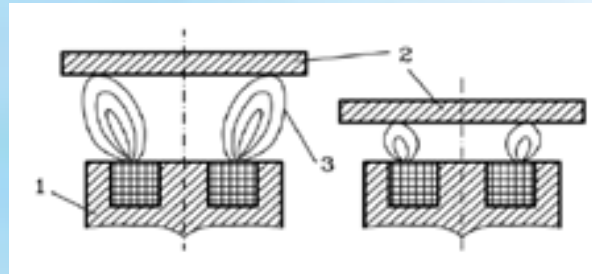
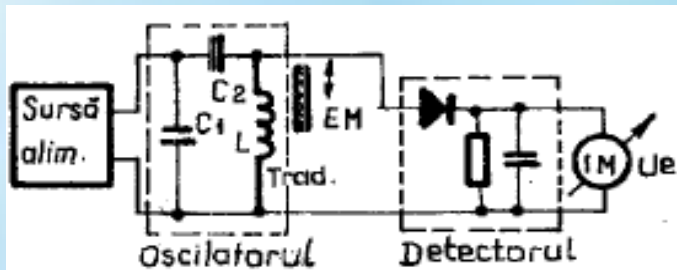
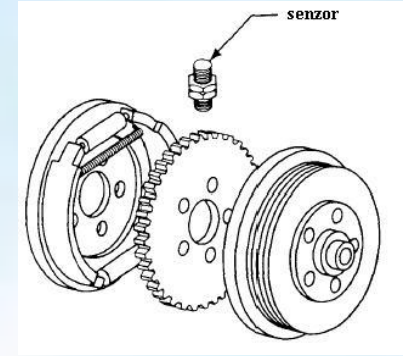
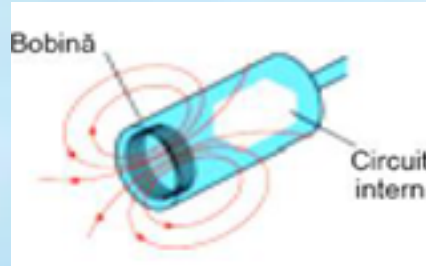
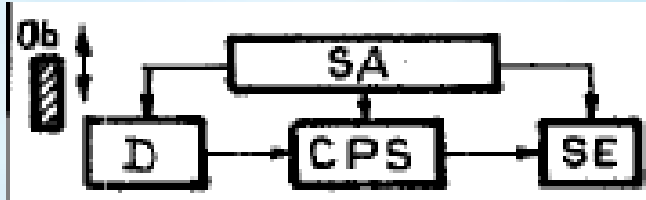
- determinarea deplasării prin suprapunerea armăturilor (șublerul electronic)



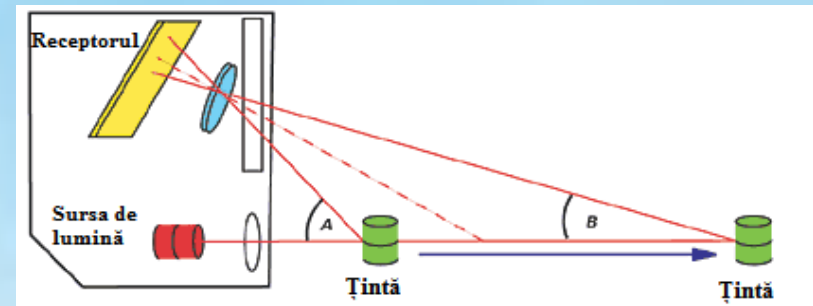
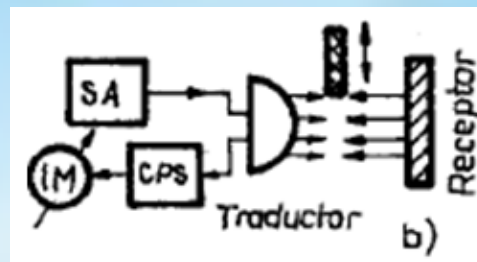
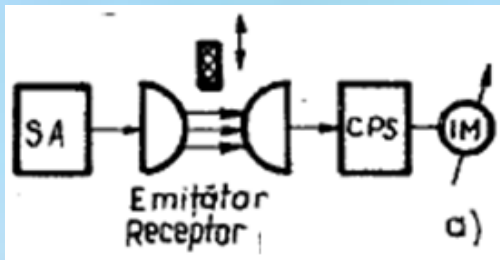
3.1.4 Dispozitive și circuite detectoare de proximitate

- sesizarea apropierii sau depărtării unui obiect de o anumită poziție de referință

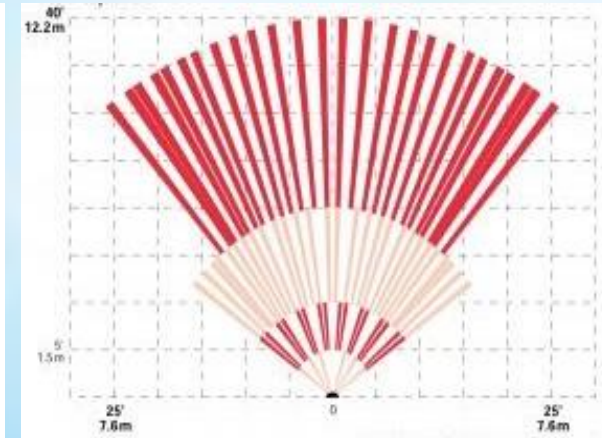
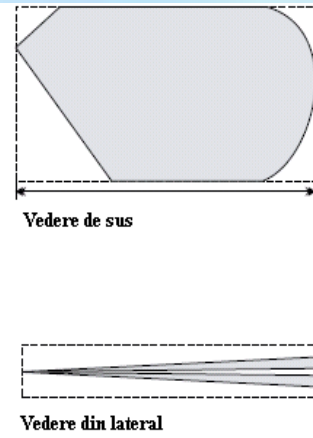
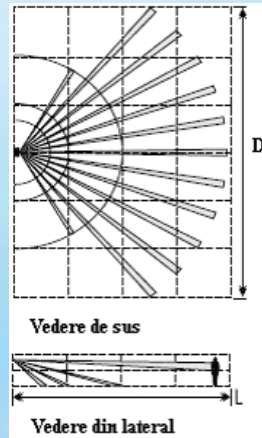
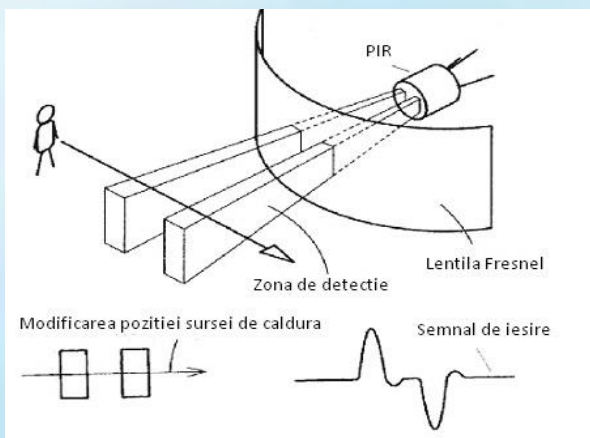
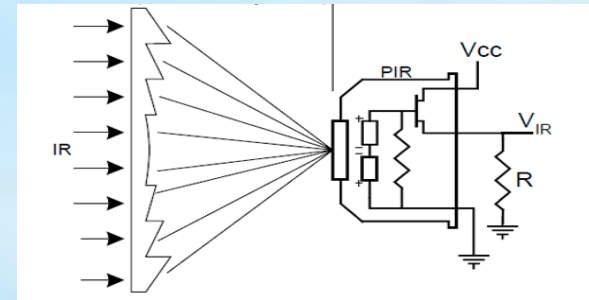
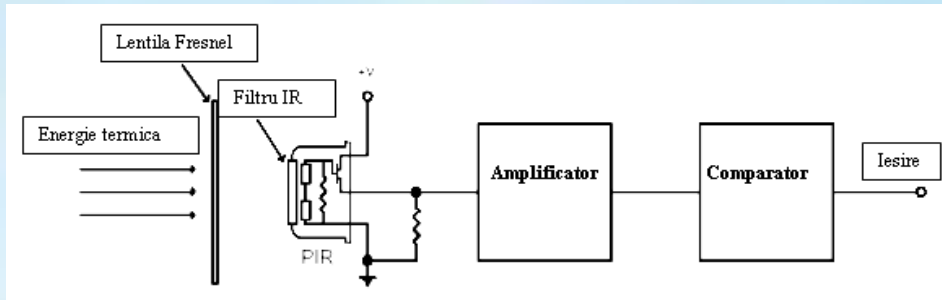
- traductoare inductive de proximitate:



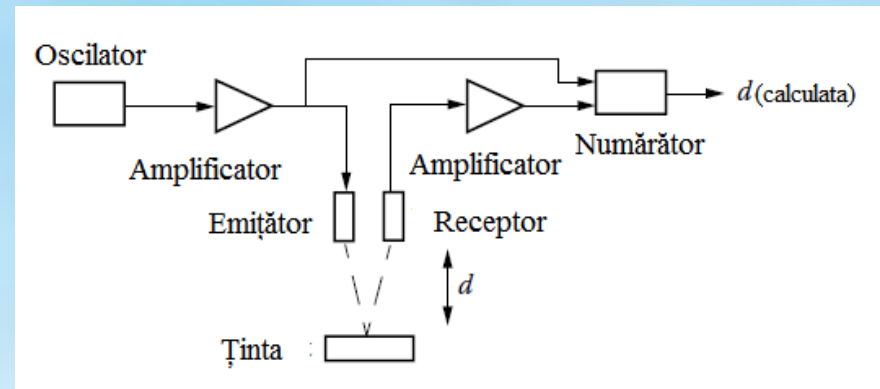
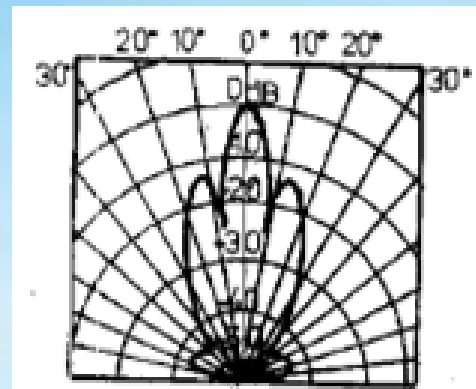
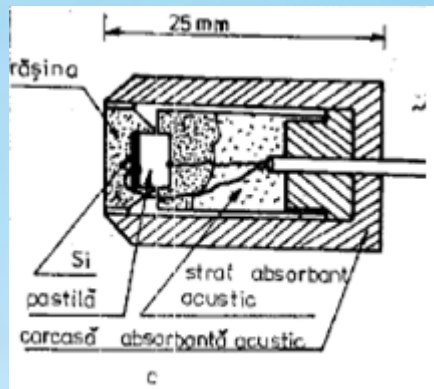
- traductoare optice de proximitate:



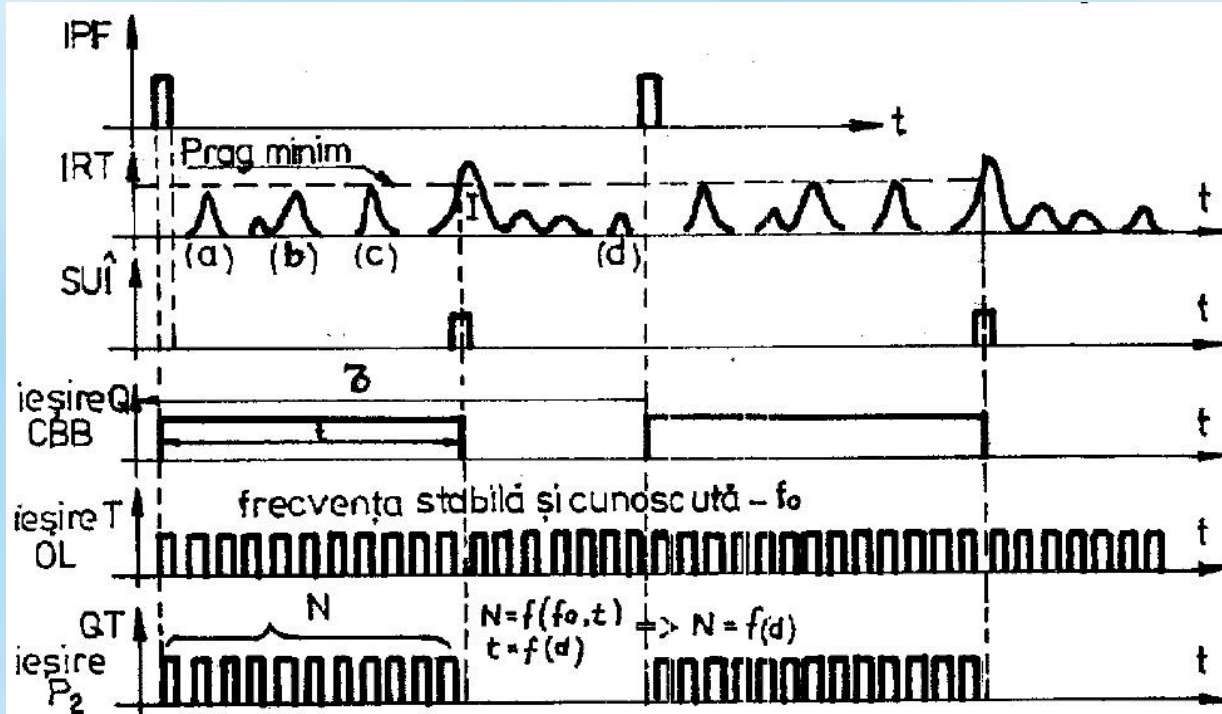
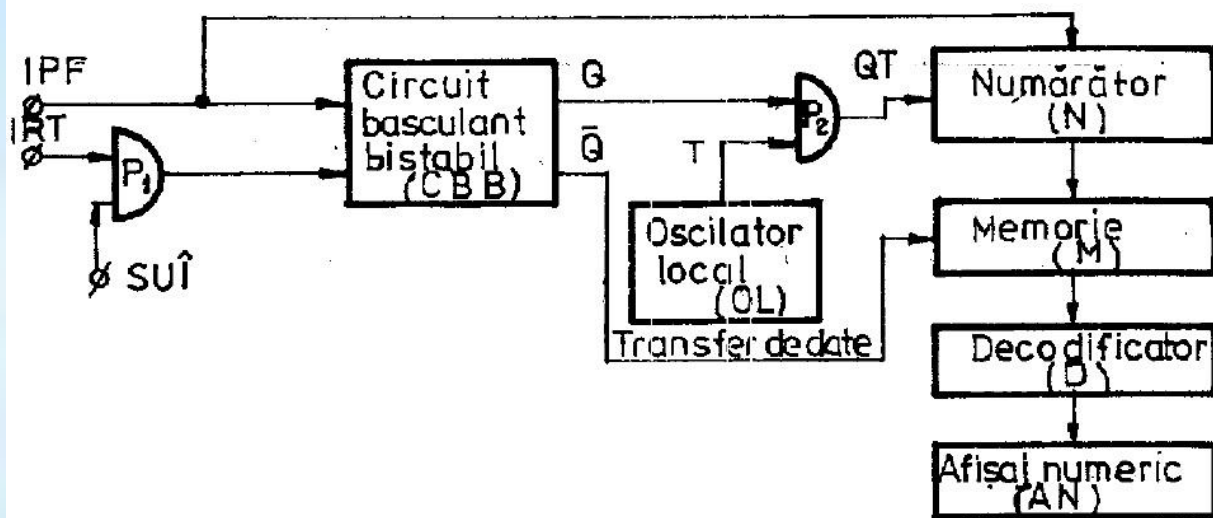
- detectoare PIR și microunde:



- detectoare cu ultrasunete:



3.1.5 Radarul (Radio Detecting and Ranging)



- distanța d dintre două puncte este determinată cu relația:

$$d = \frac{vt}{2}$$

unde v este viteza de propagare a radiației electromagnetice, iar t este timpul în care impulsul generat de stația de radiolocație străbate spațiul emițător-țintă-receptor;

- periodic un impuls de punere în funcțiune IPF este emis;

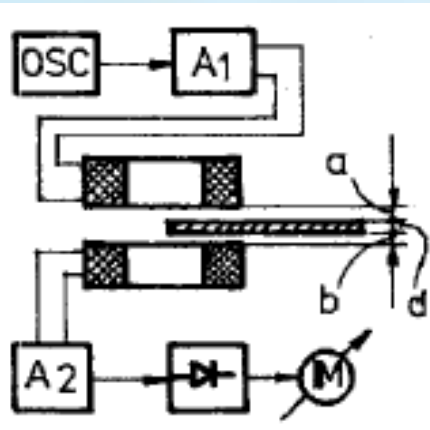
- de la țintă sunt primite impulsuri reflectate (impulsuri recepționate de la țintă IRT);

- rolul operatorului este de a separa impulsurile false de cele utile, a cărei valoare depășește un prag impus și determină generarea unui impuls denumit strob ultra îngust SUI ;

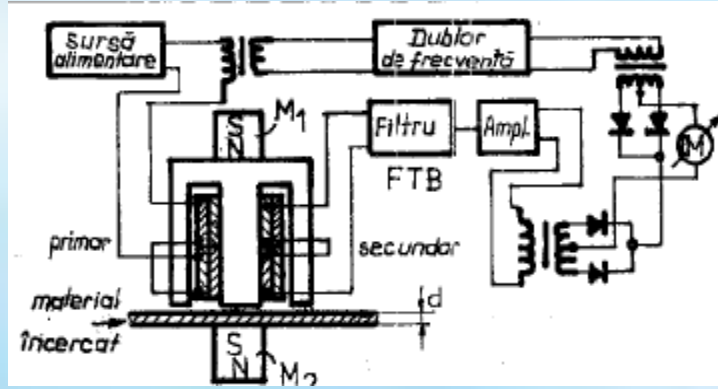
- condiționarea temporală a semnalelor IPF , IRT și SUI comandă un circuit basculant bistabil CBB care prin intermediul porții P transmite un număr de impulsuri generate de generatorul GI , la numărătorul N ;

- numărul de impulsuri este proporțional cu intervalul de timp dintre IPF și SUI .

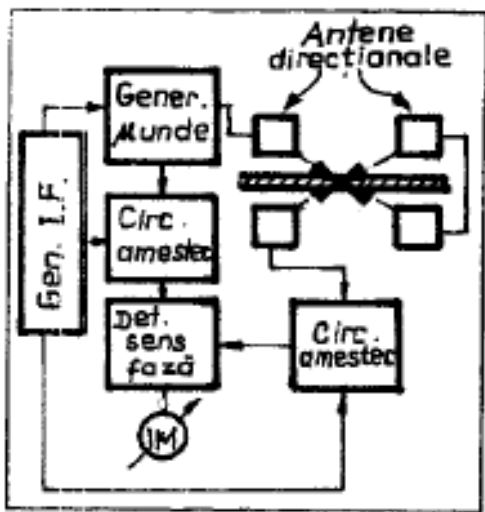
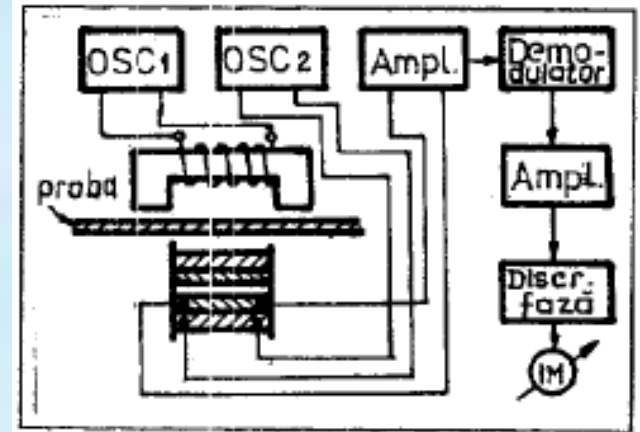
3.2.1 Măsurarea grosimilor plăcilor metalice



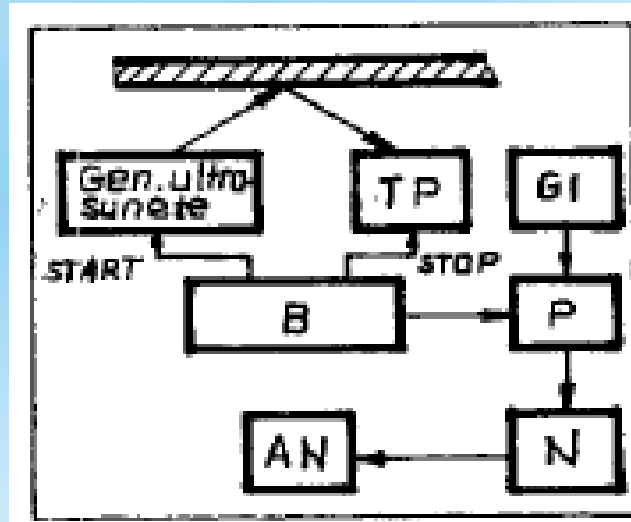
- curenti turbionari (Forster)



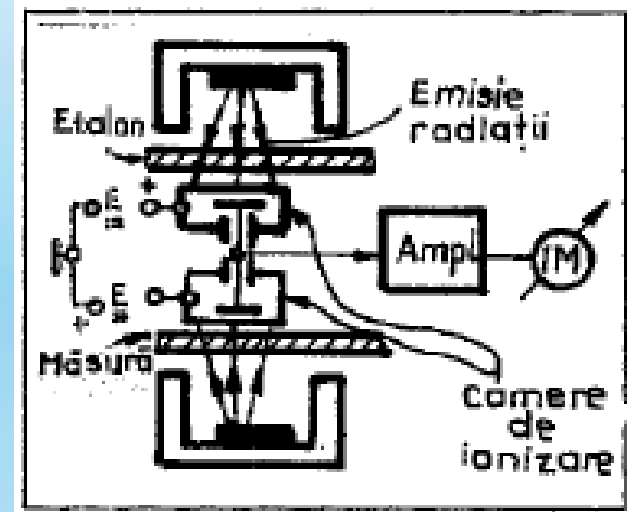
- curenti turbionari (Havelka) - ecranare



- microunde - reflexie

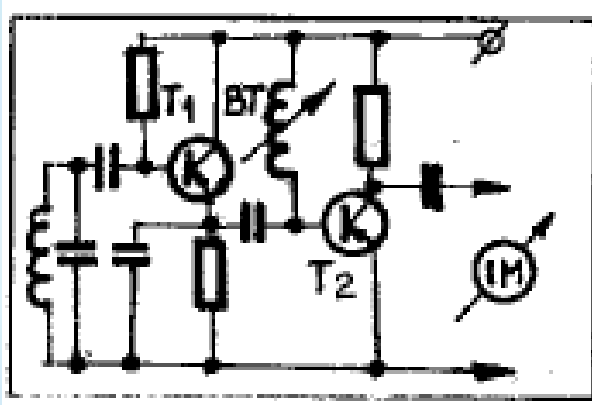


- ultrasunete - timp de propagare

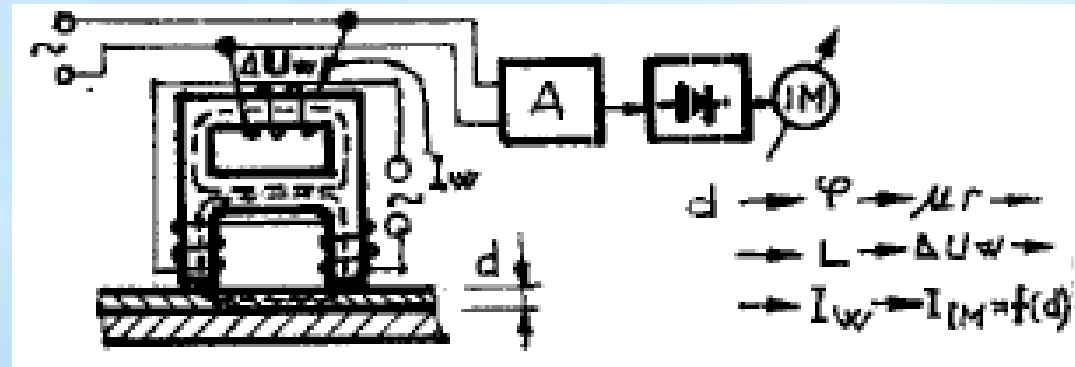


- radiatie nucleara - absorbtia radiatiilor

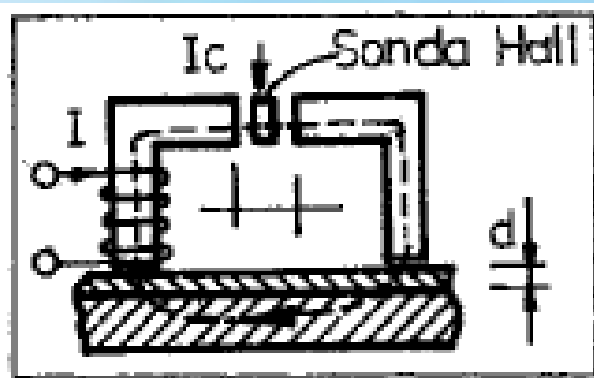
3.2.2 Măsurarea grosimilor straturilor de acoperire



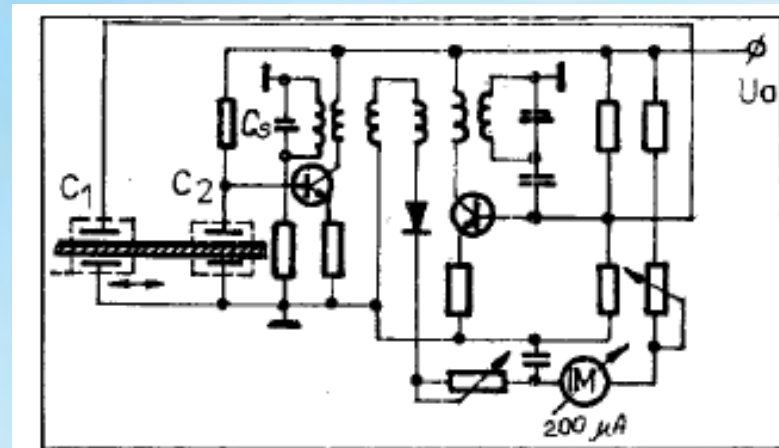
- curenti turbionari - variatia factorului de calitate



- flux magnetic- metoda Carniol



- efect Hall



- aparate cu traductoare capacitive

Cursul IV

Măsurarea nivelului

4.1 Măsurarea nivelului cu traductoare rezistive

4.2 Măsurarea nivelului cu traductoare capacitive

4.3 Măsurarea nivelului cu traductoare inductive

4.4 Măsurarea nivelului cu traductoare Hall

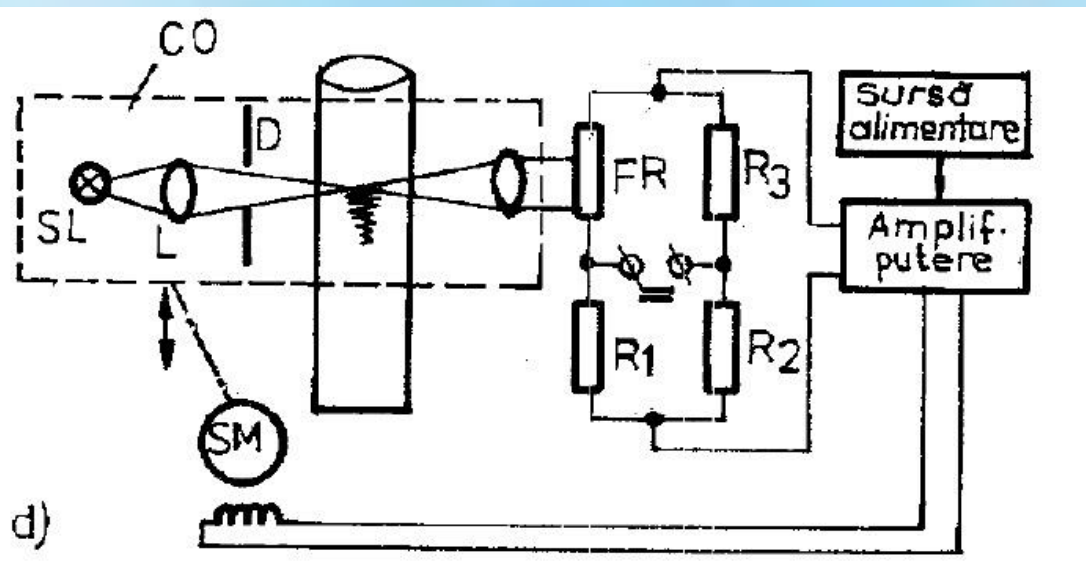
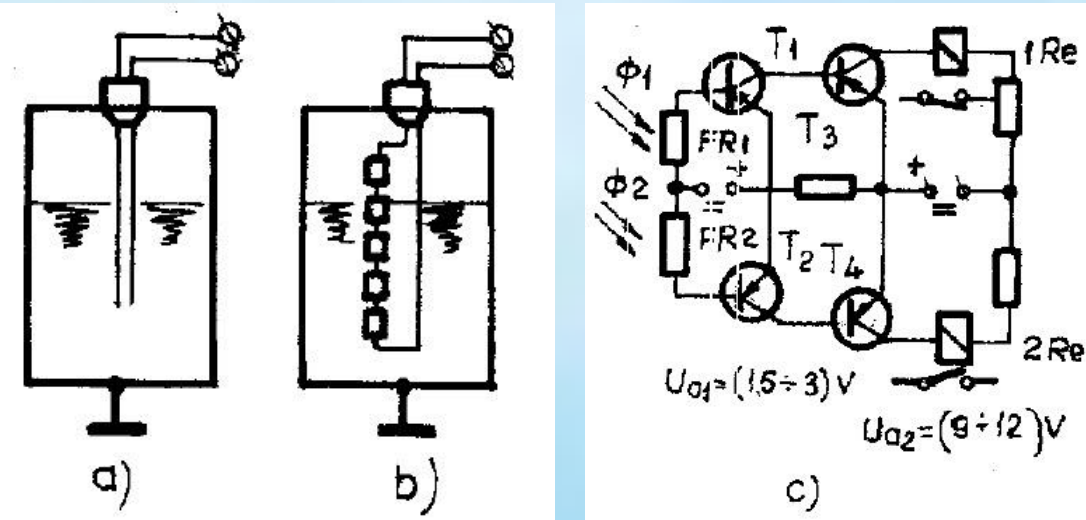
4.5 Măsurarea nivelului cu traductoare optice

4.6 Măsurarea nivelului cu traductoare ultrasonice

4.7 Măsurarea nivelului cu dispozitive RADAR

4.8 Comutatoare de nivel cu furcă vibrantă

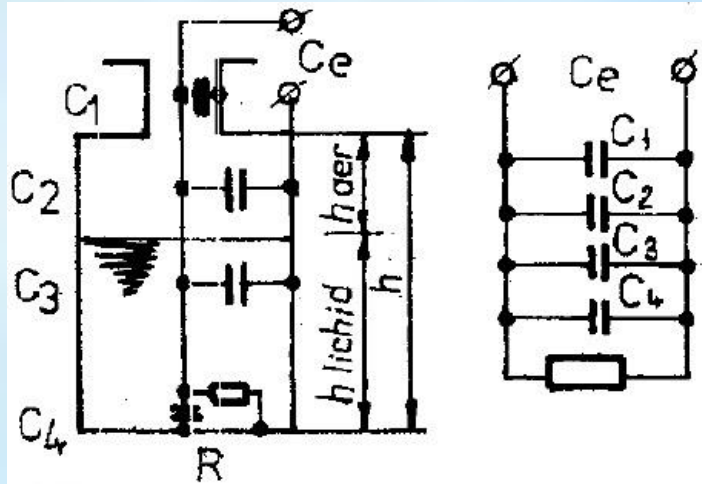
4.1 Măsurarea nivelului cu traductoare rezistive



- pentru măsurarea continuă sau discontinuă a nivelului unor lichide bune conductoare de electricitate;
- pentru indicarea (semnalizarea) unor situații limită (niveluri maxime sau minime);
- măsurarea variației rezistenței coloanei de lichid (a);
- scurtcircuitarea unei părți dintr-un lanț de traductoare rezistive interconectate (b);
- limitarea superioară și inferioară a variației nivelului unui fluid cu ajutorul a două fotorezistențe (c);
- măsurare continuă - nivelmetru optic cu urmărire (d).

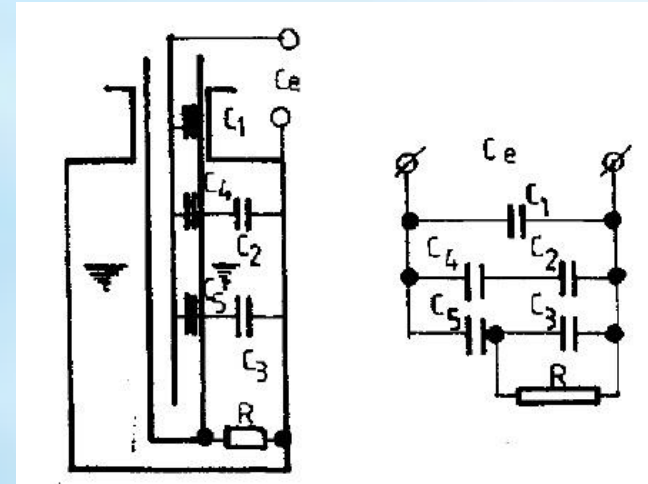
4.2 Măsurarea nivelului cu traductoare capacitive

- măsurarea nivelului lichidelor neconductive:



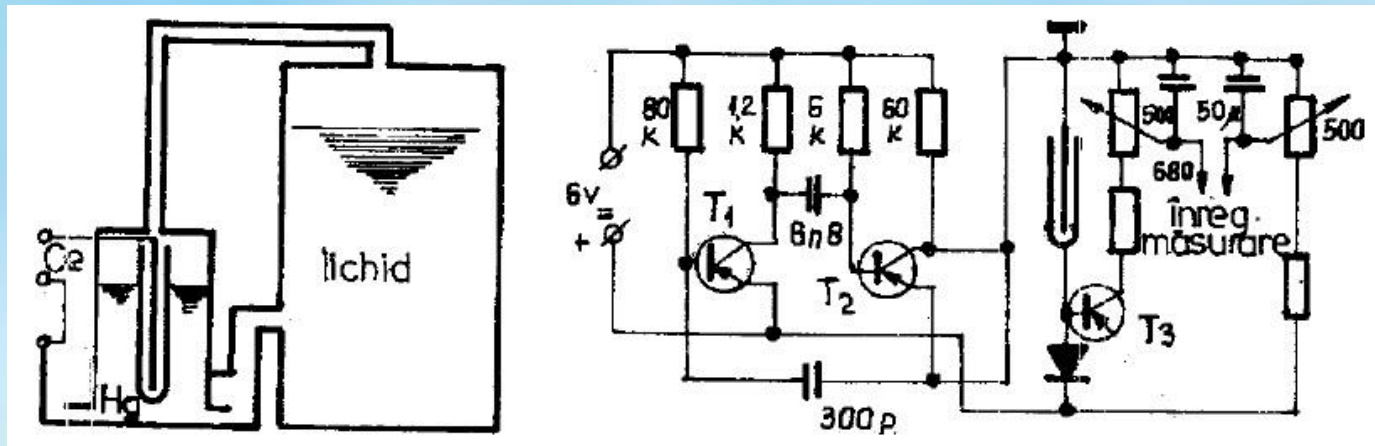
$$C_e = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

- măsurarea nivelului lichidelor conductoare:

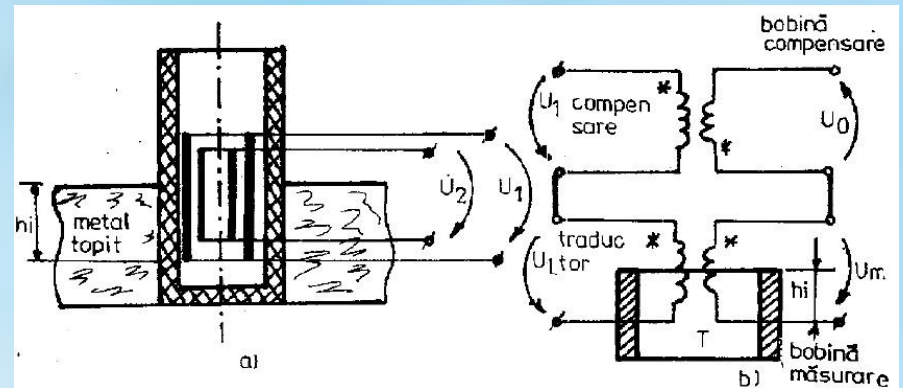
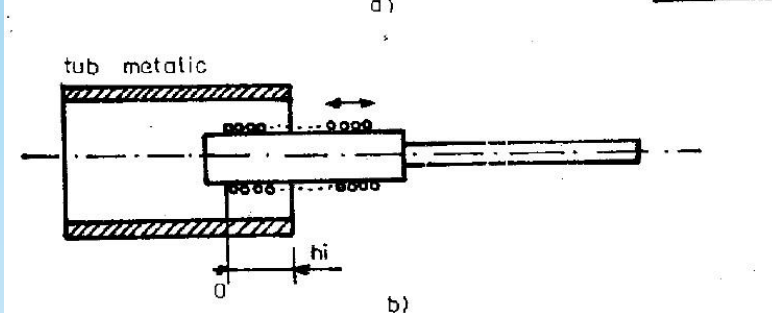
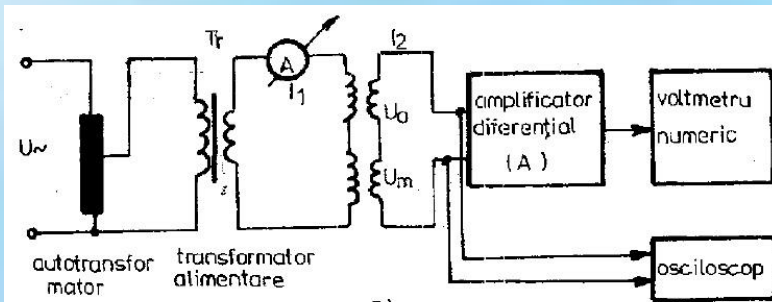
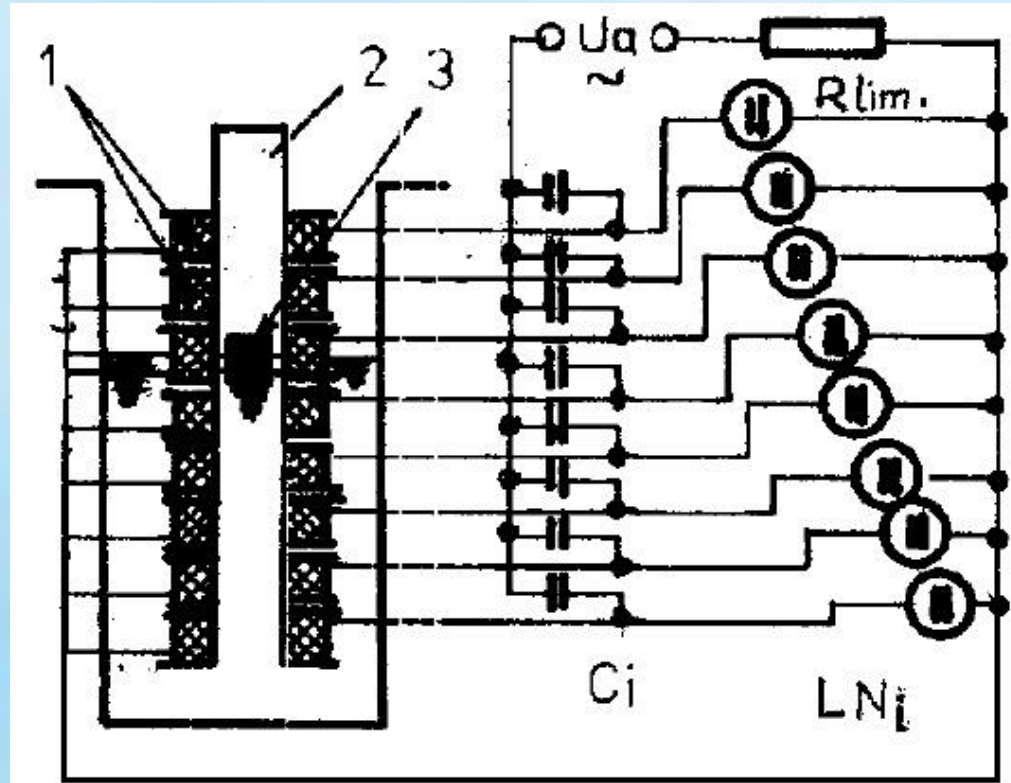
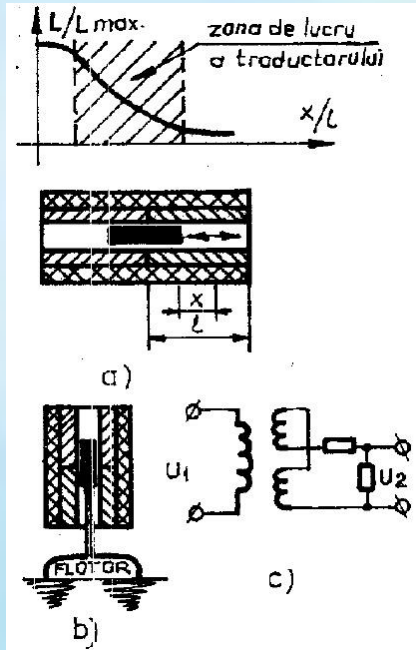


$$C_e = C_1 + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} + \frac{C_3 C_5}{C_3 + C_5}$$

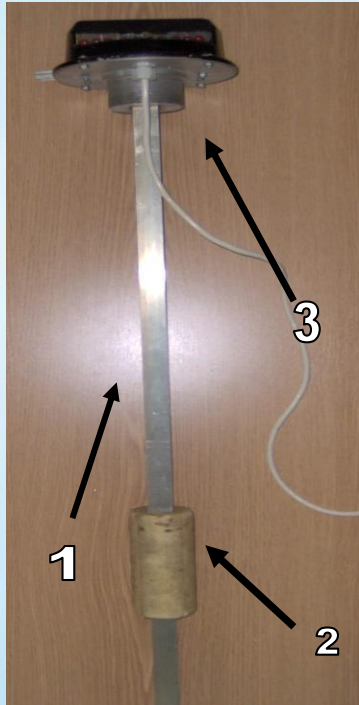
- nivelmetru cu recipient auxiliar cu mercur:



4.3 Măsurarea nivelului cu traductoare inductive



4.4 Măsurarea nivelului cu traductoare Hall

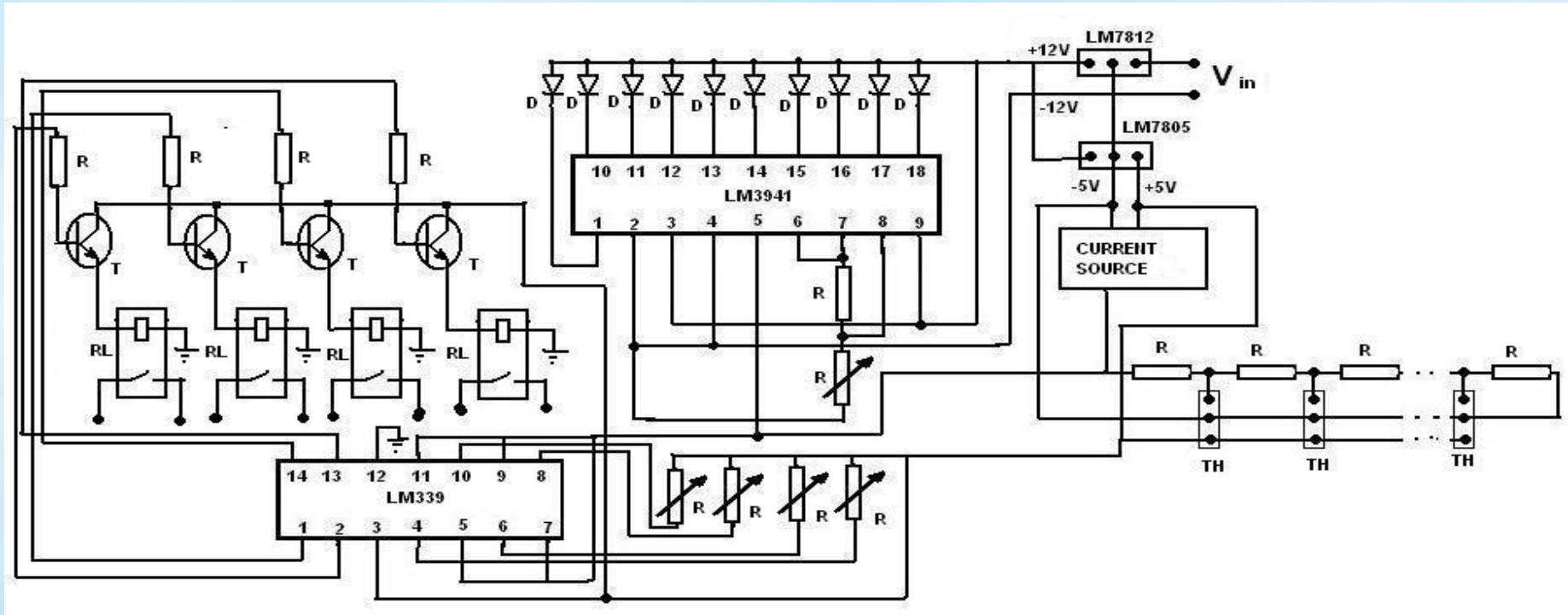


- metodă fără contact pentru măsurarea nivelului;
- poate fi utilizat în lichide inflamabile;
- individual sau în sisteme complexe de automatizare;
- respectă valorile uzuale ale preciziei de măsurare specifice;
- ușor de realizat, cost scăzut.
- bară cu traductoare Hall (1)
- plutitorul cu magnet încorporat (2)
- modul de prelucrare a semnalului și afișaj (3)
- traductoarele plasate pe circuit imprimat;
- "BS 057" - senzori magnetici comutatori;
- rezistoare de aceeași valoare.



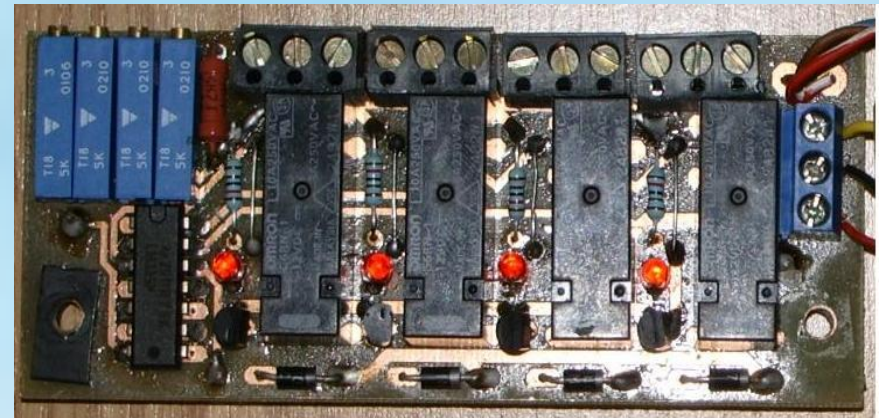
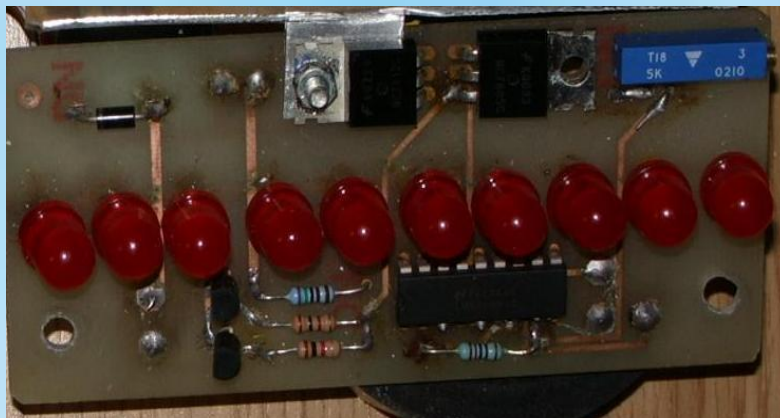
- rezervor gol - 0% (avarie)
- pornire pompe umplere rezervor - 10%; nivel minim funcțional
- oprire pompe umplere rezervor - 90%; nivel maxim funcțional
- rezervor plin –100% (avarie)

Nivelmetru industrial-Schema electrică de principiu:

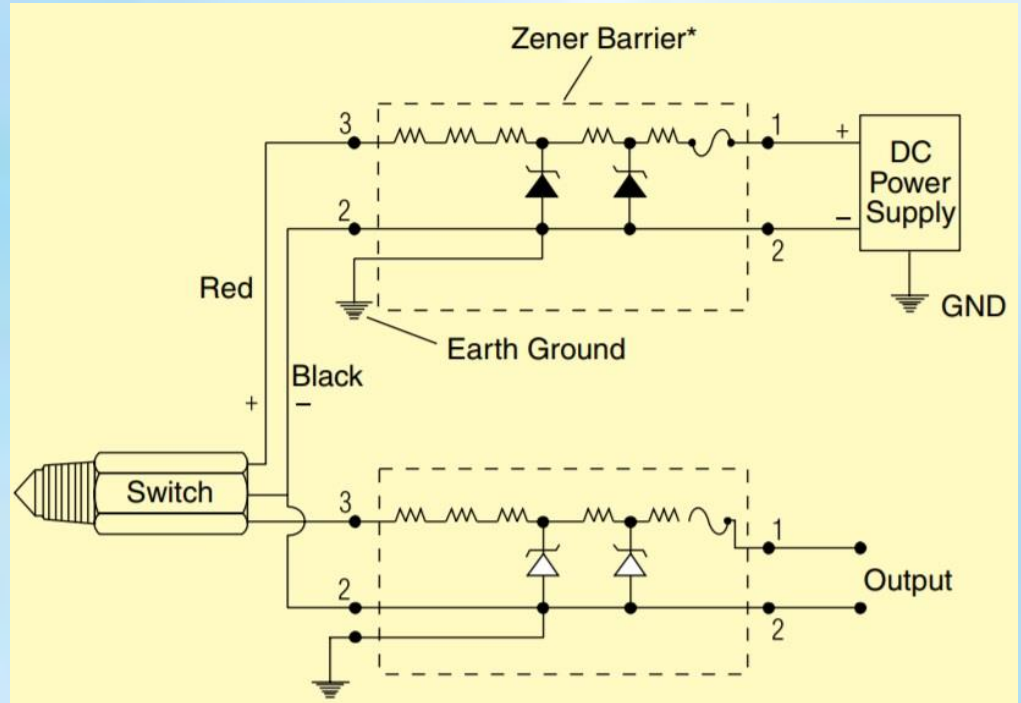
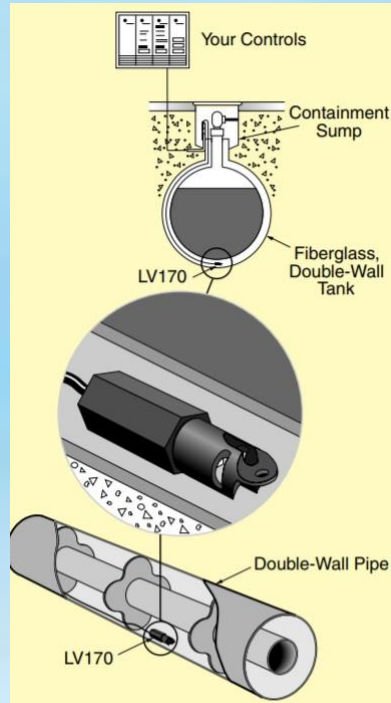
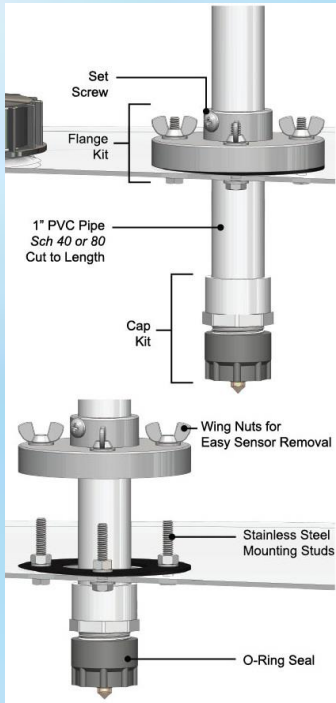
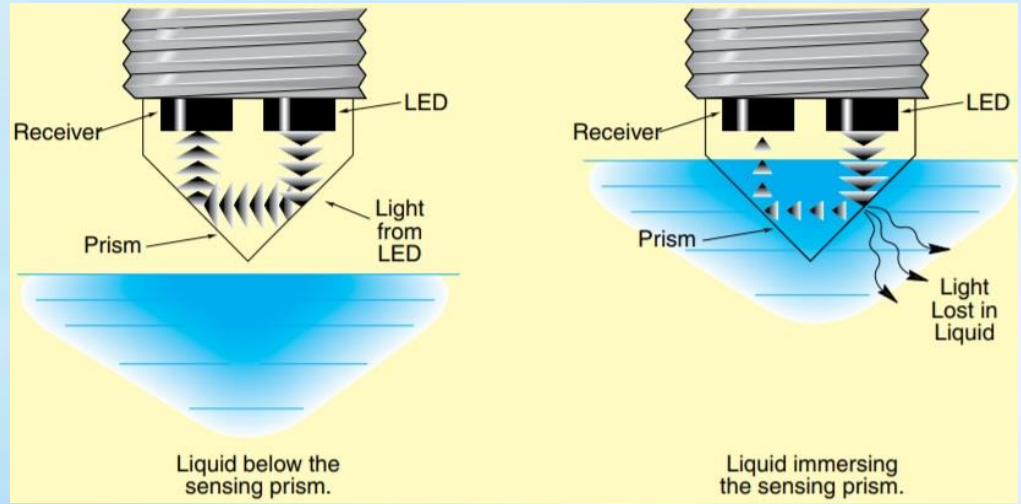
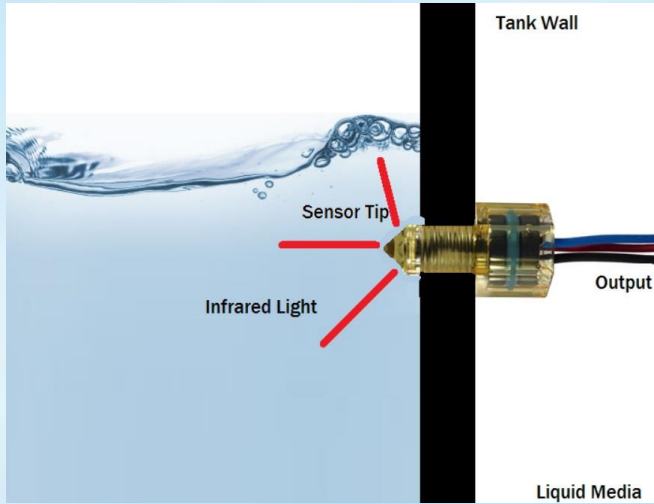


- comparator și bara de LED-uri

- dispozitiv de ieșire cu rele

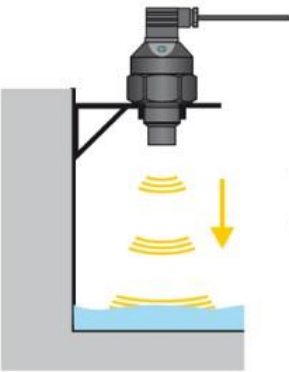


4.5 Măsurarea nivelului cu traductoare optice

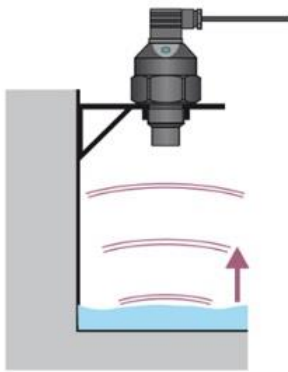


(apartare după: "Optical Liquid-Level Sensor" - <https://assets.omega.com/pdf/process-switches/level-switches/float-switches/LV170.pdf>
 "LSM Liquid Sensor Mounting System" - <https://www.agrowtek.com/index.php/products/sensors/optical-liquid-level-sensors/lsm-liquid-sensor-mounting-system-detail>)

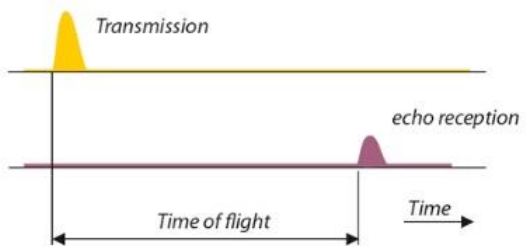
4.6 Măsurarea nivelului cu traductoare ultrasonice



Transmission of acoustic waves towards the level surface



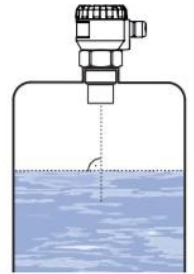
Reception of acoustic waves reflected from the level surface



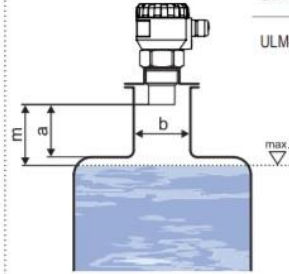
Time of flight ~ Level height
Output signal ~ Time of flight

MOUNTING RECOMMENDATION Ultrasonic level meters ULM-70

ULM-70_-02; 06	a < 3b b > 100 mm
ULM-70_-10	a < 1,5b b > 100 mm
ULM-70_-20	a < 1,5b b > 150 mm

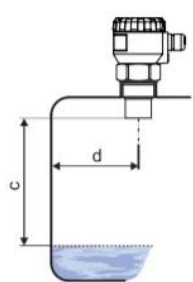
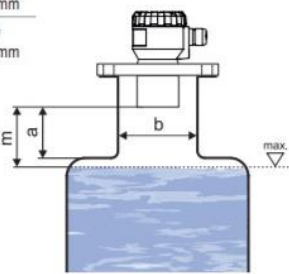


Recommended installation



Possible installation through the neck

a - neck height
b - neck width
m - dead zone

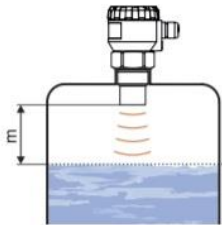


c - measuring range
d - min. distance from tank wall

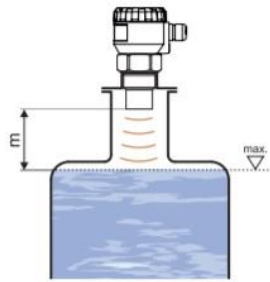
ULM-70_-02; 10	d > 1/12 c (min. 200 mm)
ULM-70_-06	d > 1/8 c (min. 200 mm)
ULM-70_-20	d > 1/10 c (min. 200 mm)

Installation distance from the tank wall

m - dead zone

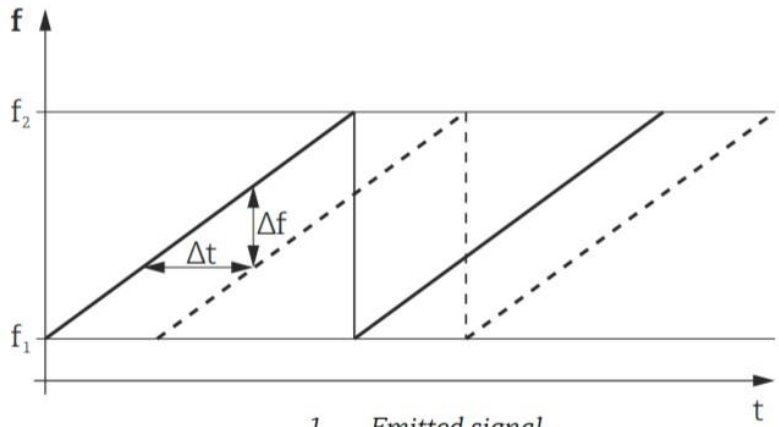
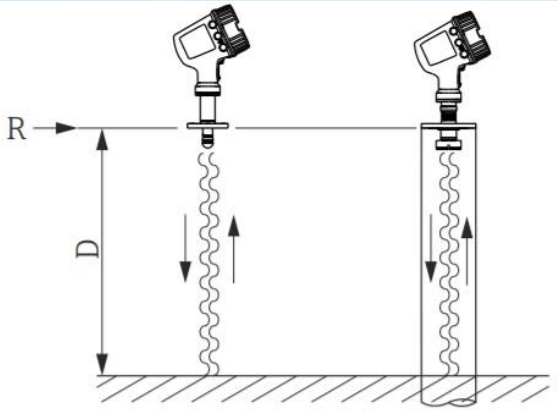


Maximum level distance from ULM



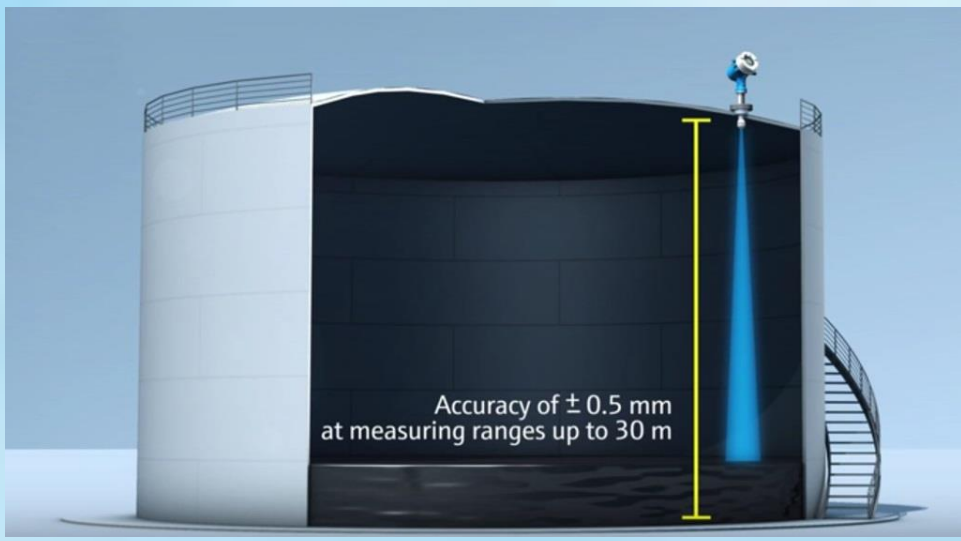
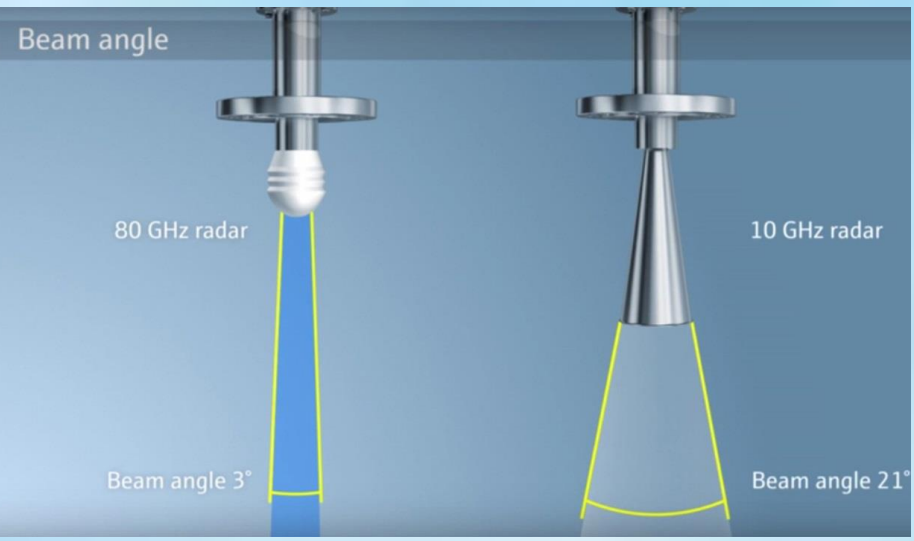
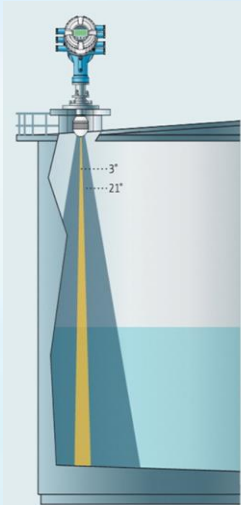
(adaptare după " Ultrasonic level meters ULM-70" -<http://www.pvl.co.uk/user/datasheets/Level/ulm70.pdf>)

4.7 Măsurarea nivelului cu dispozitive RADAR



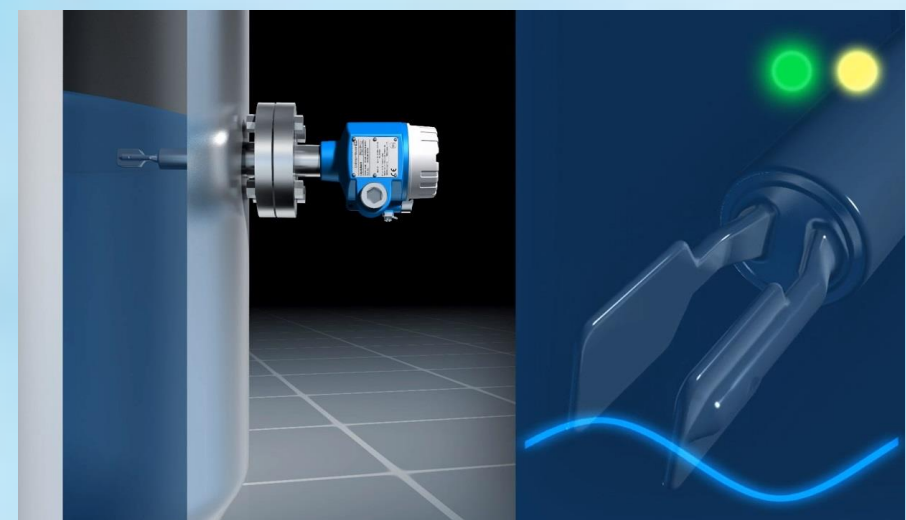
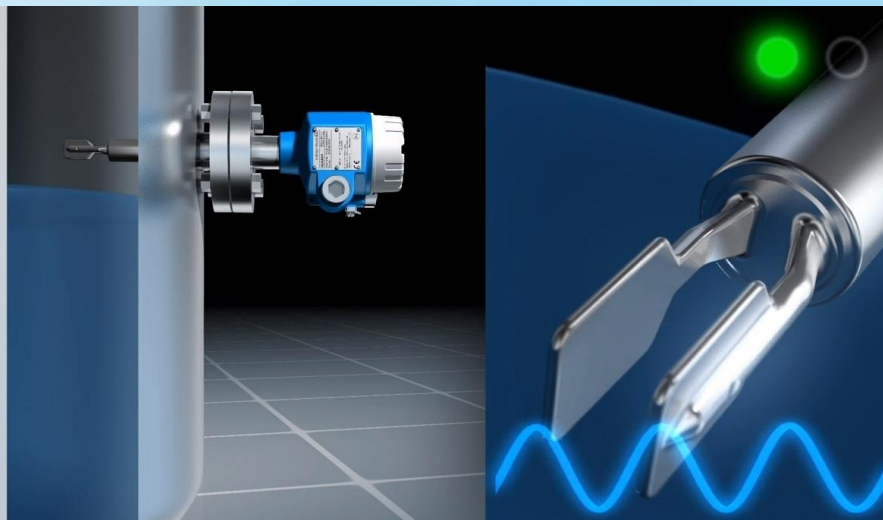
R Reference point of the measurement
D Distance between R and the product surface

1 Emitted signal
2 Received signal



(apartare după " Micropilot NMR81 80GHz liquid level measurement radar" -<https://www.enviropro.co.uk/entry/132450/EndressHauser/Micropilot-NMR81-80GHz-liquid-level-measurement-radar/>)

4.8 Comutatoare de nivel cu furcă vibrantă



Cursul V

Măsurarea rugozității

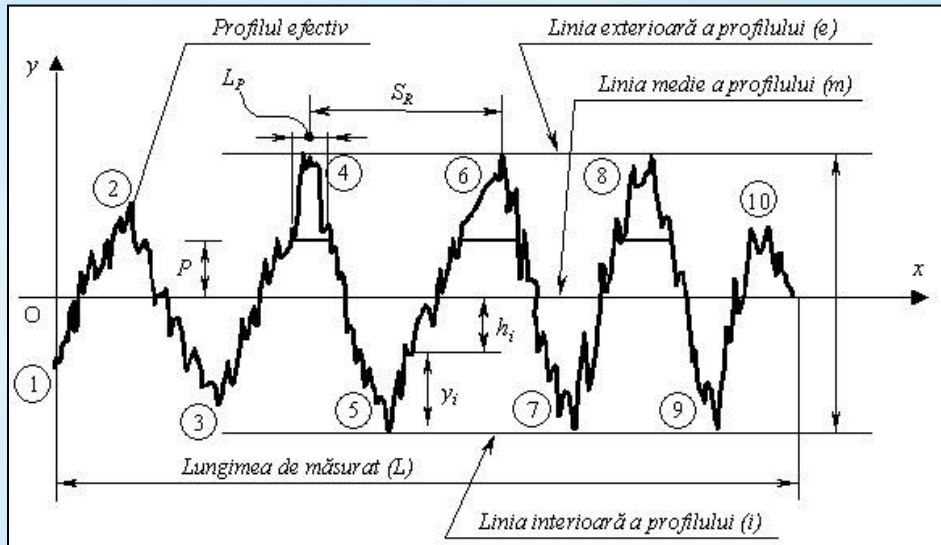
5.1 Definiții, moduri de abordare a problemei

5.2 Sisteme bidimensionale de definire a parametrilor de rugozitate

5.3 Sisteme tridimensionale de definire a parametrilor de rugozitate

5.4 Metode de măsurare a rugozității

5.1 Definiții, moduri de abordare a problemei



Rugozitatea se definește ca fiind ansamblul micronegularităților unei suprafețe oarecare în limitele unei zone care nu prezintă abateri de formă sau ondulații.

Suprafața trebuie precizată mai exact:

- *suprafața reală (efectivă)* : suprafața de separație între corp și mediu;
- *suprafața geometrică (ideală)* : suprafața definită în cadrul unui anumit proces și care nu are abateri de formă și sau rugozitate;
- *suprafața măsurată* : imaginea suprafeței reale obținută prin măsurare.

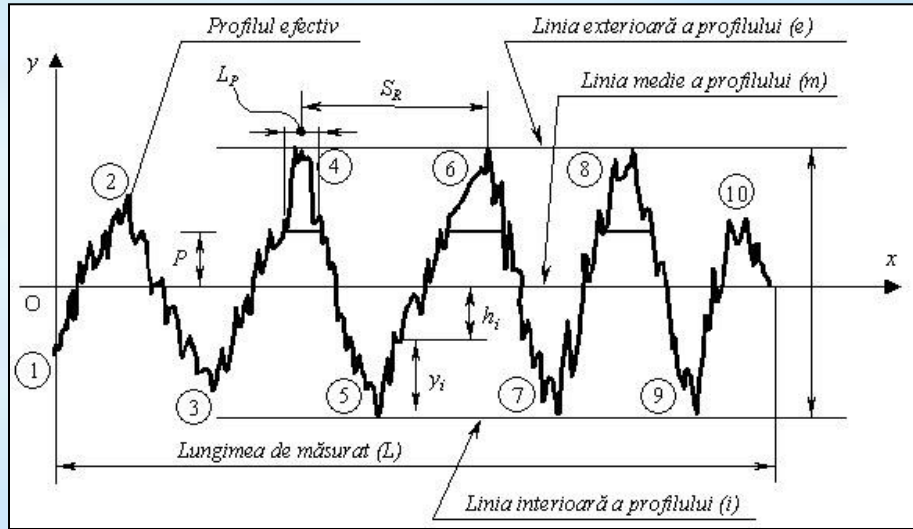
Abordarea clasică a determinării parametrilor unei suprafețe presupune definirea unor parametri obținuți prin intersectarea suprafeței de măsurat cu un plan perpendicular pe suprafață. În acest caz se pot defini:

- *profilul efectiv* – profilul real al suprafeței (linia obținută prin intersectarea suprafeței de măsurat cu un plan perpendicular pe aceasta);
- *linia exterioară* – paralela la planul suprafeței care trece prin cel mai înalt punct al profilului;
- *linia inferioară* – paralela la planul suprafeței care trece prin cel mai jos (adânc) punct al suprafeței;
- *linia medie* – linia având forma profilului geometric ideal care împarte profilul efectiv astfel ca, în limitele lungimii de măsură, suma pătratelor coordonatelor y_i să fie minimă, conform metodei celor mai mici pătrate;
- *linia înfășurătoare* – linia exterioară profilului care se obține prin parcurgerea acestuia cu un palpator cu rază de curbură mare;
- *linia de referință* – linie convențională folosită pentru evaluarea profilului;
- *lungimea de bază (de măsurare)* – lungimea pe care se efectuează măsurarea.

5.2 Sisteme bidimensionale de definire a parametrilor de rugozitate

- se ia în considerare doar o singură linie de profil.

5.2.1 Sistemul M



- în raport de linia medie a profilului, definită ca linia care împarte profilul suprafeței astfel ca, în limitele lungimii de măsură, suma pătratelor coordonatelor y_i să fie minimă.

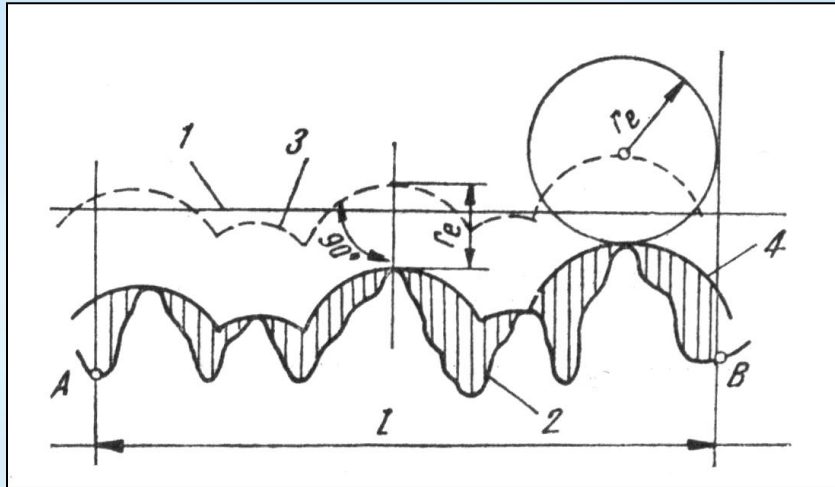
Termenii caracteristici:

- linia medie;
- linia inferioară;
- linia exterioară;
- linia de referință – folosită doar în anumite cazuri în funcție de necesitățile aplicației;

Evaluarea cantitativă se face folosind următorii parametri:

- abaterea medie aritmetică a profilului;
- abaterea medie pătratică a profilului;
- adâncimea medie a profilului în zece puncte, definită ca distanța medie aritmetică dintre cele mai înalte cinci puncte ale profilului și cele mai joase cinci puncte ale profilului;
- adâncimea maximă a profilului R_{max} , definită ca distanța dintre linia inferioară și linia exterioară a profilului; se mai pot folosi uneori și adâncimea maximă a vârfurilor R_p și respectiv a golurilor R_v reprezentând distanța între linia medie și cea exterioară respectiv cea inferioară;
- coeficientul de asimetrie a profilului (față de linia medie), care este o măsură a abaterii distribuției valorilor extreme față de distribuția normală;
- coeficientul de împrăștiere a extremelor profilului, este o măsură a împrăștierii distribuției vârfurilor și golurilor față de linia medie față de distribuția normală;
- pasul mediu al neregularităților.

5.2.2 Sistemul E



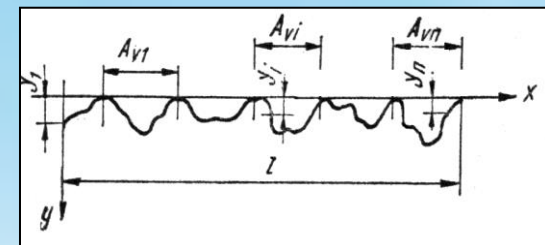
- are ca element de bază linia înfășurătoare care reprezintă traiectoria obținută în cazul parcurgerii suprafeței cu un palpator cu raza de curbură mare în raport de neregularitățile suprafeței.

Termenii caracteristici:

- profilul real;
- linia înfășurătoare;
- abaterea normală față de linia înfășurătoare.

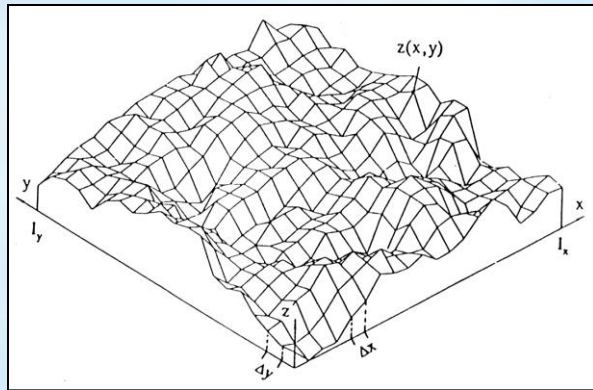
Evaluarea cantitativă se face folosind următorii parametri:

- pasul mijlociu (distanța de contact) - A_v -, care reprezintă distanța medie între vârfurile cele mai înalte ale profilului efectiv;
- adâncimea medie a rugozităților;
- adâncimea maximă a rugozității R_{max} , care reprezintă ordonata în raport cu înfășurătoarea celui mai adânc punct al profilului, cu aceeași semnificație ca și în cazul sistemului M;
- coeficientul de golire;
- coeficientul de plenitudine.

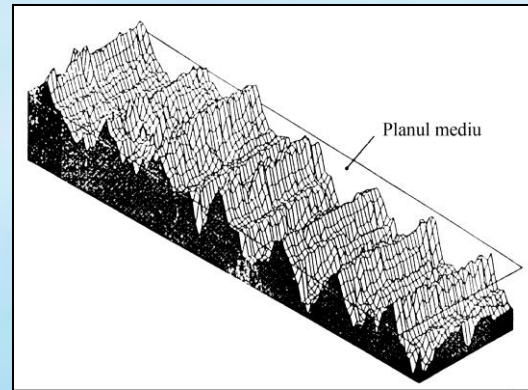


5.3 Sisteme tridimensionale de definire a parametrilor de rugozitate

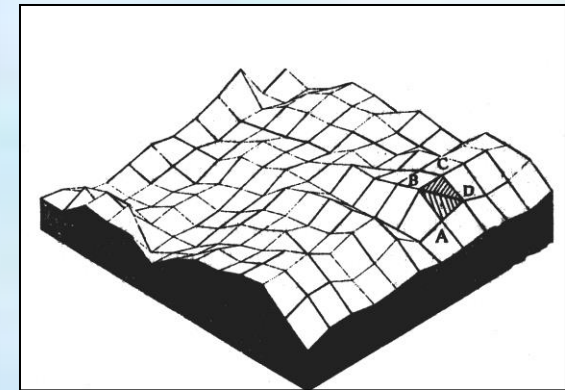
- suprafețele care intervin în practică și ale căror proprietăți trebuie determinate sunt suprafețe tridimensionale;
- linia de profil este înlocuită de un așa numit „studiu integrat al topografiei suprafeței”;
- tehnicile de reconstrucție a suprafețelor impun pe lângă o prezentare numerică a rezultatelor și prezentarea acestora în formă vizuală.



Sistem de coordonate pentru topografierea suprafețelor



Planul mediu

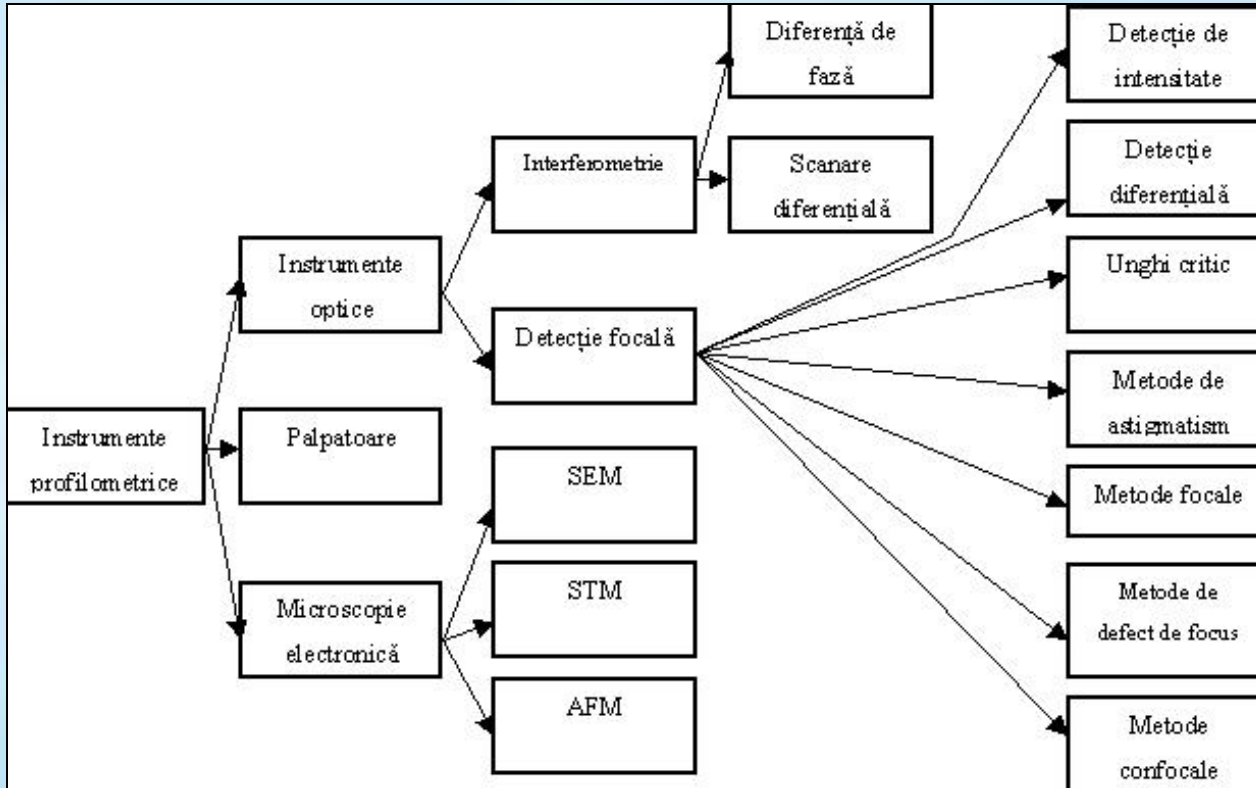


Patrulater de separație – exemplu

Din punct de vedere al măsurării parametrilor profilului unei suprafețe (fără a discuta aspectele legate de comportarea suprafeței în diferite ipostaze tehnologice) un set care să caracterizeze suficient de precis și complex suprafața ar trebui să conțină:

- deviația medie pătratică a suprafeței;
- înălțimea medie în zece puncte a suprafeței;
- asimetria distribuției extremelor topografice;
- împrăștierea distribuției extremelor topografice;
- densitatea vârfurilor suprafeței;
- raportul aspect – textură al suprafeței;
- direcția texturii suprafeței;
- panta medie pătratică a suprafeței;
- curbatura medie aritmetică a vârfurilor unei suprafețe.

5.4 Metode de măsurare a rugozității

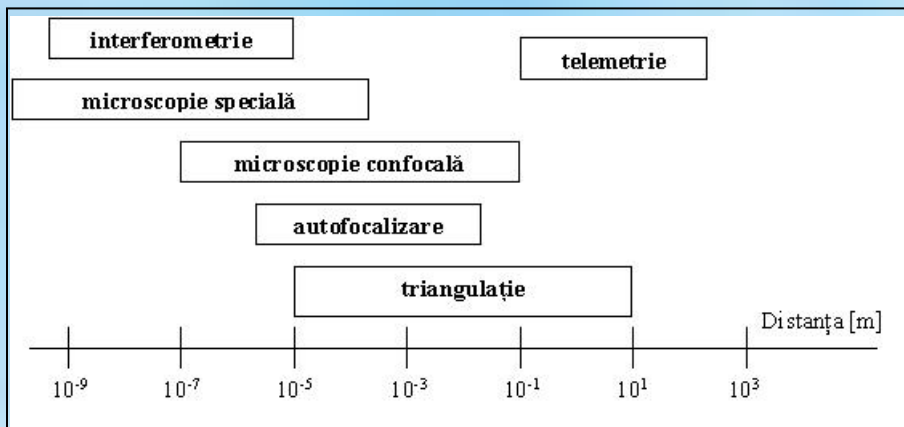


Dupa metoda de preluare a datelor de măsurare (referitor la zona / linia de eșantionare) distingem:

- aparate cu scanare linie după linie;
- aparate cu scanare zonă de suprafață.

După metoda de preluare a datelor de măsurare (referitor la interacțiunea instrument – suprafață) distingem:

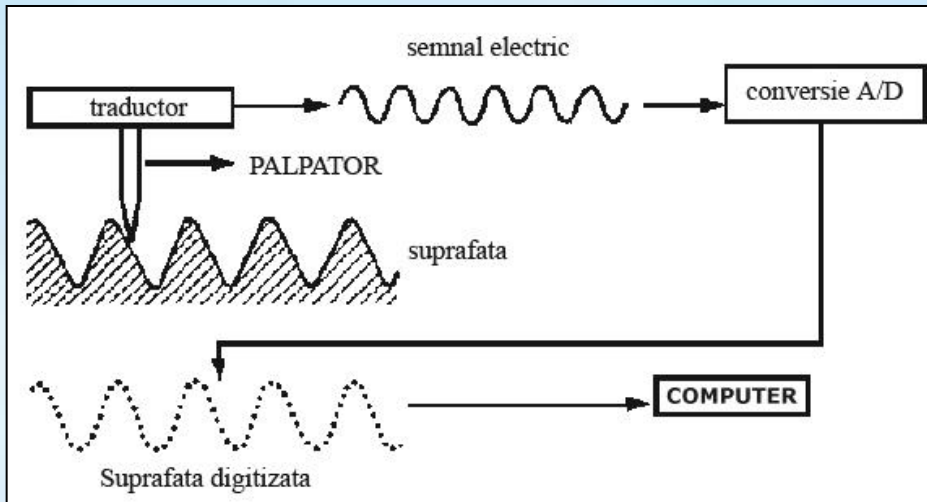
- aparate cu contact – la care capul de citire se află în contact cu suprafața;
- aparate non-contact – la care capul de citire nu intră niciodată în contact cu suprafața.



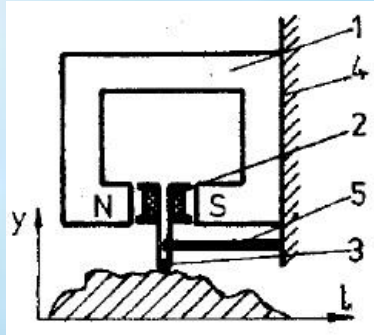
Din punct de vedere al principiului metodei folosite există trei mari categorii de metode și instrumente, și anume:

- palpatoarele – instrumente cu contact și scanare linie după linie;
- instrumente optice – instrumente non-contact, care pot fi atât cu scanare linie după linie cât și cu scanare zonă de suprafață;
- microscopie electronice – instrumente non-contact cu scanare linie după linie.

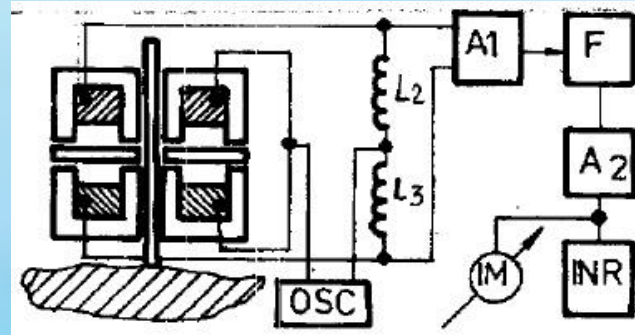
5.4.1 Palpatorul



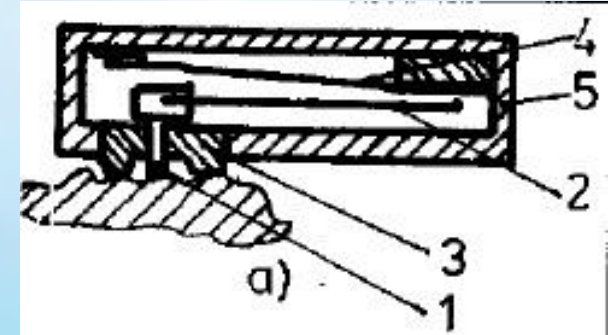
- un dispozitiv de contact format în principiu dintr-un cap de diamant care este plimbat peste suprafața de măsură și un circuit de preluare a datelor de măsurare;
- semnalul primit de la instrument este direct proporțional cu înălțimea momentană a profilului.



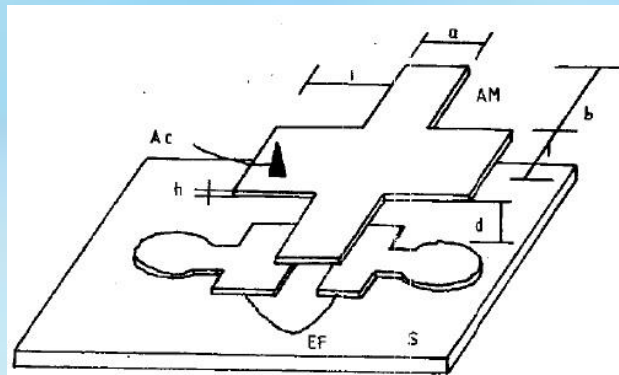
- rugozimetru de inducție



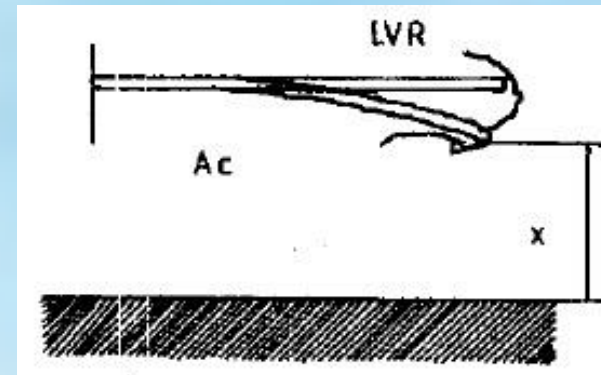
- rugozimetru cu traductoare inductive



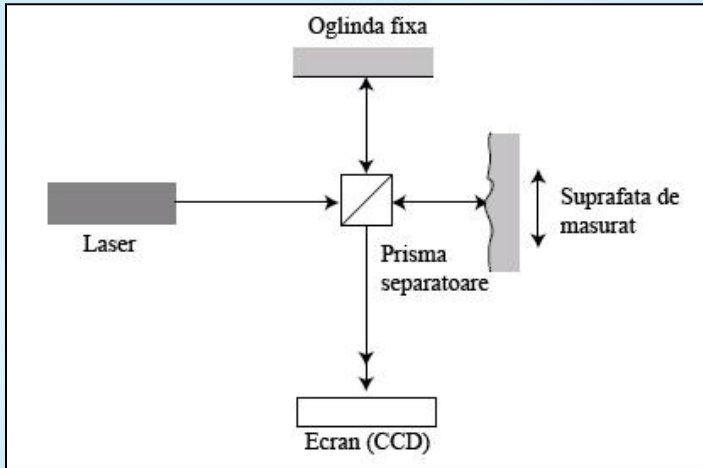
- rugozimetru cu traductoare piezoelectrice



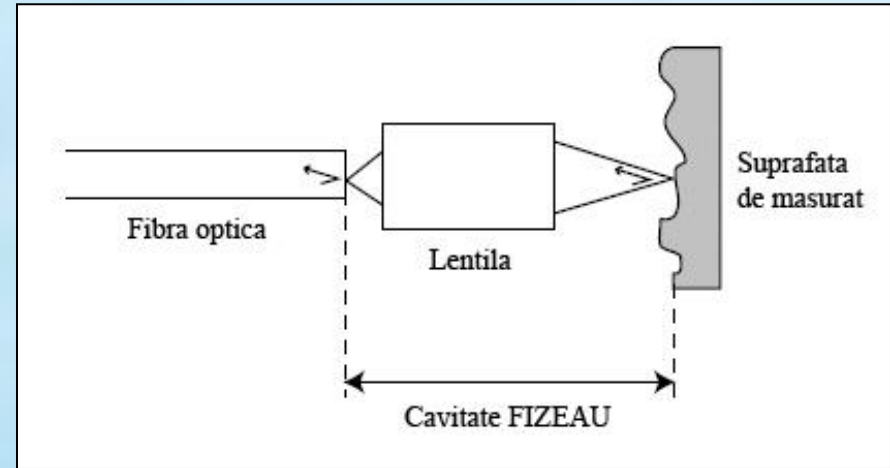
- rugozimetre capacitive



5.4.2 Interferometrie



Interferometru Michelson-Morley



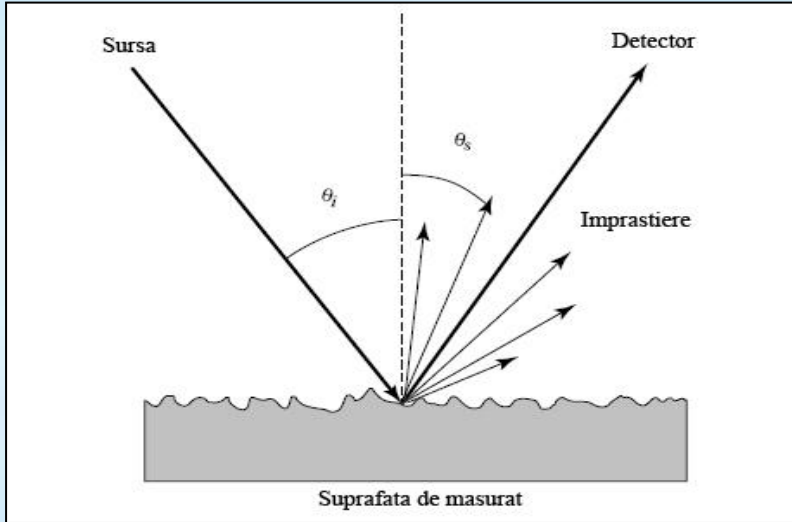
Interferometru Fizeau

- lumina incidentă este împărțită de către prisma separatoare și trimisă către oglinda de referință și proba de măsurat, este apoi recombinate, iar franjele de interferență sunt proiectate pe un ecran (mai nou se folosesc traductoare CCD pentru analiza automată a acestora);
- metoda este mai rapidă și mai precisă decât folosirea unui palpator dar are marele dezavantaj că rămâne o metodă de laborator și nu se pretează pentru aplicații în timp real.

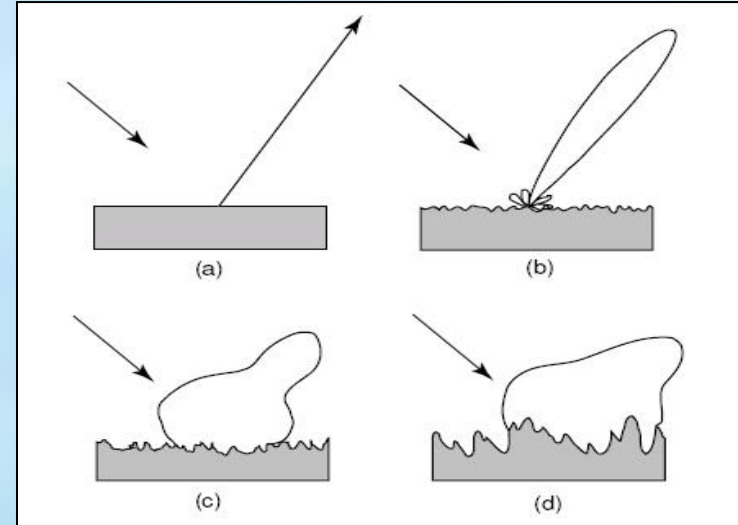
- lumina are același drum pentru raza incidentă și reflectată, referința fiind obținută prin reflexia unei părți din radiația incidentă la suprafața de separație a fibrei optice;
- metoda în sine este suficient de precisă, dar folosirea fibrelor optice o face sensibilă la vibrații și anumite condiții de mediu fapt care duce la utilizarea restrânsă pentru măsurări „in situ” ale proceselor tehnologice.

5.4.3 Profilometrie bazată pe împrăștierea radiației reflectate

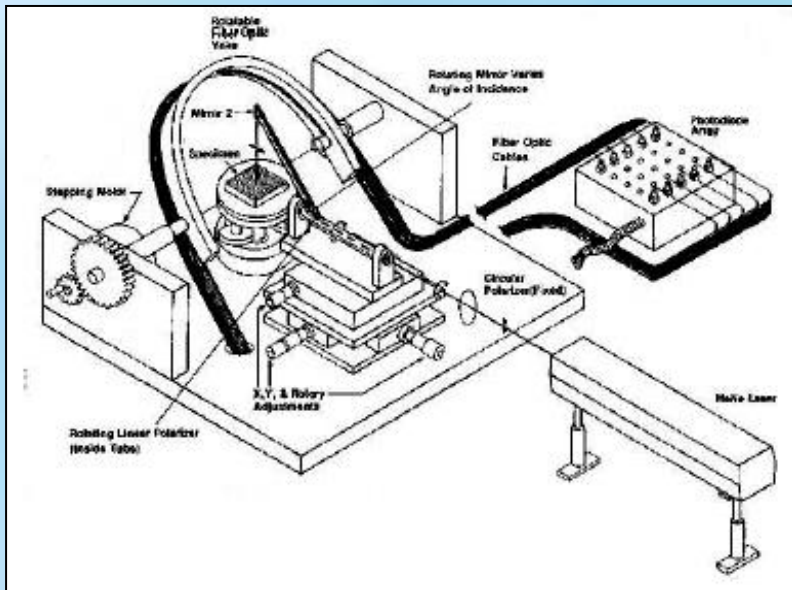
- metodă se bazează pe faptul că o radiație incidentă la o suprafață este reflectată de către aceasta în funcție de rugozitatea ei.



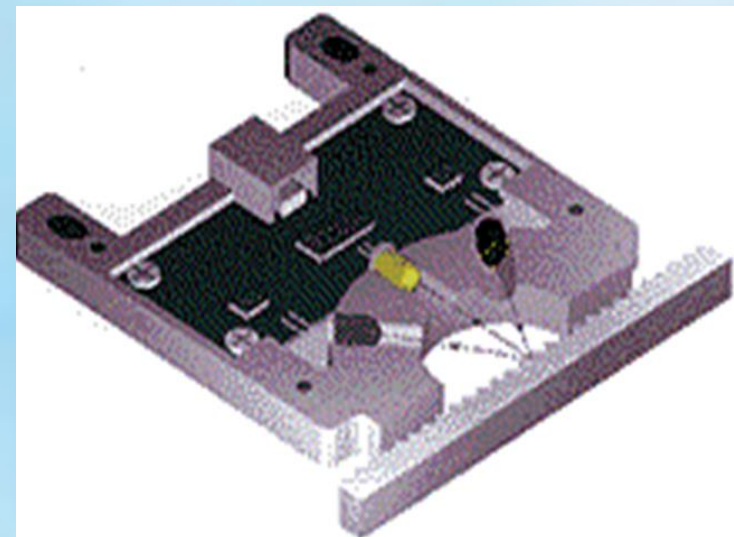
- principiul metodei



- variația reflexiei luminoase in funcție de rugozitate



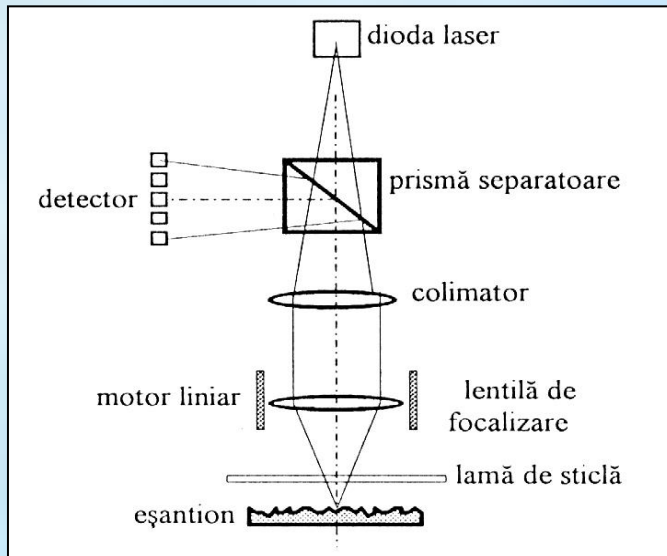
- dispozitiv de măsură de pe baza radiației împrăștiate



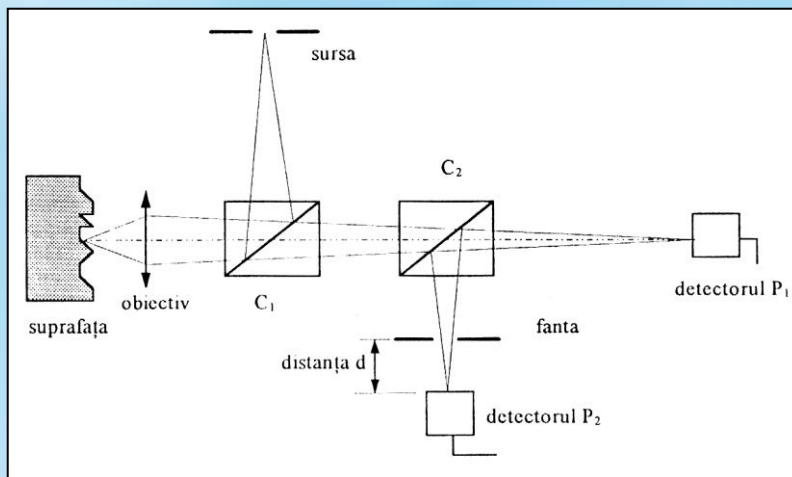
- dispozitiv de măsură pe baza radiației împrăștiate
Walter Bloechle, Hohner Corp

5.4.4 Profilometrie optică

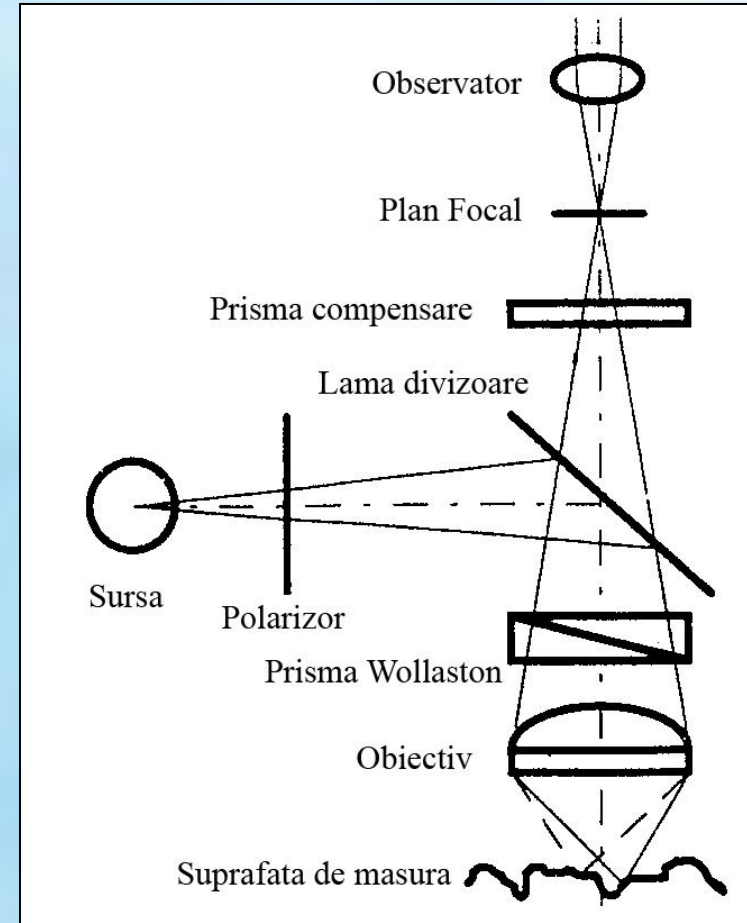
Microscopul, fie el optic sau electronic pot fi folosite pentru a determina profilul unei suprafețe și pentru a calcula parametri acesteia. Gama de măsură a acestor metode este destul de largă mergând de la ordinul nanometrilor până la ordinul milimetrilor în funcție de dispozitivele utilizate.



- profilometru laser cu cap de CD



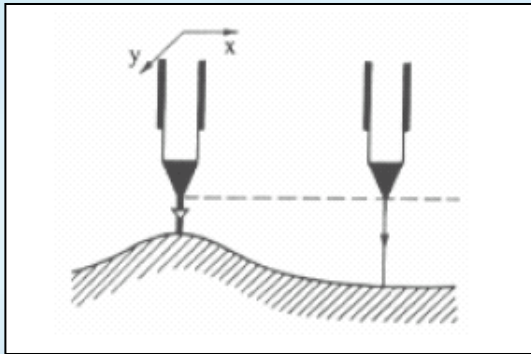
- profilometru optic cu lumină albă



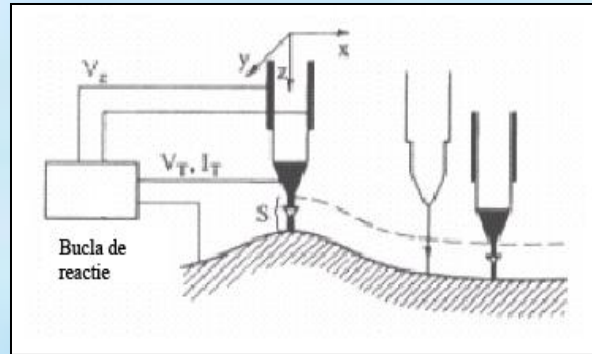
- microscop rugozimetric – configurație Nomarsky

5.4.5 Profilometrie bazată pe microscopie electronică

Microscopie cu efect tunel (STM)



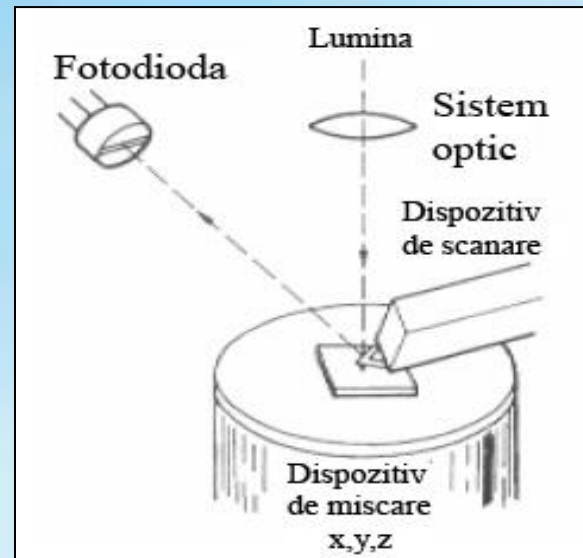
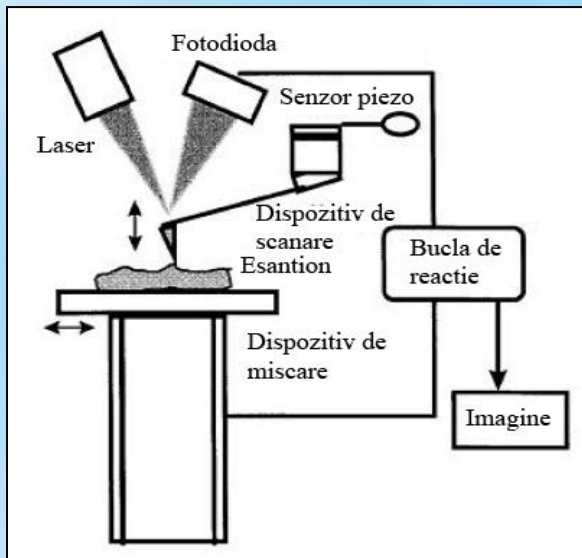
- STM – mod de lucru înălțime constantă



- STM – mod de lucru curent constant

- microscopul cu efect tunel are particularitatea, față de alte aplicații de microscopie, că nu folosește lentile, sisteme de iluminare specială sau o sursă de electroni; - folosește electronii de pe ultimul strat al atomilor eșantionului de măsurare ca sursă de electroni, și aplicând o tensiune (V_b) un curent „tunel” (I) trece de bariera de potențial la un electrod metallic.

Microscopie bazată pe forța atomică (AFM)



- în momentul în care eșantionul este mișcat, vârful dispozitivului de scanare urmărește profilul suprafeței detectându-se forțele de respingere dintre suprafață și acesta;

- datele sunt preluate cu ajutorul unui sistem de senzori care poate fi piezoelectric, fotoelectric sau optic (LASER);

- microscopul poate lucra atât în mod cu contact cât și în mod fără contact, și deși se preferă modul fără contact, în anumite situații, când forțele de respingere sunt insesizabile este necesar lucrul în modul cu contact.

Cursul VI

Măsurarea deformațiilor și a eforturilor unitare

6.1 Traductoare tensometrice rezisive - TER

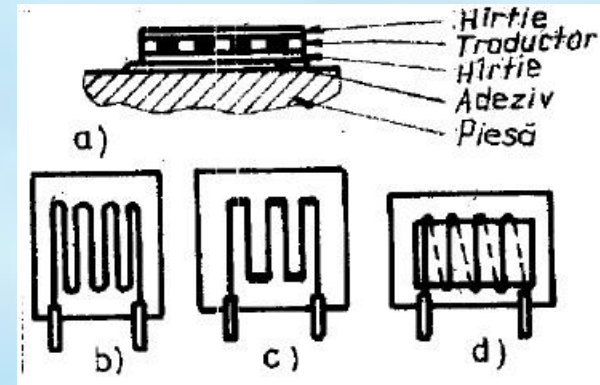
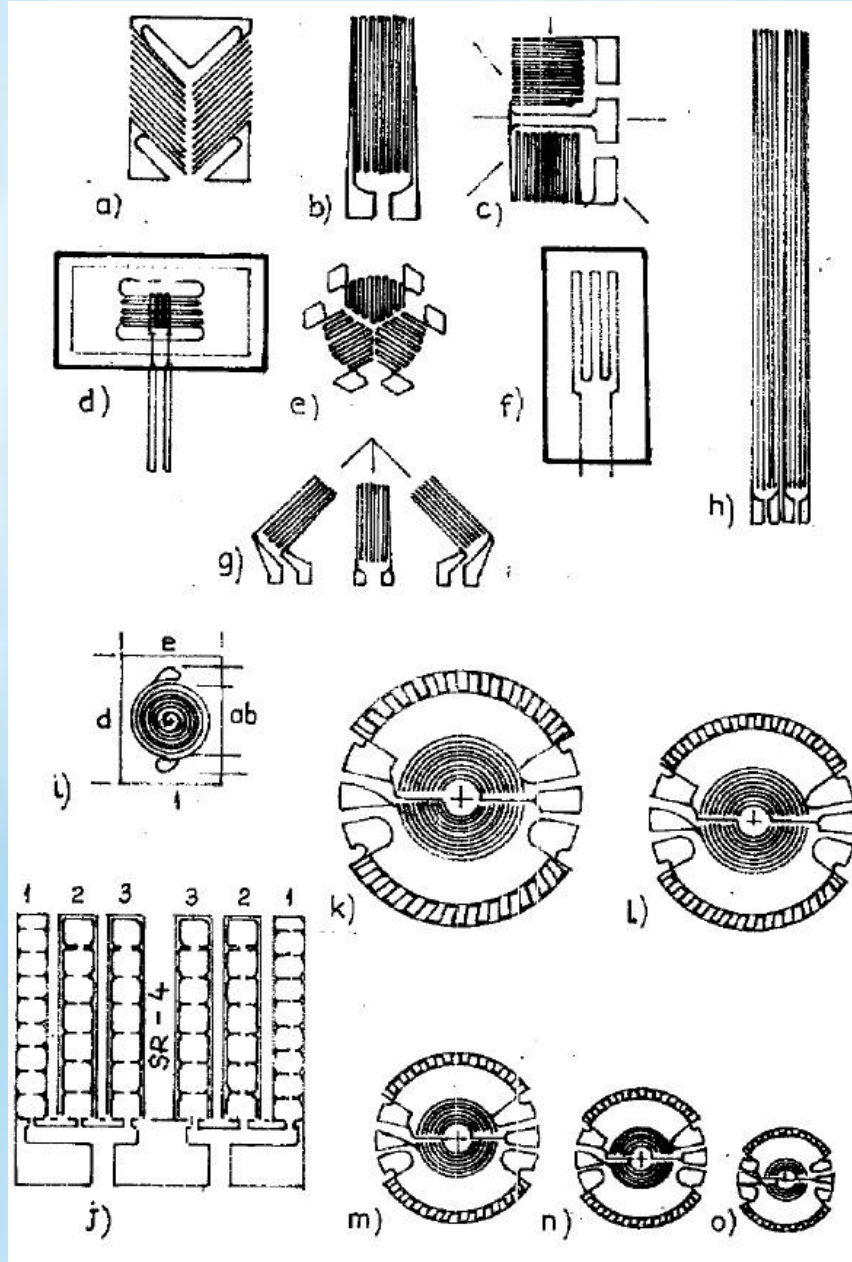
6.2 Traductoare tensometrice cu semiconductori - TES

6.3 Circuite electrice pentru măsurări tensometrice

6.4 Captori pentru traductoare tensometrice rezistive

6.5 Factori de influență asupra funcționării traductoarelor tensometrice

6.1 Traductoare tensometrice rezistive - TER



- dependența rezistenței unui conductor de starea de tensiune mecanică a acestuia.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- unde R - rezistența electrică a conductorului, ρ – rezistivitatea, l – lungimea conductorului, S – secțiunea conductorului.

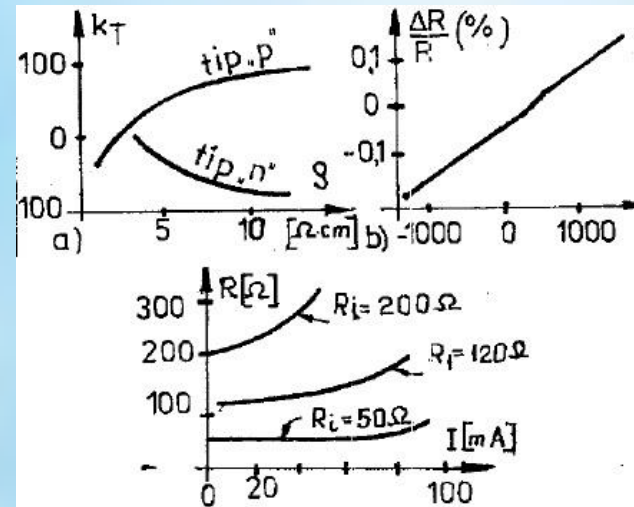
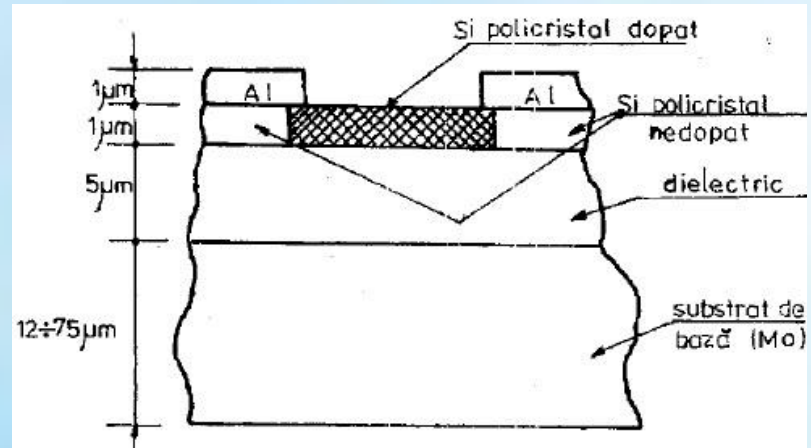
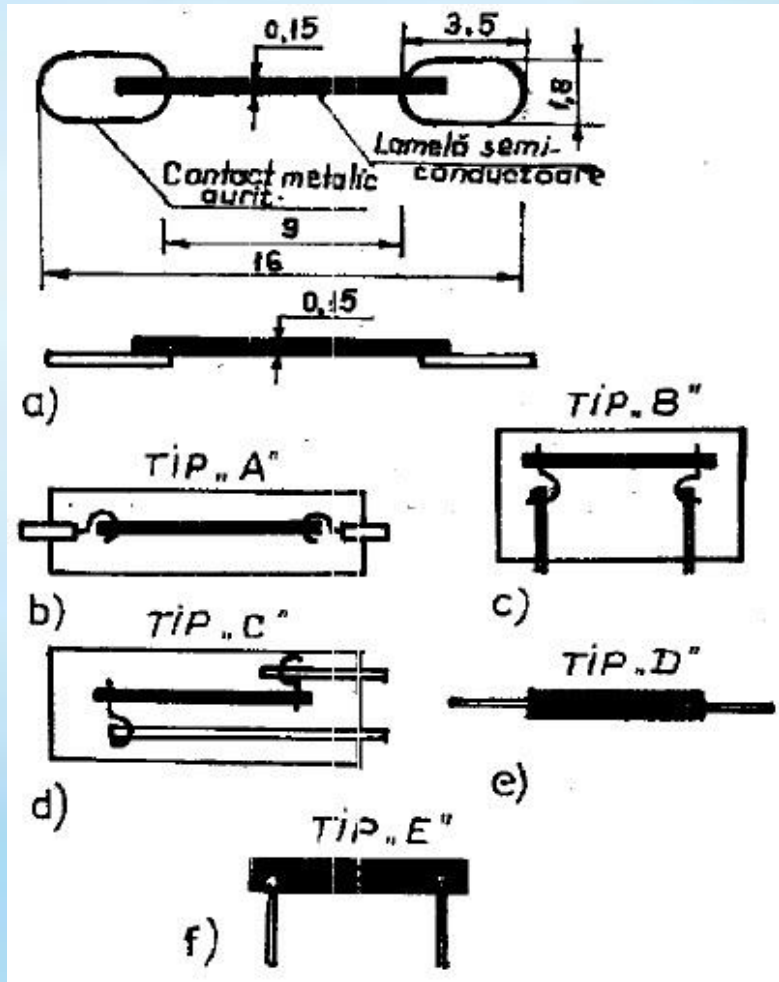
$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} \quad \text{sau} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \varepsilon(1 + 2\mu)$$

- unde μ - este un factor care caracterizează raportul dintre deformația relativă transversală și cea longitudinală, iar ε – alungirea specifică.

$$c_T = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = 1 + 2\mu + \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

- coeficientul de sensibilitate tensometrică (0,5...5).

6.2 Traductoare tensometrice cu semiconductori - TES



- lama paralelipipedică tăiată dintr-un singur cristal semiconductor dopat;
- constanta traductorului atinge valori de 50...200, în timp ce TER au 5...15, rezultă sensibilitate ridicată;
- dezavantaje: neliniaritate, variații relativ mari cu temperatura, clivaj.

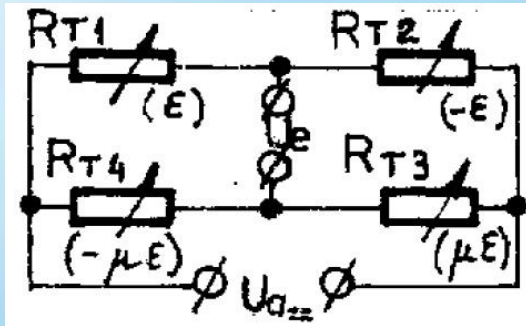
6.3 Circuite electrice pentru măsurări tensometrice

1. Surse de alimentare

- a) *alimentarea în curent continuu* – circuit pur rezistiv ușor de echilibrat, dar poate să apară efectul de termocuplu;
- b) *alimentarea în curent alternativ* – necesită o echilibrare capacitivă suplimentară, frecvența solicitărilor dinamice se limitează la 10...20% din frecvența semnalului de alimentare, se simplifică construcția circuitelor de amplificare;
- c) *alimentarea cu curent sau tensiune constantă* – când apar variații mari de rezistență, o alimentare cu $U=ct.$ modifică substanțial I , de aceea se preferă în cazul TES alimentarea cu $I=ct.$

2. Circuite de alimentare în punte

- puntea Wheatstone complet dezechilibrată:



- valoare tensiunii de dezechilibru:

$$U_e = U_a \left[\frac{R_{T1}}{R_{T1} + R_{T2}} - \frac{R_{T4}}{R_{T3} + R_{T4}} \frac{R_{T1}R_{T3} - R_{T2}R_{T4}}{(R_{T1} - R_{T2})(R_{T3} + R_{T4})} \right]$$

- când traductoarele nu sunt solicitate:

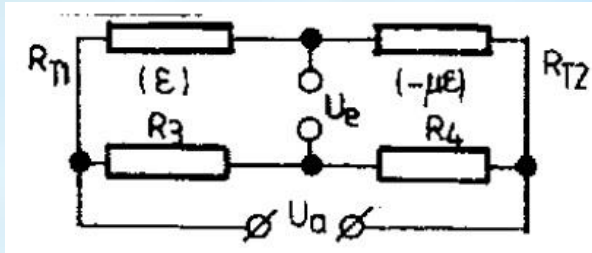
$$R_{T1} = R_{T2} = R_{T3} = R_{T4} \rightarrow U_e = 0$$

- după aplicarea solicitării, puntea se dezechilibrează, iar tensiunea U_e devine:

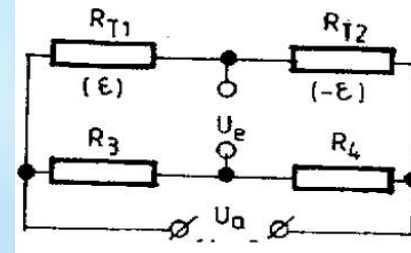
$$U_e = U_a \left[\frac{R_{T1} + \Delta R_{T1}}{R_{T1} + \Delta R_{T1} + R_{T2} + \Delta R_{T2}} - \frac{R_{T4} + \Delta R_{T4}}{R_{T3} + \Delta R_{T3} + R_{T4} + \Delta R_{T4}} \right]$$

Principalele variante de punți și semipunți lucrând în regim dezechilibrat:

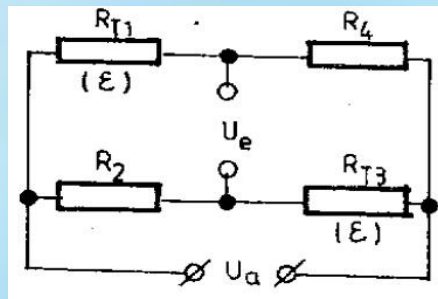
a) punte cu două brațe active cu TER sesizor de efect Poisson:



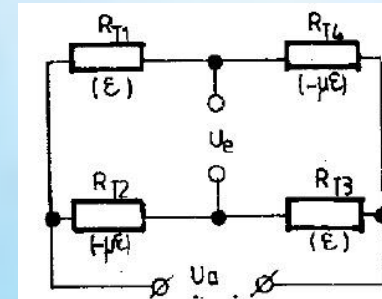
b) punte cu două brațe active cu TER supuse unor eforturi egale și de semne contrare:



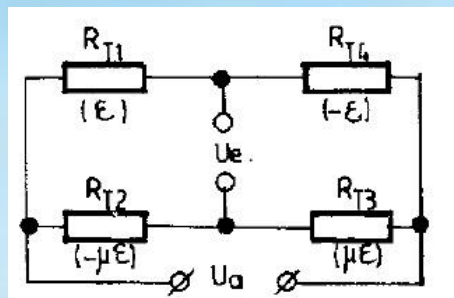
c) punte cu două brațe active cu TER supuse unor solicitări de același semn:



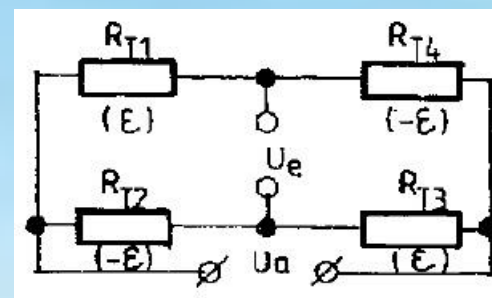
d) punte cu patru brațe active, două în câmp de efort maxim, două perpendiculare pe acestea:



e) punte cu două brațe active, cu două TER orientate după efort și două sesizând efortul Poisson:



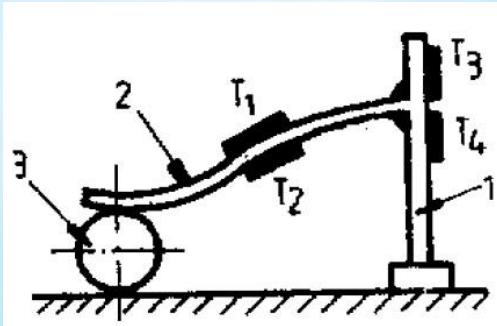
f) punte cu patru brațe egale supuse la eforturi egale și de sens contrar:



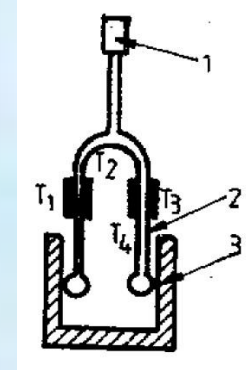
6.4 Captori pentru traductoare tensometrice rezistive

1. Captori pentru măsurarea deplasărilor și captori dinamometrici

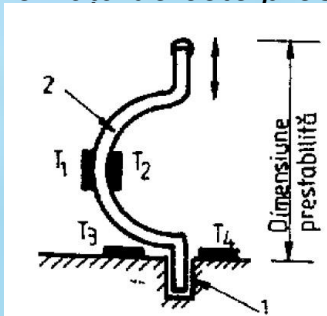
a) captor pentru determinarea diametrelor exterioare:



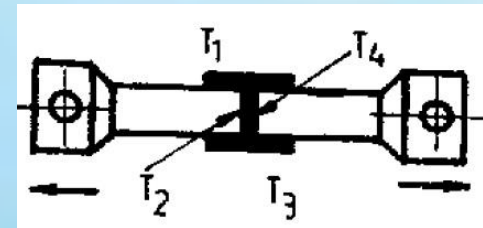
b) captor pentru determinarea diametrelor interioare:



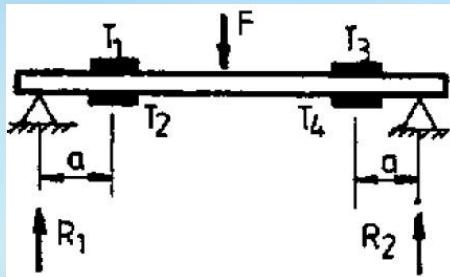
c) captor pentru controlul dimensional în cazul abaterilor față de cote prestabilite:



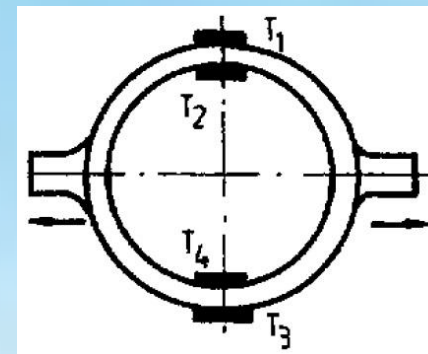
d) captori dinamometrici cu bare solicitate la tracțiune:



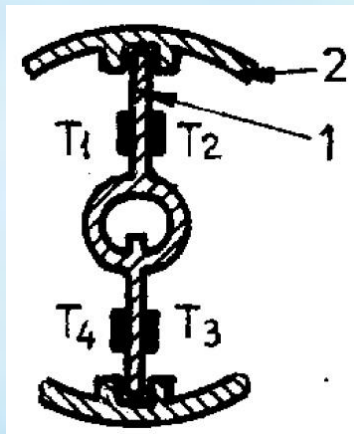
e) captor dinamometric cu bare drepte solicitate la încovoiere:



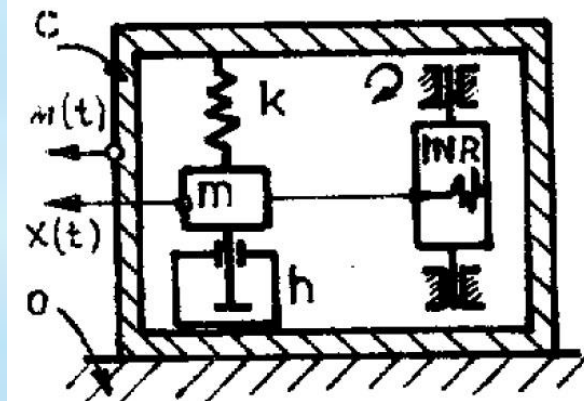
f) captor dinamometric cu element elastic inelar:



2. Captori pentru măsurarea cuplurilor de răsucire

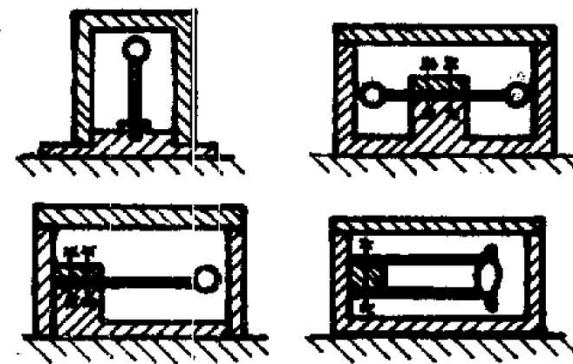
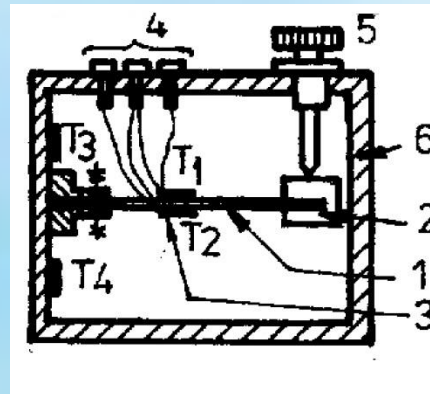
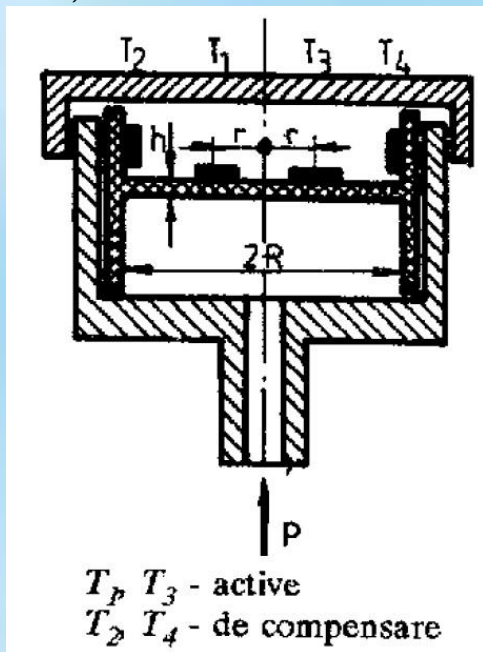


3. Captori pentru măsurarea vibrațiilor

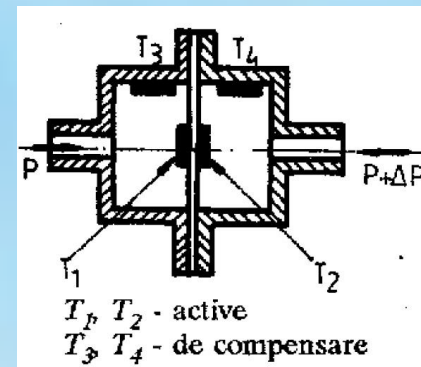
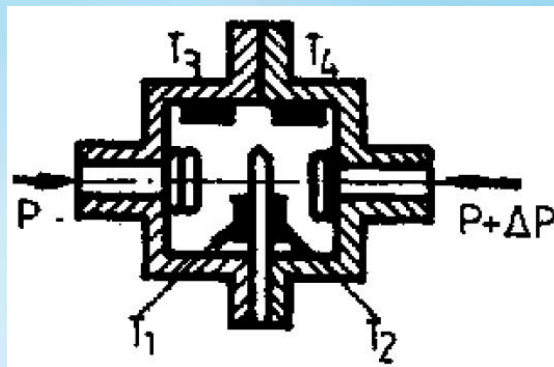


4. Captori pentru măsurarea presiunilor

a) captor cu membrană circulară (presiuni medii și mari):

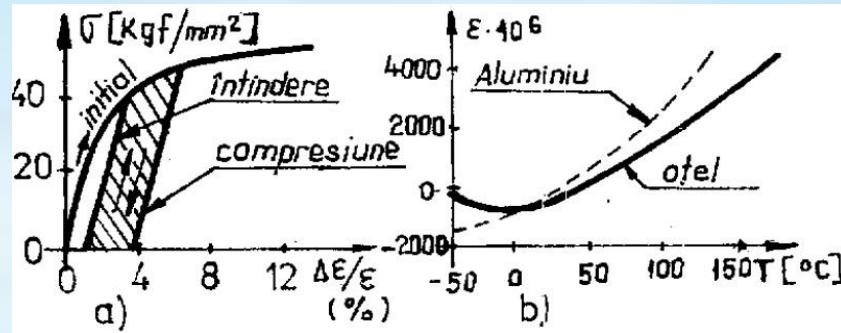


b) captor pentru presiuni joase:



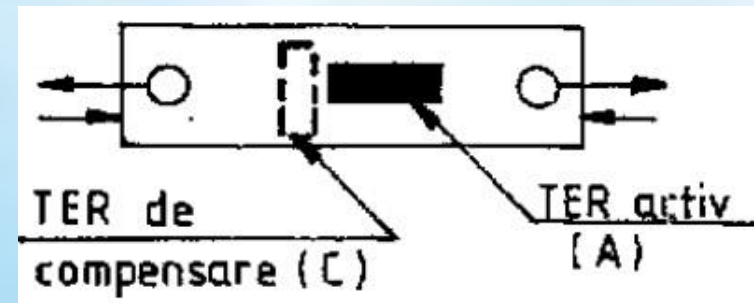
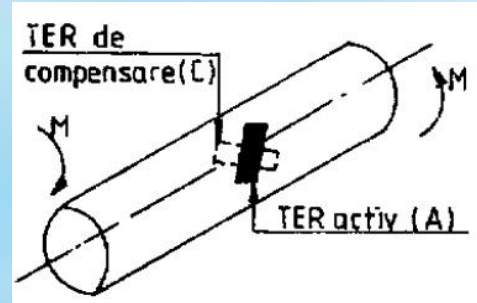
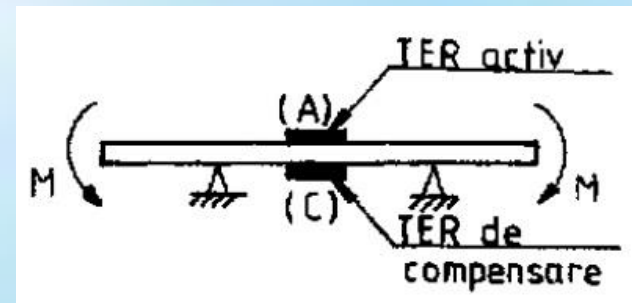
6.5 Factori de influență asupra funcționării traductoarelor tensometrice

1) Liniaritatea



- ciclul de histerezis datorat deformațiilor plastice ale elementului sensibil sau ale suportului (eventual adezivului);
- măsurările precise trebuie să țină cont de sensul sarcinii.

2) Efectul temperaturii



$$\frac{\Delta R}{R} = [1 + C_T(\alpha_r - \alpha_T)]\Delta T$$

- α_r - coeficientul de dilatare termică al piesei pe care e lipit traductorul;
- α_T - coeficientul de dilatare termică al traductorului;
- C_T - constanta traductorului (coeficientul de sensibilitate).

3) Efectul umidității

- șuntarea locală a traductorului prin scurgeri de curent între firele rețelei sensibile sau între traductor și masa metalică a piesei pe care este lipit.

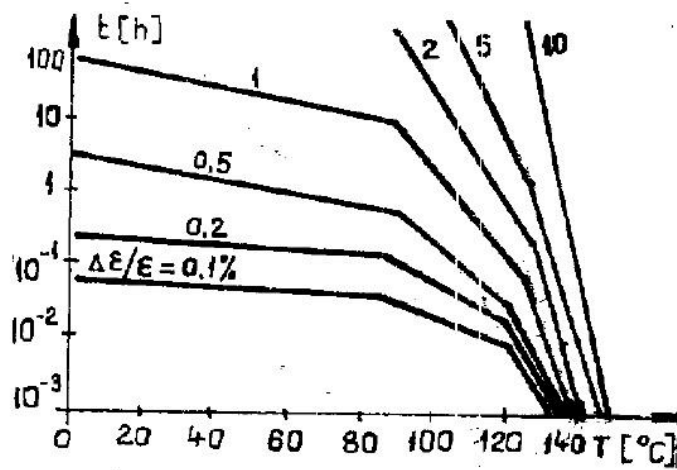
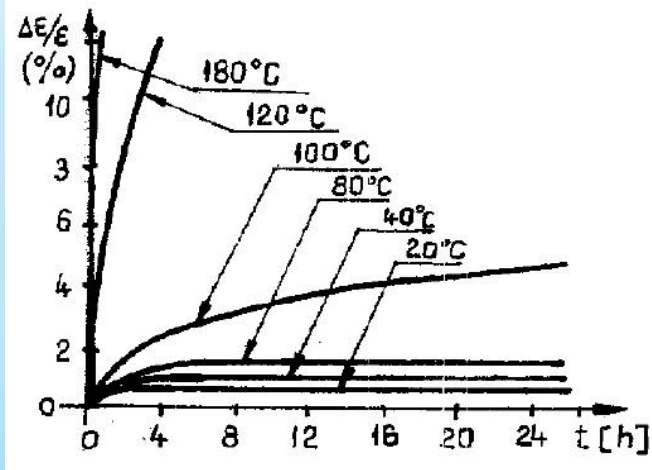
4) Efectul deformației transversale

- datorită structurii în bucle a traductoarelor, acestea pot fi sensibile și la deformații transversale (perpendiculare pe direcția de măsurare);
- eroarea apare prin modificarea constantei traductorului.

$$\Delta R/R = C_T \text{ longitudinal} \varepsilon_{\text{longitudinal}} + C_T \text{ transversal} \varepsilon_{\text{transversal}} \quad - \text{unde: } C_T \text{ transversal} = (0.01 \dots 0.02) C_T \text{ longitudinal}$$

5) Fulajul traductoarelor tensometrice

- variația rezistenței electrice a TER la deformații constante și de lungă durată;
- apare o modificare a condiției de echilibru a punții sau a circuitului de măsurare.



6) Efectul conductoarelor de legătură

- trebuie să aibă rezistență electrică mult mai mică decât a traductorului propriu-zis;
- până la lungimi de 5...10m, rezistența este negliabilă, după trebuie inclusă în condițiile de echilibrare;
- în cazul punților de c.a. cu frecvența purtătoare mai mare de 10kHz se utilizează cabluri ecranate.

7) Limitele pentru solicitările traductoarelor tensometrice

- deformația măsurată;
- temperatura maximă;
- frecvența solicitărilor variabile;
- intensitatea curentului în firul sensibil.

Cursul VII

Măsurarea temperaturii

7.1 Principii de măsurare – generalități

7.2 Dioda semiconductoare

7.3 Tranzistorul metalic

7.4 Termistorul

7.5 Termorezistența

7.6 Termocuplul

7.7 Traductorul cu cuarț

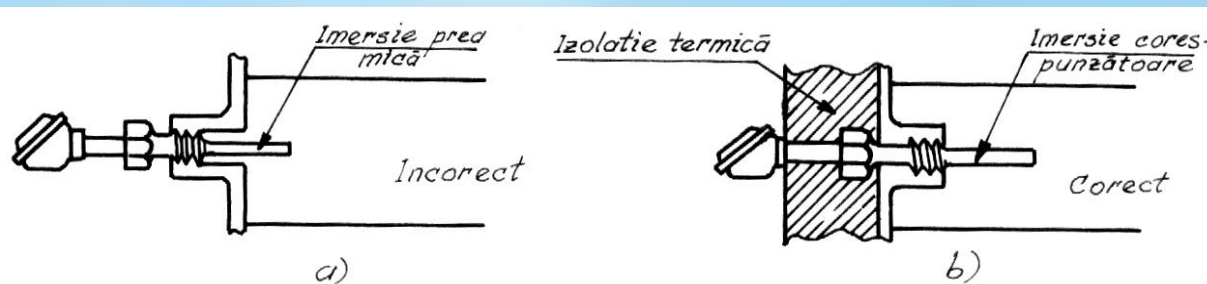
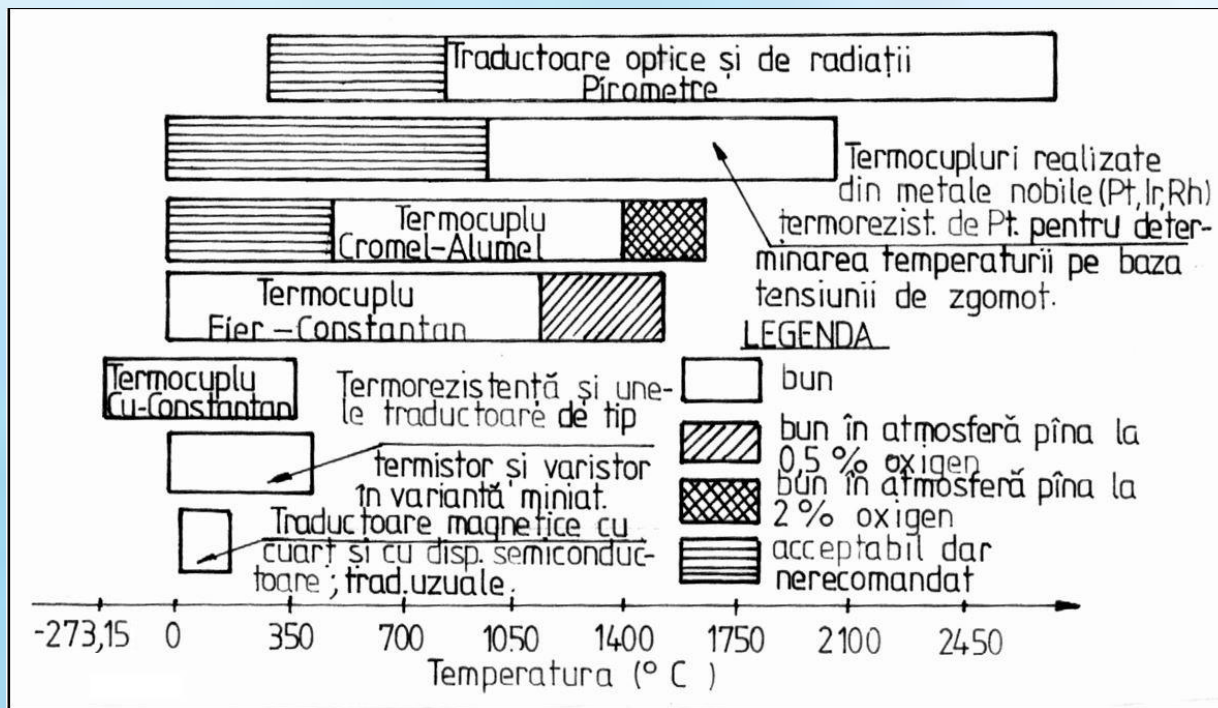
7.8 Traductoare cu fibre optice

7.9 Pirometre de radiație

7.10 Circuite de termoreglare

7.1 Principii de măsurare – generalități

- unitatea de măsură în Sistemul Internațional (SI) este kelvinul (K);
- temperatura 0 K (zero absolut) este punctul în care moleculele și atomii au cea mai mică energie termică;
- 1°C reprezintă a 1/273,16-a parte din intervalul cuprins între punctul triplu al apei (0,01 °C) și punctul de zero absolut (-273,15 °C)
- 0°F este temperatura la care un amestec masic echivalent de gheață și sare se topește;
- 96 °F este temperatura internă a corpului uman;
- °F= 1,8 °C+32



7.2 Dioda semiconductoare

1. Principiul de funcționare

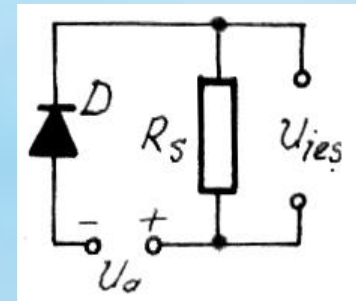
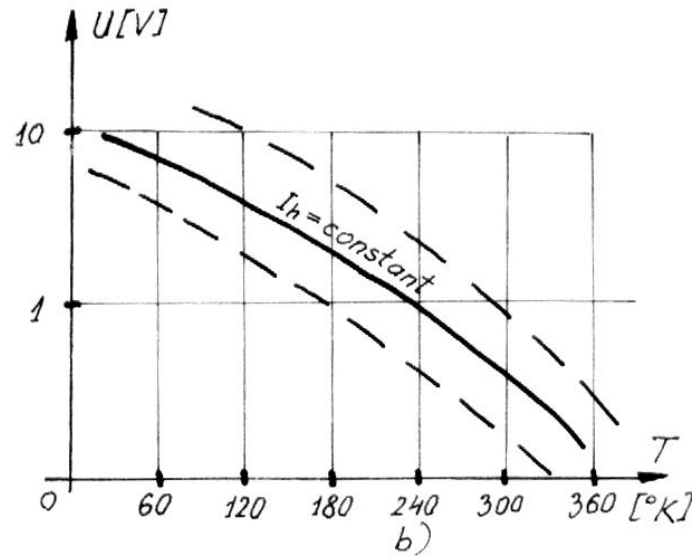
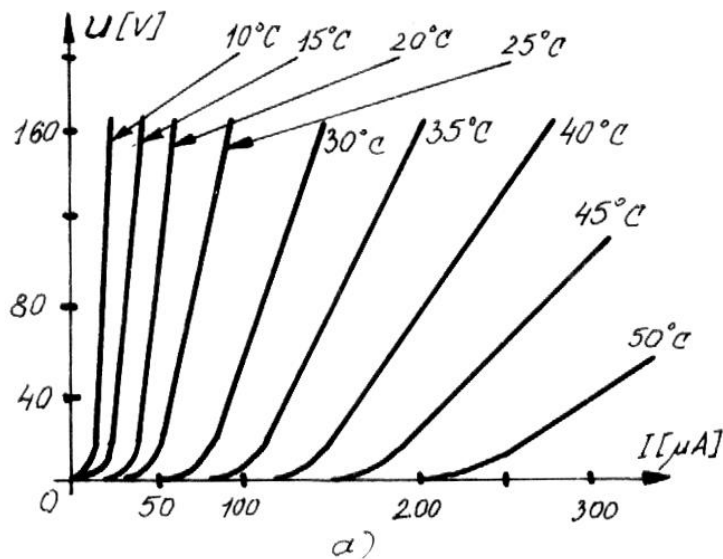
- se utilizează la măsurarea acestei mărimi într-un domeniu relativ restrâns 10...70 °C;
- sensibilitate și liniaritate bună a caracteristicii $U = f(I)$ la diferite valori de temperatură;
- considerând joncțiunea p-n polarizată direct, funcția de interdependență tensiune-curent-temperatură este dată de relația lui Shokley:

$$I = I_0 \cdot \left[\exp \frac{eU}{k_B T} - 1 \right] \quad \text{în care, pentru curentul de saturație, } I_0 \text{ se scrie expresia: } I_0 = T^n \cdot \exp \left(- \frac{\Delta W}{k_B T} \right)$$

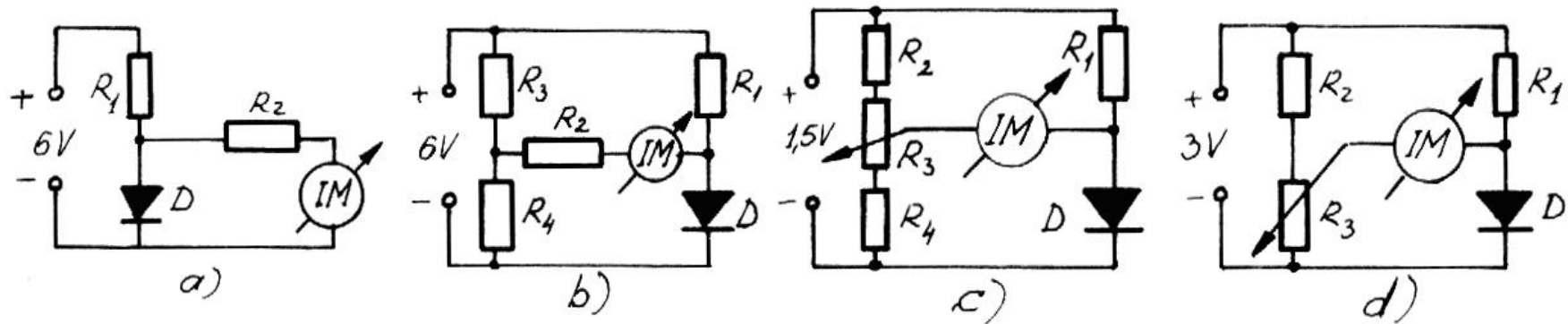
$$I = T^n \cdot \exp \left(\frac{eU - \Delta W}{k_B T} \right) \quad \text{- unde } \Delta W, \text{ este lățimea benzii de trecere interzise } (\Delta W = 1,12 \text{ eV pentru Si și } 0,67 \text{ pentru Ge), } k_B, \text{ constanta lui Boltzmann, iar } T, \text{ temperatura.}$$

$$U = f(T) \Big|_{I=\text{constant}}$$

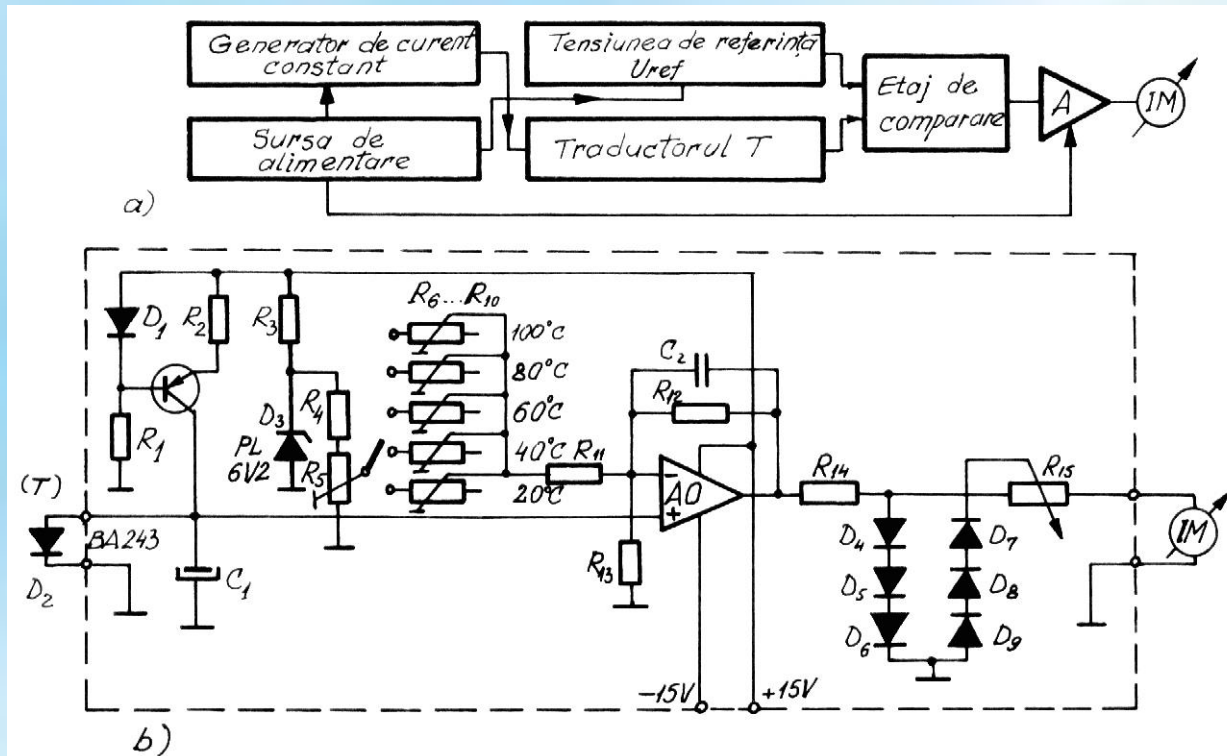
$$U = \frac{\Delta W}{e} - n \frac{k_B}{e} T \cdot \ln T + \frac{k_B}{e} T \cdot \ln I$$



2. Termometre cu diode semiconductoare



- utilizează caracteristica cvasiliniară de variație a tensiunii la bornele unei diode în funcție de temperatura de lucru a joncțiunii.

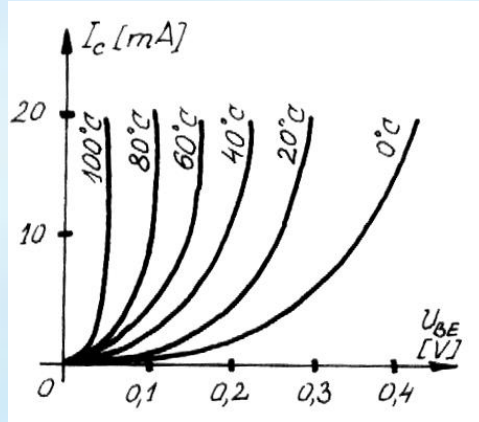


- tensiunea culeasă de pe traductor este comparată cu o tensiune de referință stabilită de dioda Zener.

7.3 Tranzistorul metalic

1. Principiul de funcționare

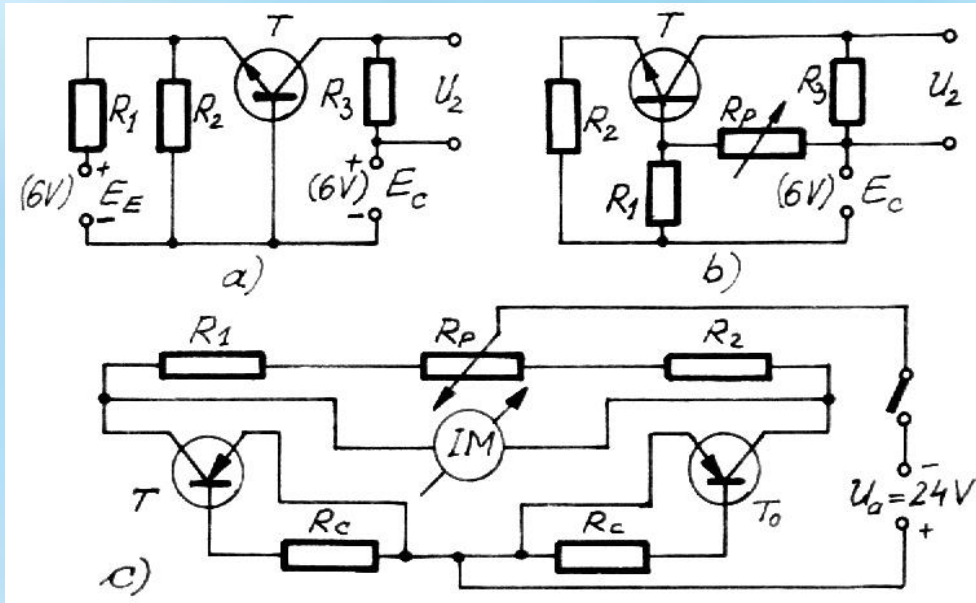
- avantaje legate de sensibilitatea de variație cu temperatura a unor parametri caracteristici funcționali: curentul rezidual I_{CB0} (cu emitorul în gol) și tensiunea bază-emitor U_{BE} (la curent de colector, I_C , constant):



$$I_c = \frac{I_{CB0}}{1 - \alpha}$$

- în care α este factorul de curent al tranzistorului.

2. Termometre cu tranzistor metalic

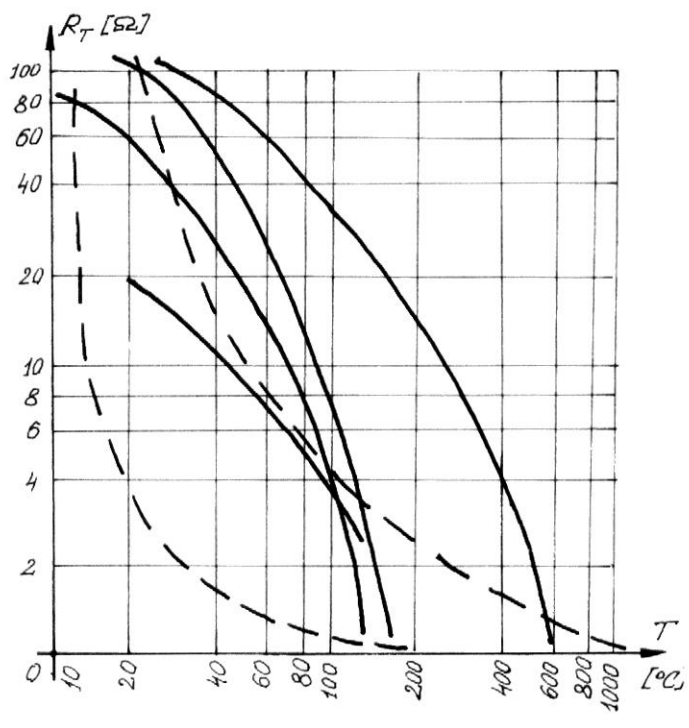


- cu două surse de polarizare separate;
- cu o singură sursă și o rezistență de polarizare în circuitul bazei;
- în montaj punte Wheatstone, la care în două brațe adiacente sursei, rezistențele sunt înlocuite cu două tranzistoare (unul reprezintă traductorul de temperatură, iar cel de-al doilea traductorul de referință).

7.4 Termistorul

1. Principiul de funcționare

- un dispozitiv semiconductor sensibil la temperatură, rezistența sa variind relativ mult cu temperatura;
- majoritatea tipurilor de termistori au un coeficient de temperatură negativ $-4...-8 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$;
- domeniul util de lucru este cel pentru care există o pantă semnificativă de variație a rezistenței R_T cu temperatura.



$$R_T = R_0 \exp \left[\frac{B(T_0 - T)}{T_0 T} \right]$$

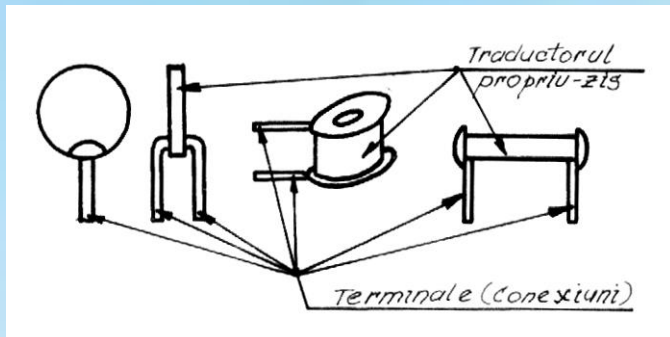
- în care R_T și R_0 sunt rezistențe chimice ale traductorului la temperaturile T ($^{\circ}\text{C}$, K), respectiv T_0 , de referință ($T_0 = 25^{\circ}\text{C}$; 298 K), iar B este o constantă determinată experimental prin măsurarea rezistenței materialului semiconductor la două temperaturi diferite:

$$B = \frac{2,303(\log R_T - \log R_0)}{(1/T) - (1/T_0)}$$

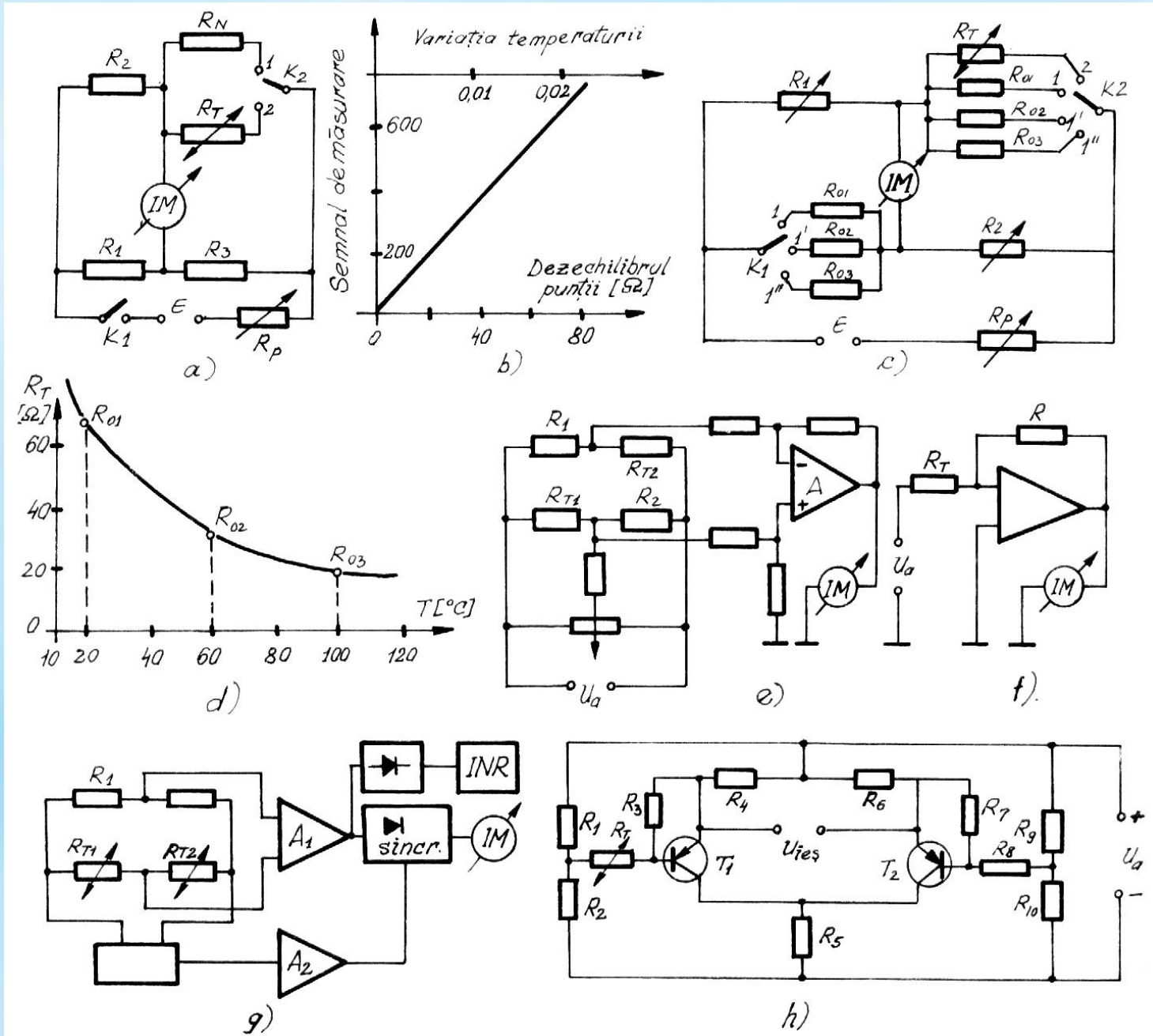
- k_T - coeficientul de variație cu temperatura al traductorului este:

$$k_T = - \left(B/T^2 \right)$$

$$R_T = R_0 \exp(k_T \Delta T); \quad \text{unde: } \Delta T = T - T_0$$



2. Termometre cu termistor



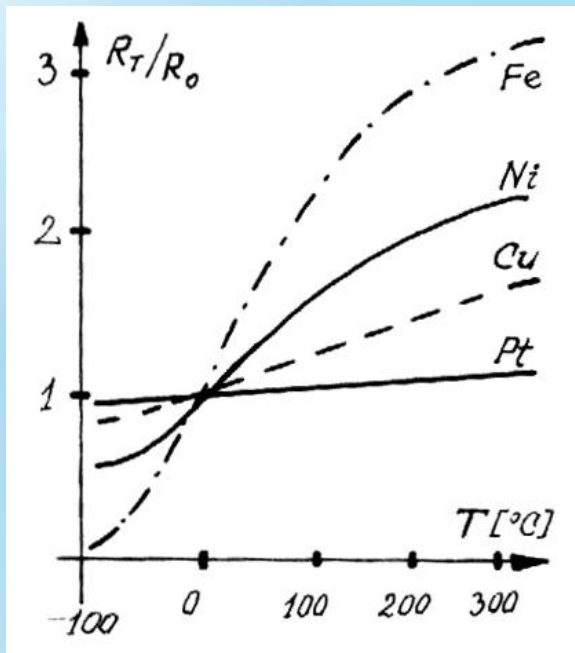
7.5 Termorezistența

1. Principiul de funcționare

- se bazează pe fenomenul de variație a rezistivității, respectiv a conductivității electrice în funcție de temperatură, de obicei în sensul creșterii rezistivității, respectiv a scăderii conductivității.

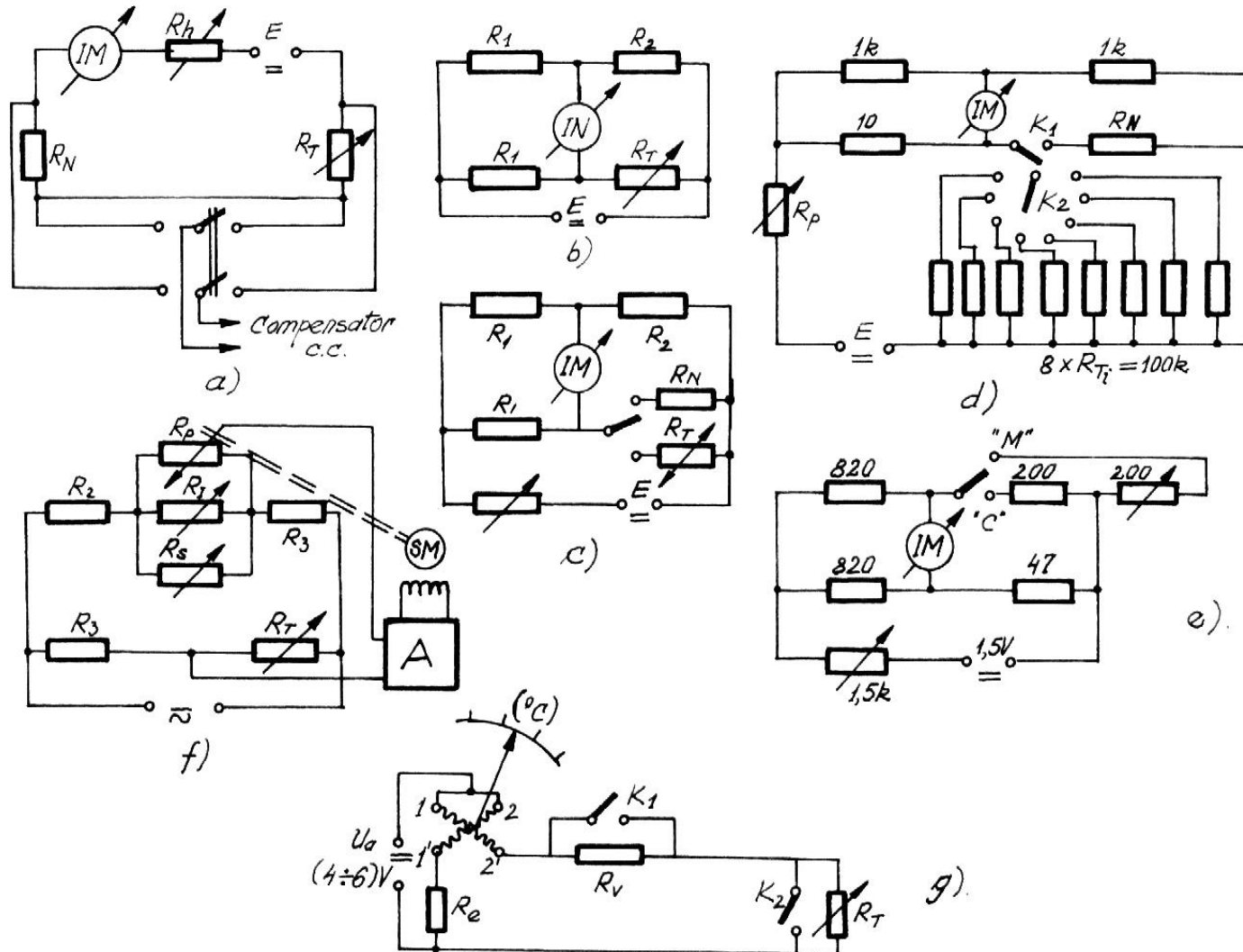
$$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

- în care R_T și R_0 sunt valorile rezistenței chimice a traductorului la temperaturile T , respectiv T_0 (de referință; $T_0 = 20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$), iar α este coeficientul de variație al rezistenței cu temperatura.



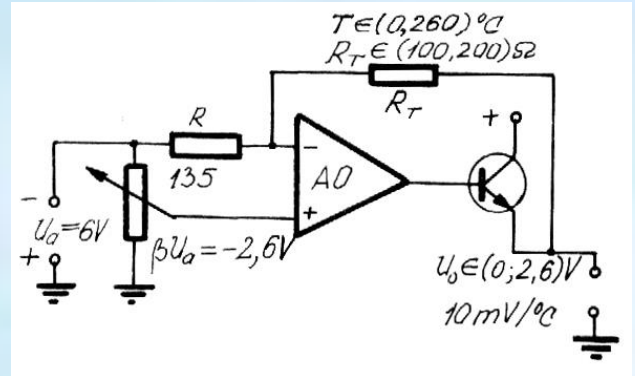
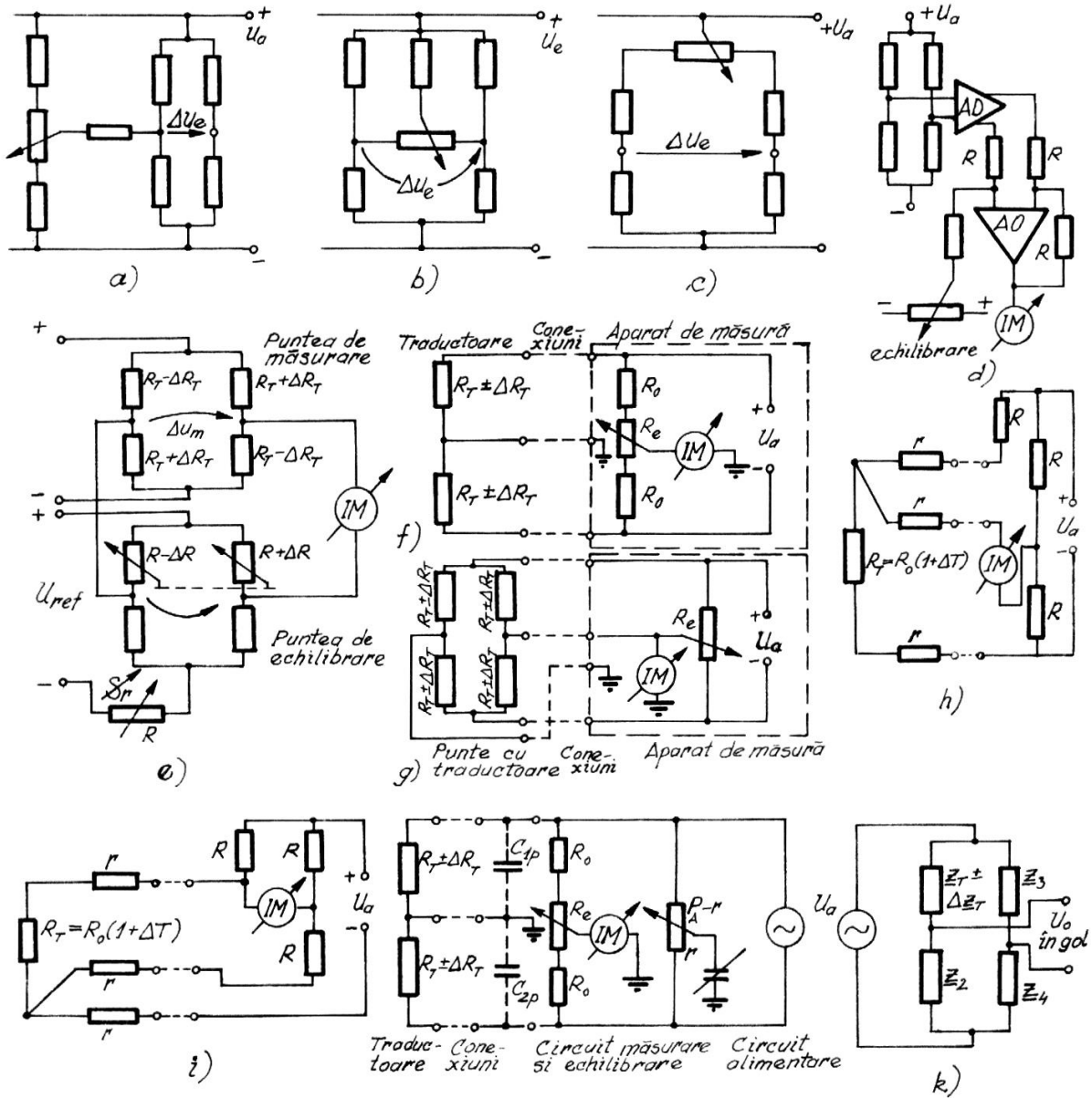
Tipul termo-rezistenței	Domeniul de temperatură [$^\circ\text{C}$]	Ecuția $R_T = f(T)$	Caracteristici funcționale
Platină	-200 ... +600	$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$	- liniaritate bună; - sensibilitate mică.
Cupru	-50 ... +200	$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2]$	- liniaritate bună; - sensibilitate mică, dar mai mare ca la Pt.
Nichel	0 ... +300	$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2]$	- liniaritate destul de bună; - sensibilitate bună (α , β , mare).
Fier	0 ... +200	$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2]$	- liniaritate corespunzătoare în domeniu mic de temperatură; - sensibilitate foarte bună.

2. Termometre cu termorezistență



- a) metoda compensatorului;
- b) punte Wheatstone echilibrată;
- c), d), e) punte Wheatstone dezechilibrată;
- f) metoda punții automate;
- g) metoda logometrului.

- modificarea punctului de măsurare și a originii scalei



- măsurarea unor variații mici de temperatură peste o valoare inițială mare;
- schimbarea originii (scalei) semnalului (la trecerea de exemplu de la K la °C);
- eliminarea sau compensarea unui nivel de mod comun;
- eliminarea sau introducerea (voită) a unui offset (la trecerea de exemplu de la un semnal unificat 0...10 V la semnal unificat 4...20 mA).

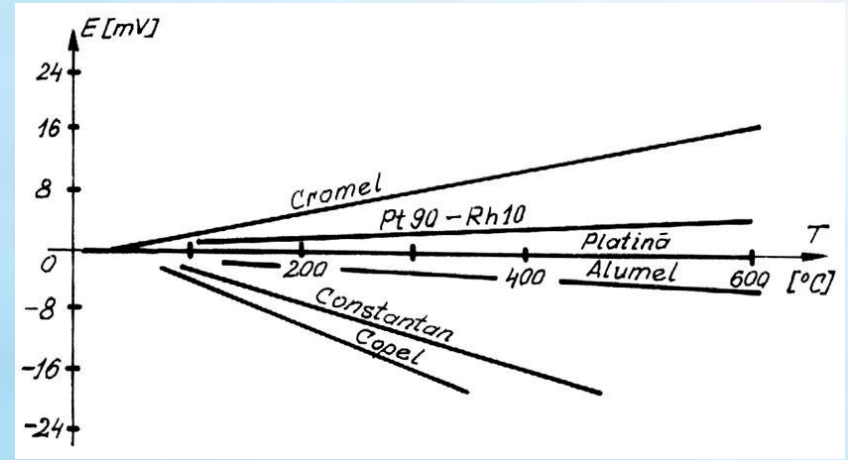
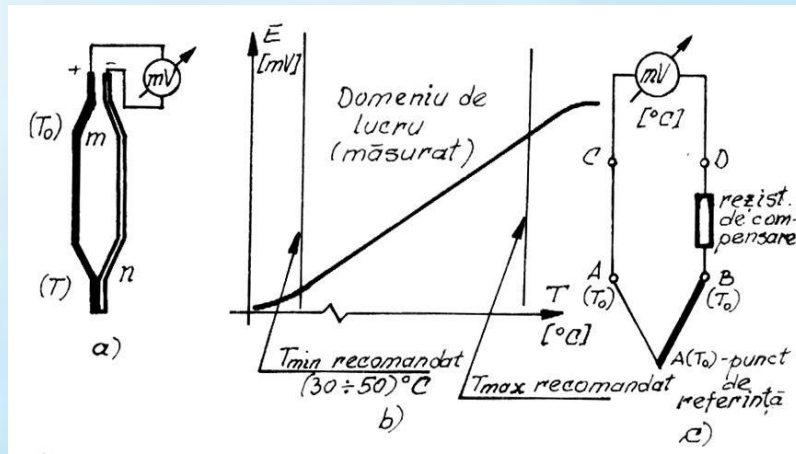
7.6 Termocuplul

1. Principiul de funcționare

- se bazează pe efectul termoelectric Seebeck;
- apariția unei tensiuni termoelectromotoare dependentă de diferența temperaturilor punctelor de joncțiune $m(T_0)$ și $n(T)$ dintre conductoare de natură diferită, care formează un termocuplu;

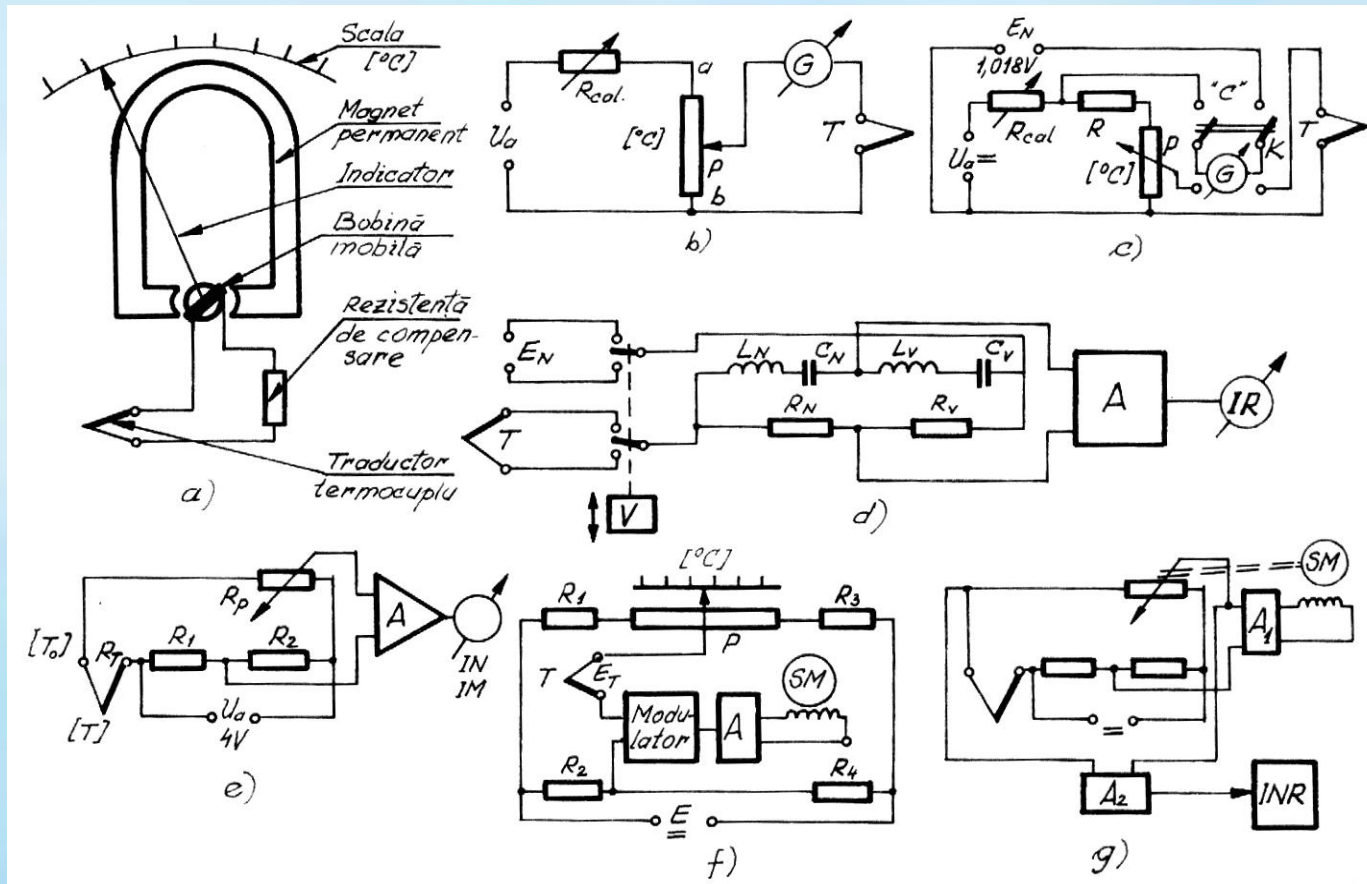
$$E = k\Delta T = k(T - T_0)$$

- unde k este o constantă specifică materialelor utilizate.

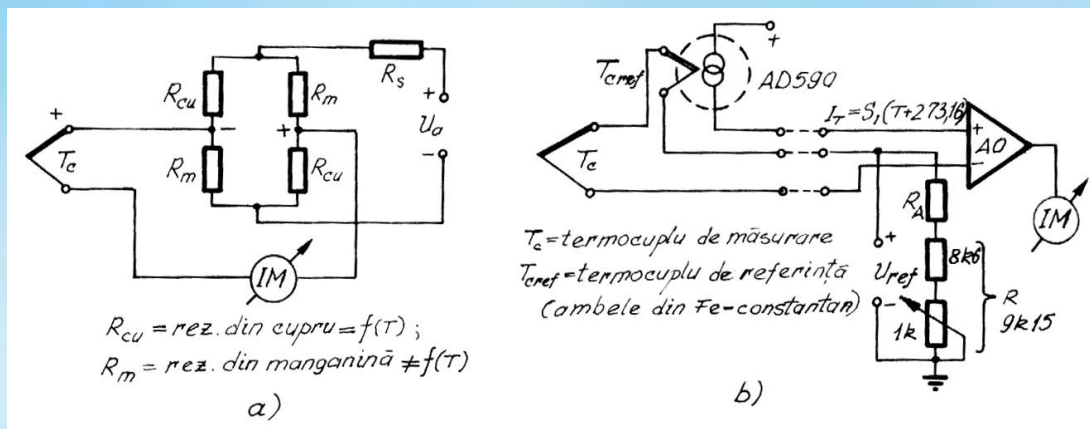


Tip termocuplu	Domeniu de utilizare [°C]	Precizie [%]	Material fire conexiuni	
			Borna pozitivă	Borna negativă
Platină-Rhodi-Platină	-50 ... +600	0,2 ... 0,5	platină-rhodi	platină
Cromel-Alumel	-50 ... +900	0,5 ... 1,0	cupru	constantan
Cromel-Copel	-50 ... +600	0,5 ... 1,0	cromel	copel
Fier-Copel	-50 ... +600	0,5 ... 1,0	fier	copel
Cupru-Copel	-50 ... +350	0,5 ... 1,0	cupru	copel
Fier-Constantan	-50 ... +500	0,5 ... 1,0	fier	constantan
Cupru-Constantan	-50 ... +500	2,0	cupru	constantan

2. Termometre cu termocuplu



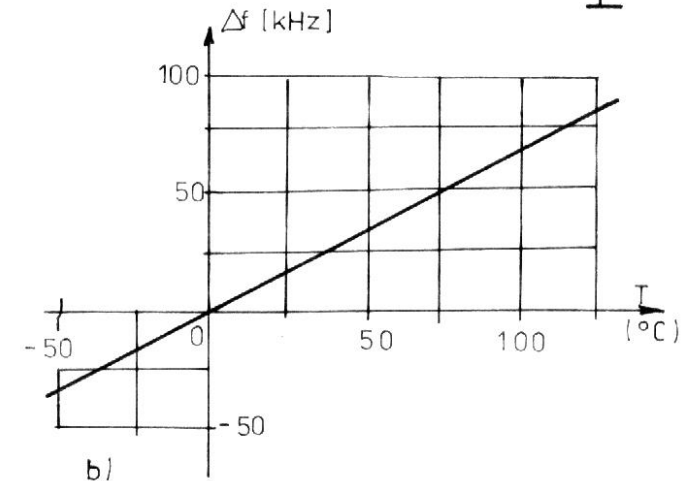
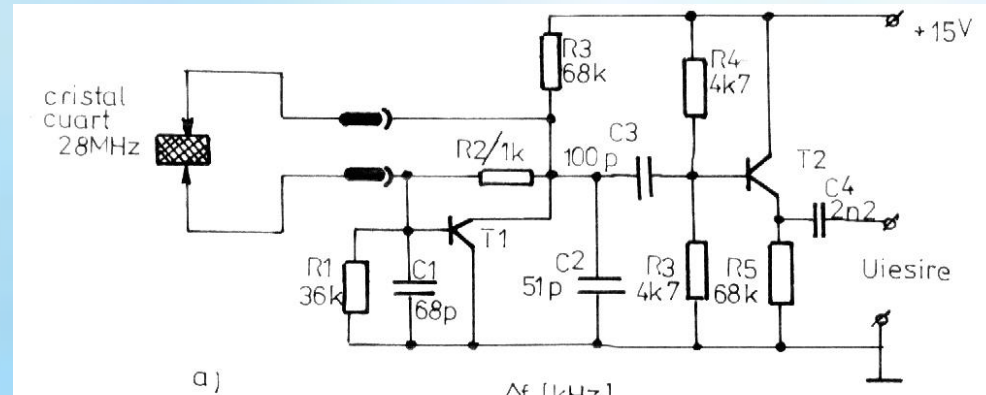
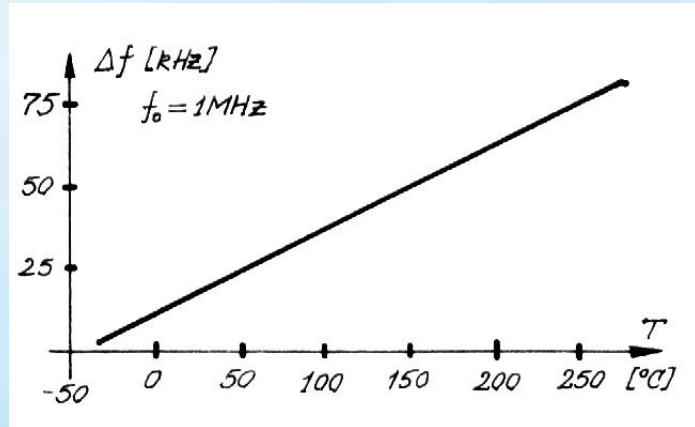
- modificarea punctului de măsurare și a originii scalei



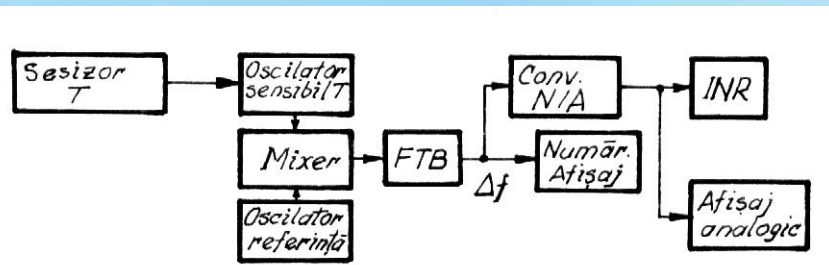
7.7 Traductorul cu cuarț

1. Principiul de funcționare

- se bazează pe modificarea frecvenței de oscilație a unui cristal de cuarț;
- destinat măsurărilor de precizie 0,01...0,02% a temperaturii în domeniul -30...+250°C;
- o sensibilitate medie de 1 kHz/°C;
- timpul de răspuns este similar celui de la termorezistențe (de ordinul secundelor).



2. Termometre cu cuarț

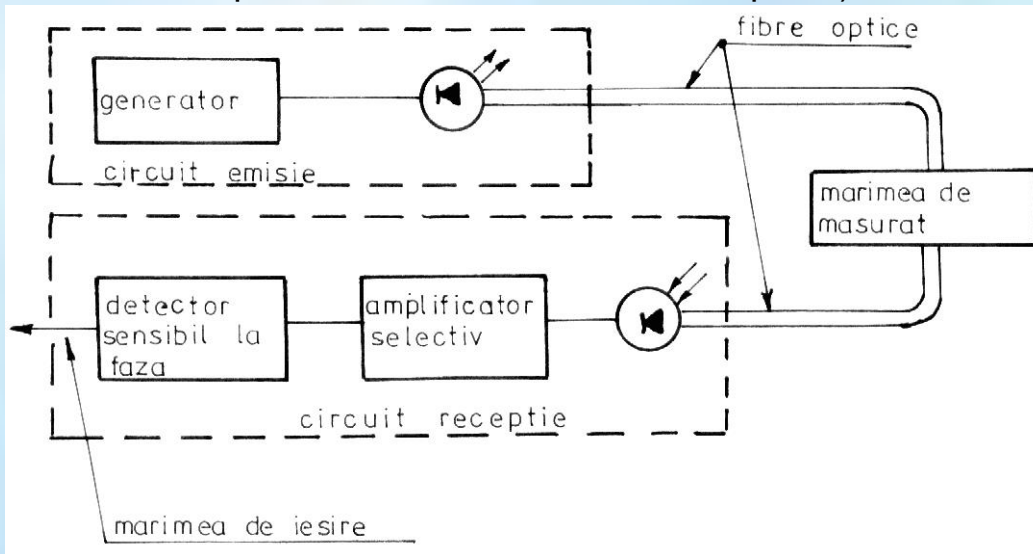


- termometrul are o caracteristică liniară în domeniul -60...+120°C, cu o sensibilitate de aproape 1000 Hz/°C și o precizie de 0,2°C.

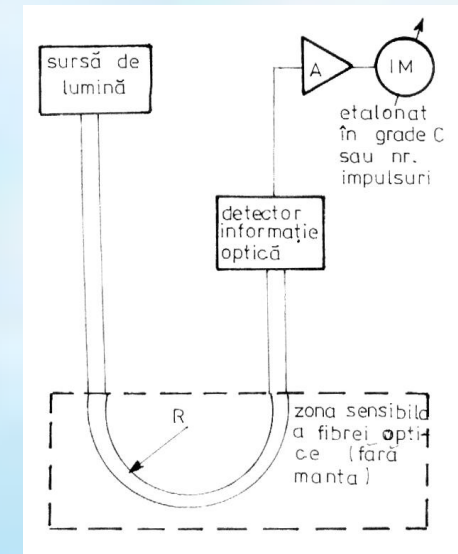
7.8 Traductoare cu fibre optice

1. Principiul de funcționare

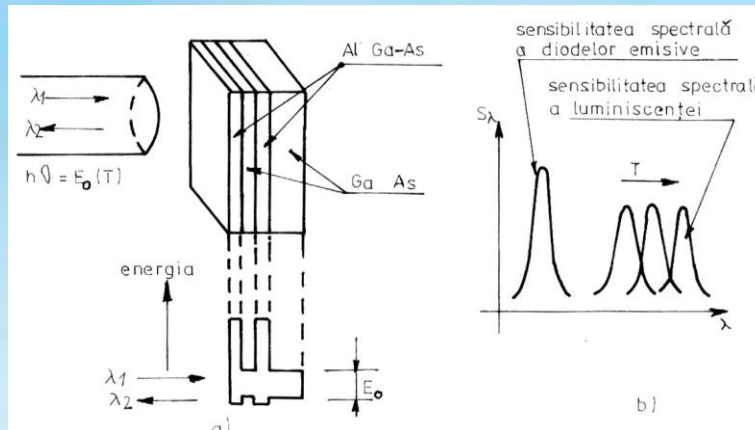
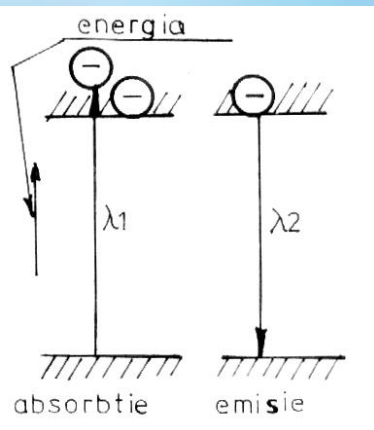
Efectele ce stau la baza realizării unor traductoare de temperatură cu fibre optice sunt fotoluminiscenta, modificarea lungimii fibrei optice, modificarea indicelui de refracție al teii fibrei optice, modificarea condițiilor de transmisie pe traiectul razelor optice (obturarea căii optice sau modificări ale suprafeței de reflexie a fluxului luminos incident, prin deformarea termică a unei piese)



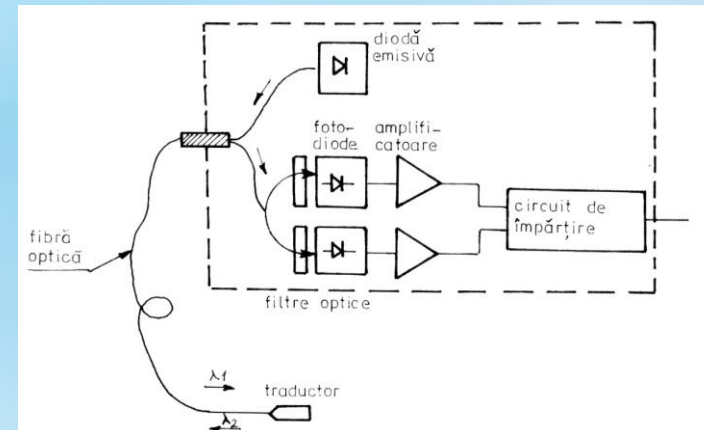
- schema bloc de utilizare a fibrei optice pentru măsurare



- modificarea indicilor de refracție ai inimii și teii

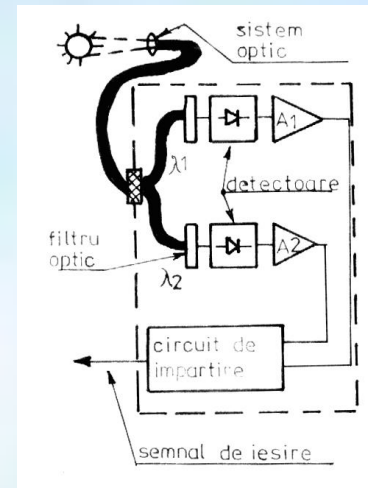
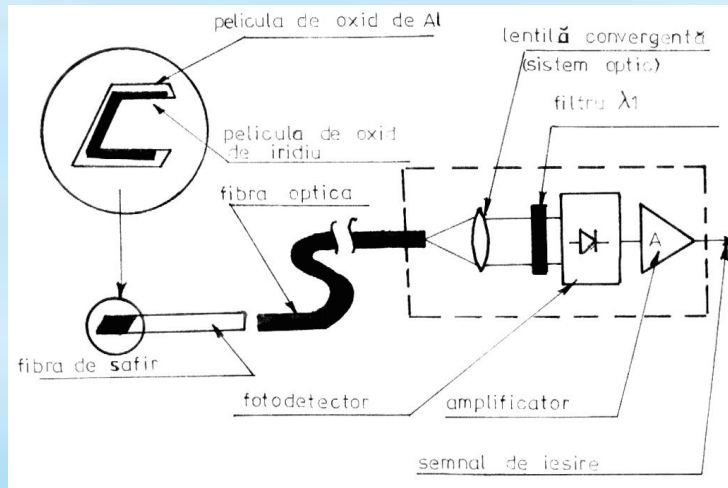
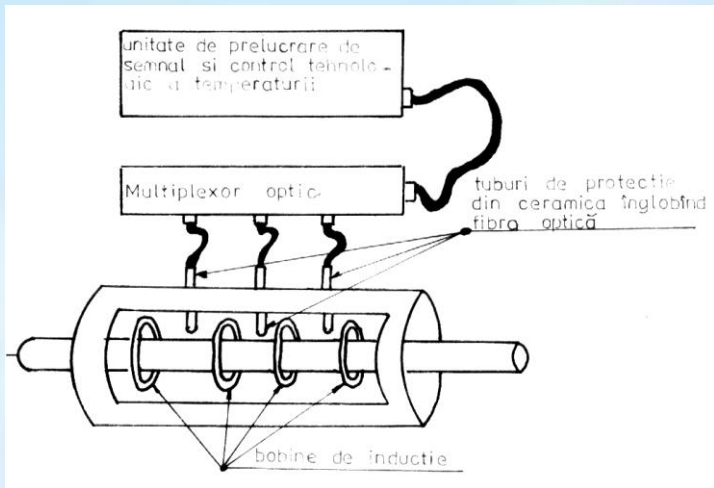


- efecte optice luminescente necoerente



$$T = f(\Delta\lambda)$$

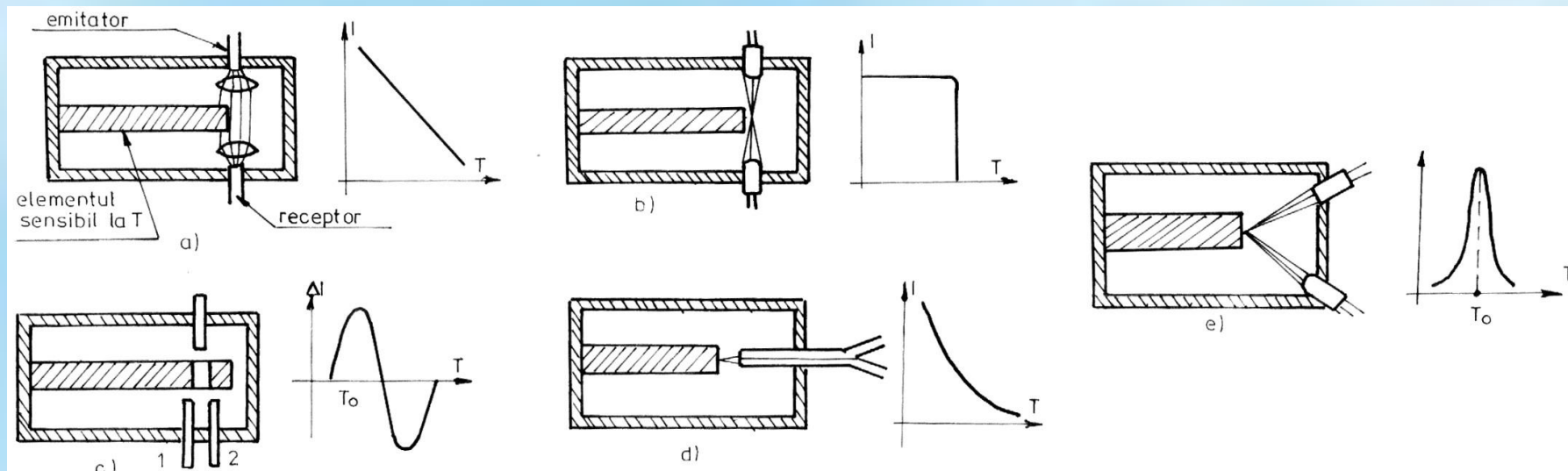
2. Termometre cu fibre optice



- măsurarea temperaturii în mai multe puncte ale unui cuptor cu inducție

- modificare a puterii radiante a corpului negru la $\lambda = \text{constant}$ a radiației luminoase

- modificarea lungimii de undă a radiației luminoase incidente prin fibra optică



Variantele a, b, c se referă la deformări ale piesei supuse fluxului termic, iar d și e la modificări ale suprafeței transversale a piesei, cu influență asupra reflexiei informației optice.

7.9 Pirometre de radiație

1. Principiul de funcționare

- din punct de vedere energetic orice radiație emisă de un corp este însoțită de un consum de energie;
- dacă temperatura unui corp este mai mare, el radiază o cantitate mai mare de energie; această radiație, vizibilă sau nu, poate fi detectată și măsurată prin metode de absorbție care se manifestă fie prin fenomene termice fie prin fenomene fotoelectrice.
- radiațiile emise datorită agitației termice reprezintă o măsură a temperaturii termodinamice pentru un corp dat și pentru o temperatură dată;
- cea mai importantă caracteristică a măsurării radiative este influența practic nulă pe care o are măsurarea asupra obiectului măsurat.

Pirometrul	Termocuplul
- Măsurarea radiativă nu interferează cu procesul măsurat. Se măsoară energia radiată care este emisă în orice situație. Pirometrul este foarte indicat la solide, mai puțin pentru lichide și gaze.	- Contactul cu obiectul măsurat produce modificarea, mai mare sau mai mică, a temperaturii procesului. Termocuplul nu este indicat pentru solide fiind indicat în cazul lichidelor și a gazelor (cu precauții).
- Teoretic pirometrele nu sunt limitate superior de temperatura măsurată, nefiind în contact direct cu sursa măsurată.	- Termocuplul este limitat superior în temperatură, joncțiunea de măsurare atingând temperatura obiectului măsurat
- Erorile de măsurare sunt mici și pirometrul este stabil, dacă se calibrează și se întreține corespunzător.	- Este precis când este nou, dar se decalibrează în timpul utilizării.
- Timpul de răspuns este scurt; 1 s pentru termobaterie și 1 ms pentru detectori fotovoltaici.	- Răspunsul este lent și depinde de teaca de protecție (10...100 s).
- Prețul de cost este mai mare, dar timpul de viață este teoretic infinit.	- Costurile inițiale sunt scăzute, dar timpul de viață este limitat de contaminările care apar în timpul utilizării.
- Intervalul de măsurare este limitat datorită neliniarității puternice dintre temperatură și mărimea de ieșire. Liniarizarea poate fi făcută electronic.	- Domeniul de măsurare este larg datorită dependenței relativ liniare între semnalului de ieșire și temperatura măsurată.
- În condiții grele necesită răcire cu aer sau apă.	- Nu necesită răcire.
- Necesită o direcție de vizare neobturată. În unele cazuri pot fi utilizate fibrele optice flexibile.	- Poate măsura temperatura în locuri inaccesibile.
- Măsurarea temperaturilor coborâte este dificilă. Radiația mediului este comparabilă, ca nivel, cu radiația măsurată.	- Măsurarea temperaturilor joase nu prezintă probleme deosebite.
- Sensibilitate mare [%/°C].	- Sensibilitate mică [%/°C].

Mărimi și concepte specifice termometriei de radiație

Corp negru: - un corp cu reflexivitate zero sau o sursă a cărei emisie de radiație este maxim posibilă (pe toate lungimile de undă) pentru temperatura pe care o are.

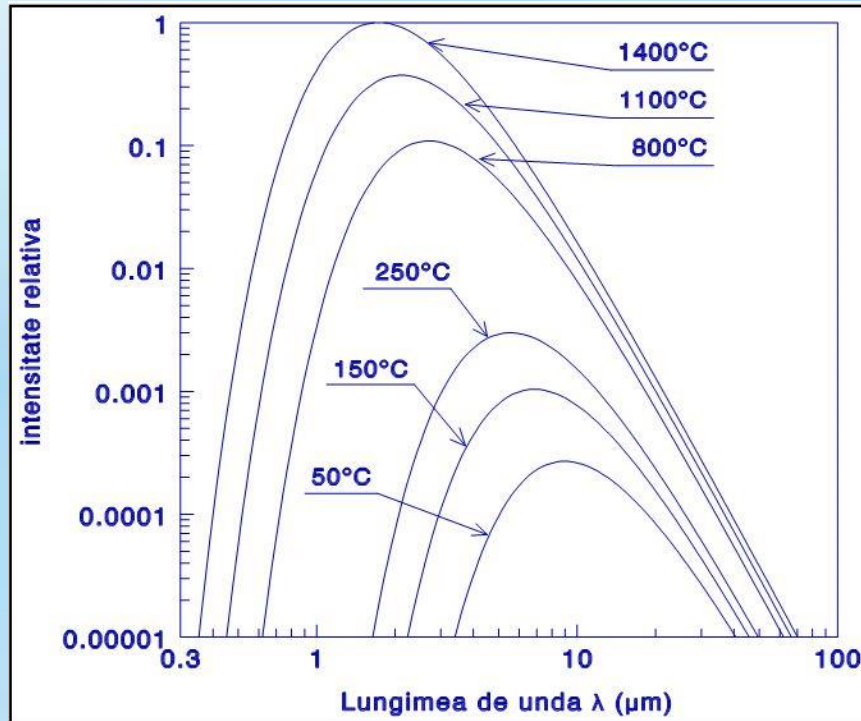
Emisivitate: - raportul subunitar dintre radiația emisă de o suprafață și cea emisă de un corp negru aflat la aceeași temperatură.

Monocromatic: - se referă la radiația de o singură lungime de undă sau de o bandă foarte îngustă. De asemenea se utilizează la filtrele de bandă sau la termometrele de radiație, a căror curbe de sensibilitate cu lungimea de undă au un maxim pronunțat într-o bandă relativ îngustă de lungimi de undă.

Reflectivitate: - raportul dintre radiația reflectată de suprafață și cea incidentă la suprafața a cărei reflectivitate o definim.

Țintă: - aria suprafeței calde care este văzută de pirometru.

Câmpul de vizare al termometrului de radiație: - constă (uzual) din două conuri, unul de la lentilă la planul focal și celălalt după planul focal. Intersecția dintre suprafața supusă măsurării și unul din aceste conuri este ținta pirometrului, care în mod normal este un cerc (la vizare înclinată este o elipsă).

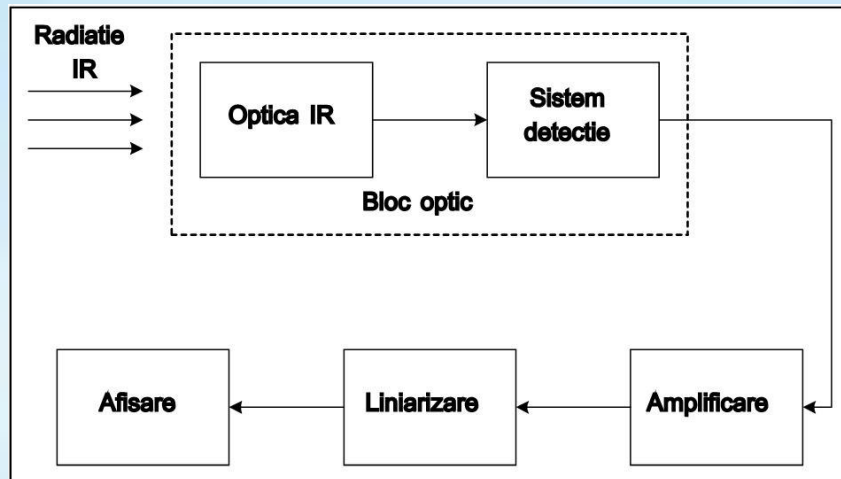


Legea lui Planck: energia radiată de corpul negru, aflat la temperatura T (Kelvin), între lungimile de undă λ și $\lambda+d\lambda$ este:

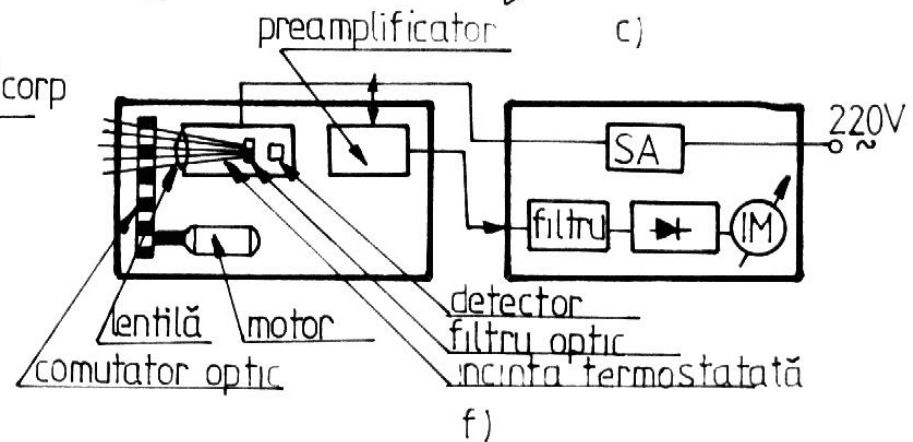
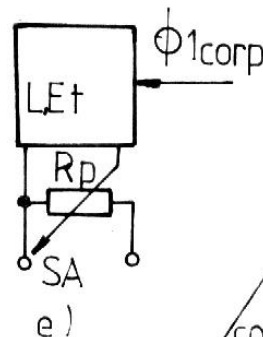
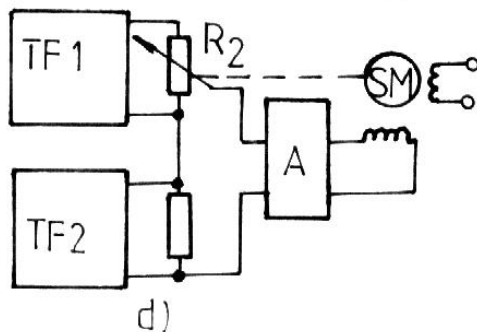
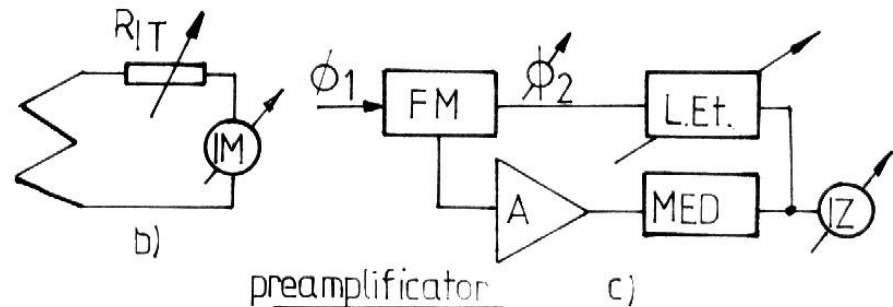
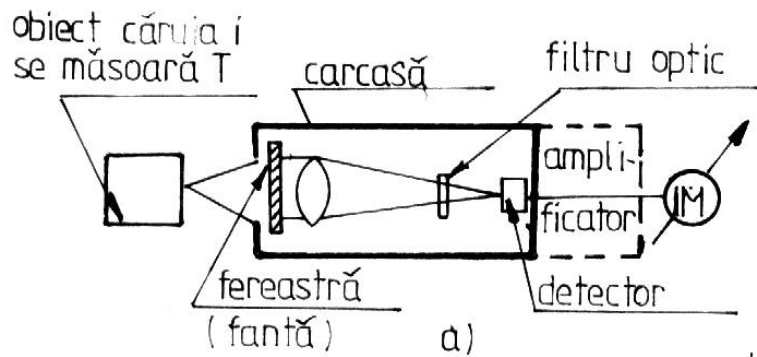
$$J_{\lambda T} \cdot d\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \cdot d\lambda$$

- C_1 este prima constantă a lui Planck = $3,74 \cdot 10^{16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$;
- C_2 este a doua constantă a lui Planck = $1,4388 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{K}$;

2. Tipuri de pirometre

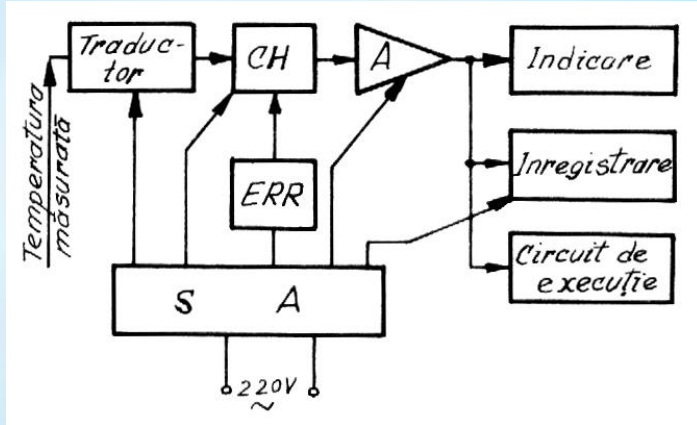


- sistem optic (lentile + oglinzi);
- pirometre de radiație totală – baterie de termocupluri;
- pirometre de radiație parțială – fotomultiplicator și lampă etalon;
- pirometre de raport – pirometru bicolor sau pirometru de culoare;
- pirometre cu disipație de filament – compararea strălucirii a două corpuri calde;
- pirometre automate – compararea energiei radiate cu energia unei surse de referință.

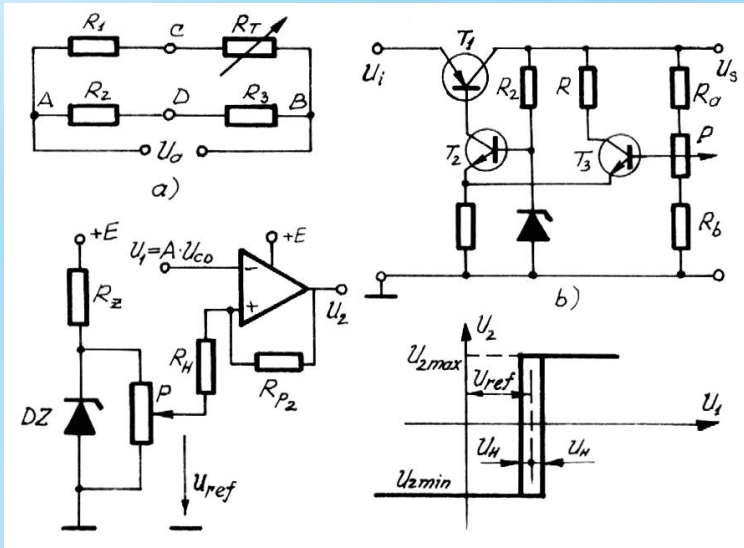


7.10 Circuite de termoreglare

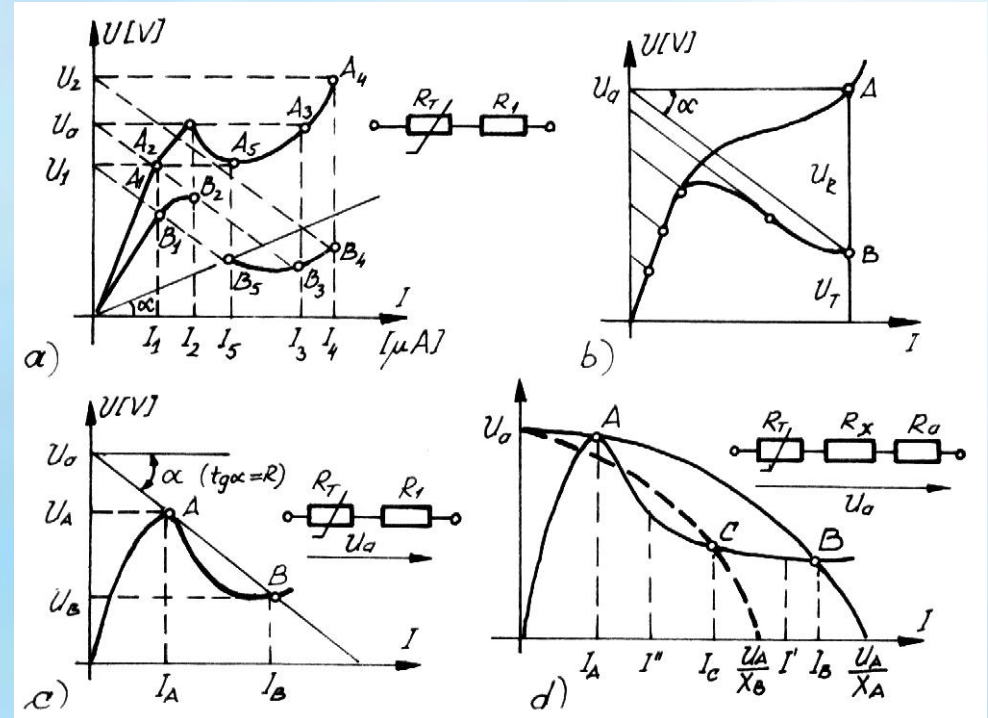
Principiul termoreguletoarelor electronice se bazează pe compararea tensiunii furnizate de traductorul de temperatură (termocuplu, termorezistență, termistor, etc.) dependentă de temperatură, T , de măsurat, (E_x), cu o tensiune de referință prestabilită, (E_R), corespunzătoare valorii de temperatură necesar a fi reglată.



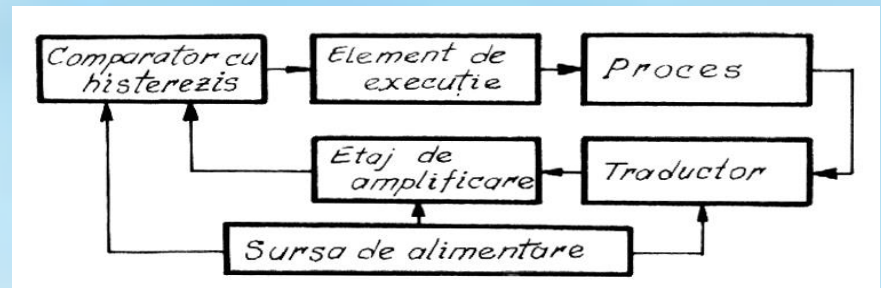
- schema de principiu



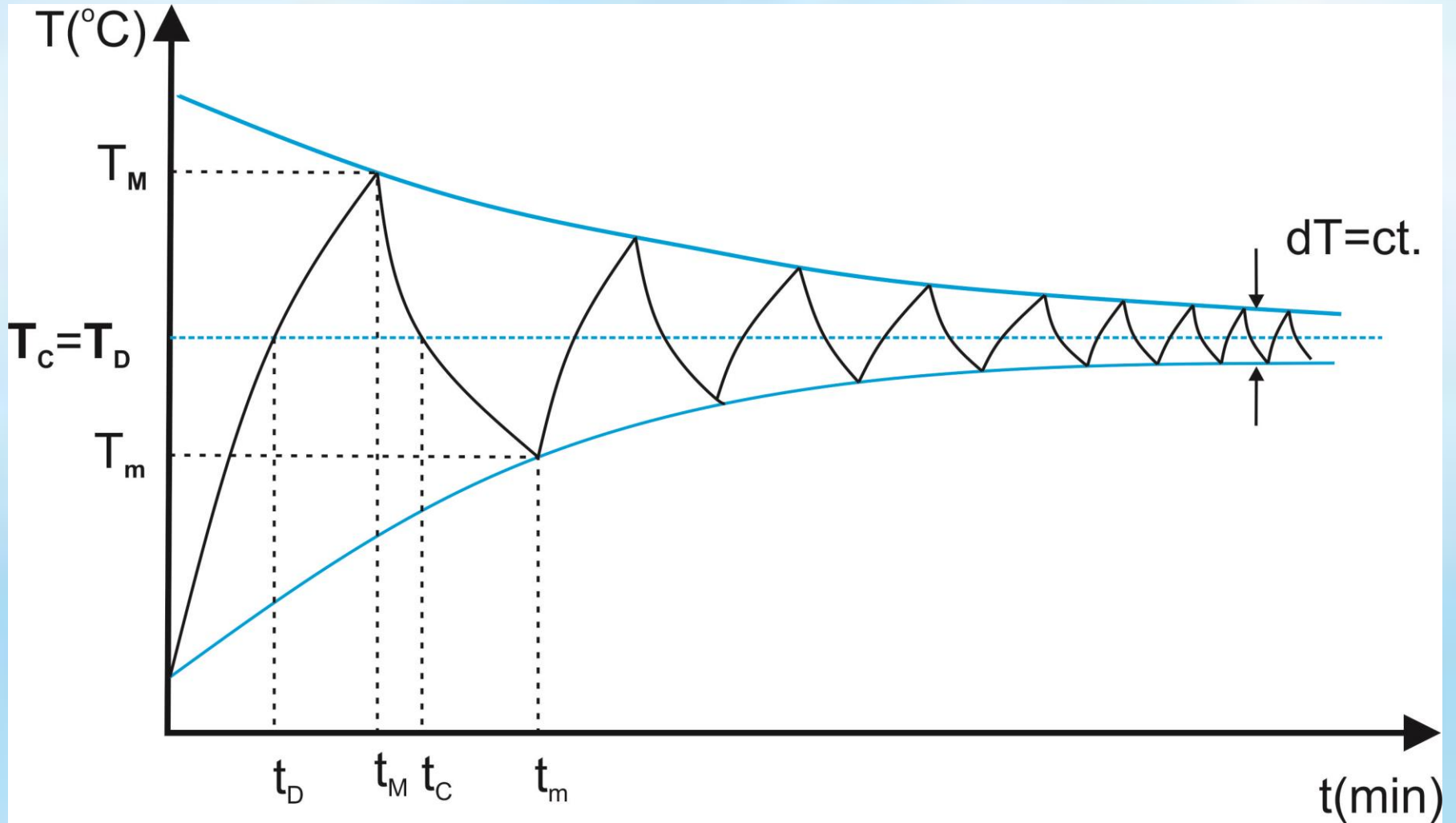
- caracteristicile tip releu ale termistorului

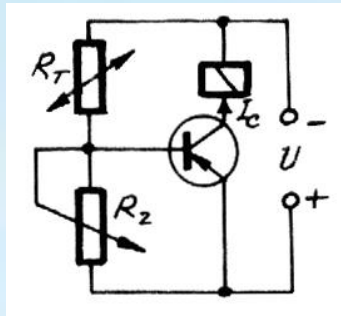


- „efectul de releu” - creștere sau scădere bruscă a curentului într-un circuit

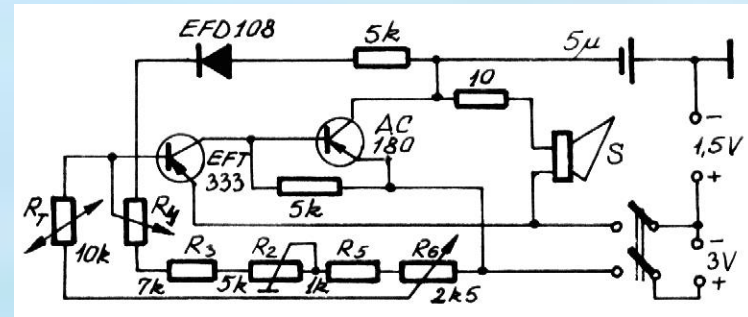


Caracteristică de termoreglare pentru o temperatura fixată

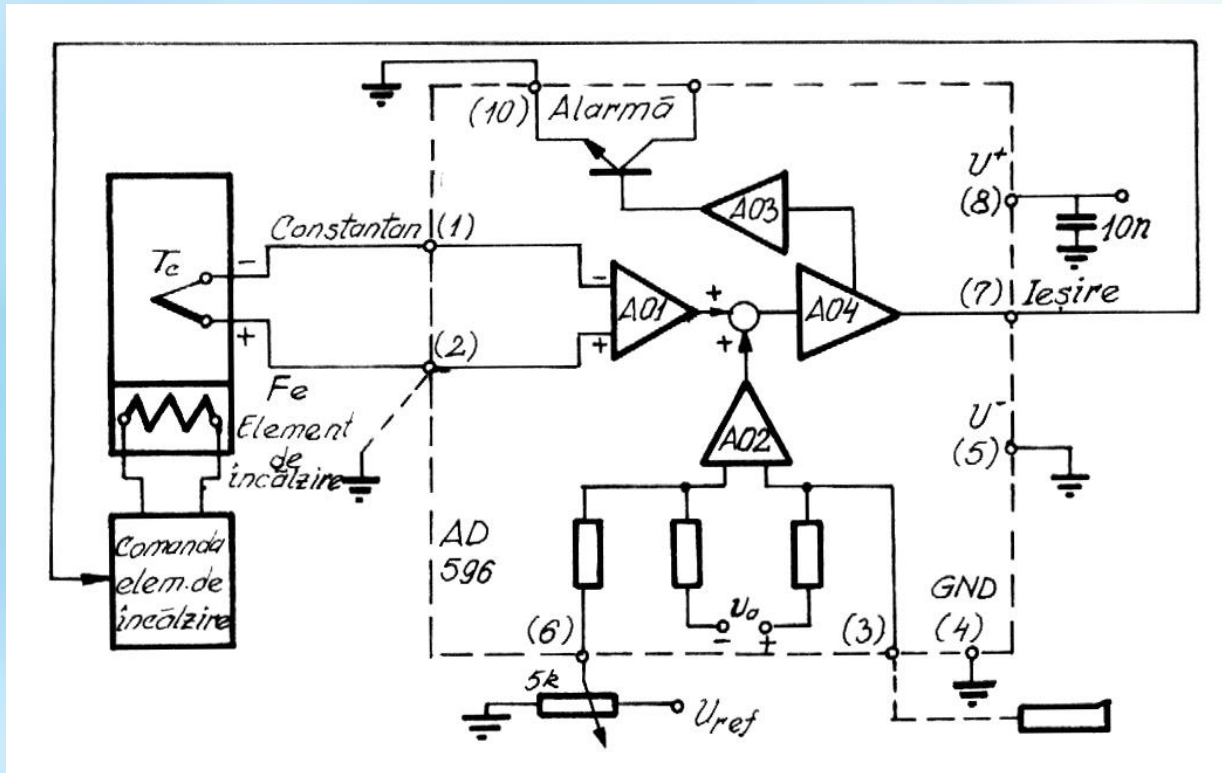




- termoregulator cu un termistor montat într-o punte de c.c



- termoregulator tranzistor



- termoregulator cu termocplu Fe -constantan al unui cuptor cu încălzire electrică

Cursul VIII

Măsurarea masei și forței

8.1 Principii de măsurare – generalități

8.2 Traductoare tensometrice

8.3 Traductoare inductive și capacitive

8.4 Traductoare piezoelectrice și piezorezistive

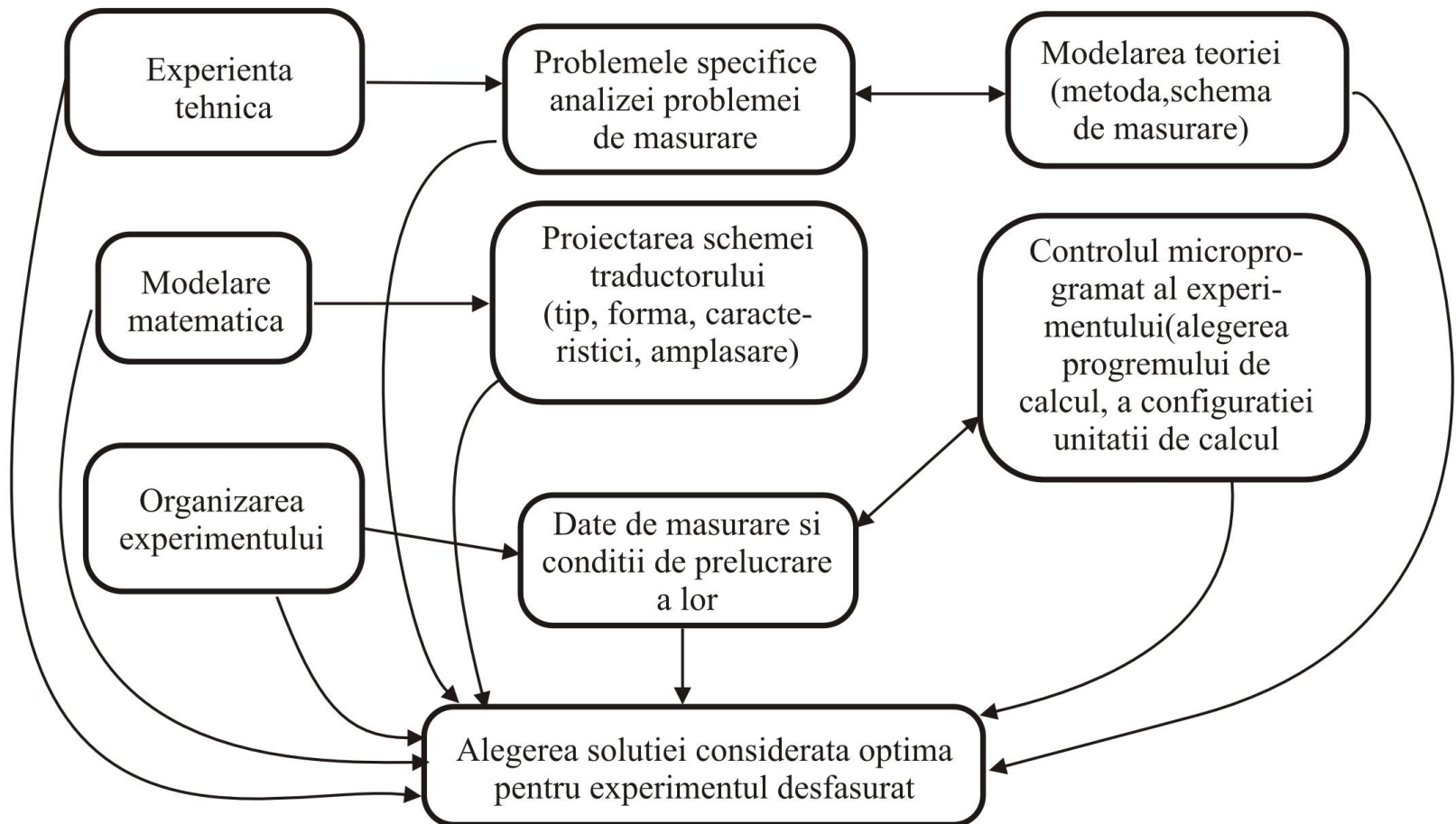
8.5 Traductoare magnetoelastice

8.6 Traductoare fotoelectrice și cu fibre optice

8.7 Traductoare fotoelastice

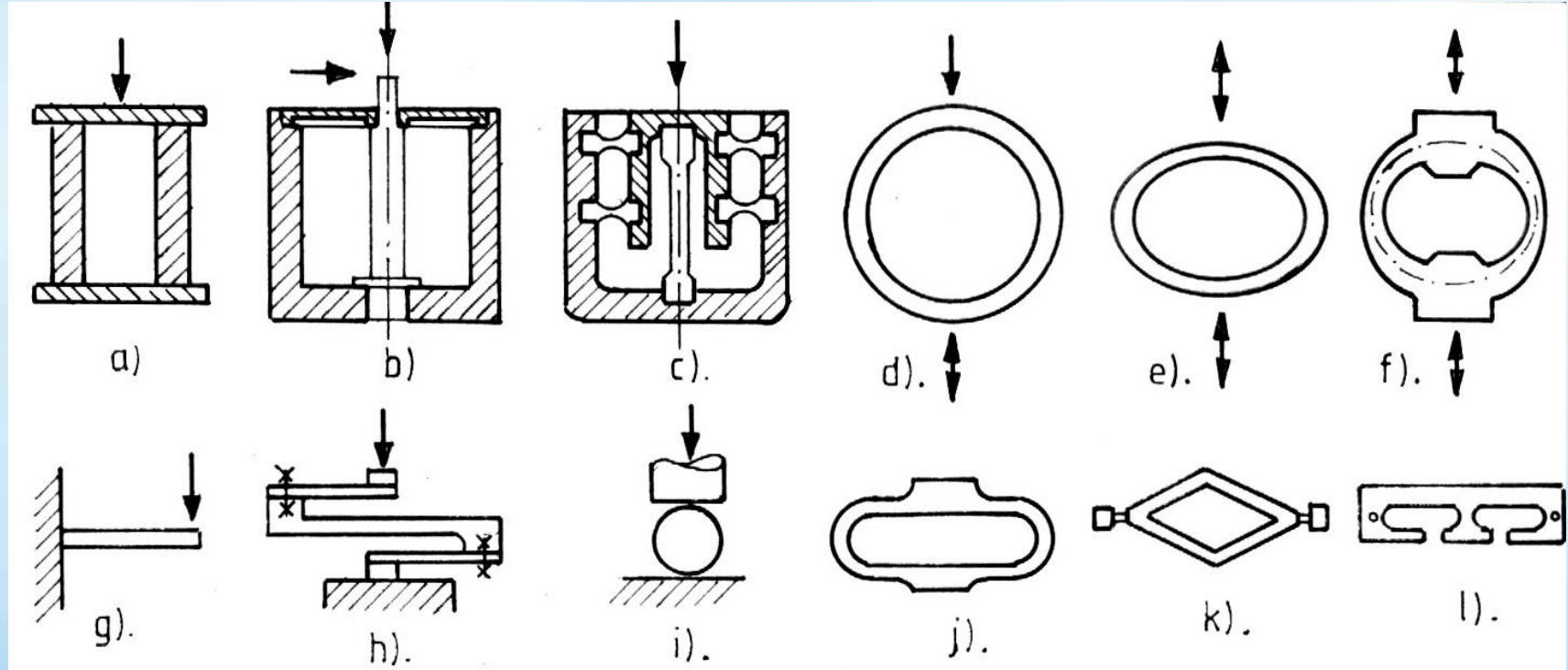
8.1 Principii de măsurare – generalități

- cu acțiune directă - bazate pe efecte fizice care fac ca un semnal electric să corespundă nemijlocit ca proporționalitate forței de acțiune;
- cu acțiune indirectă - la care forța ce se măsoară acționează asupra unui element elastic, a cărui deformație în fapt se măsoară;
- precizia de măsurare maximă este în domeniul 0,1...0,2 %, fiind puțin inferioară celei rezultate cu mijloace clasice 0,05...0,1 %.



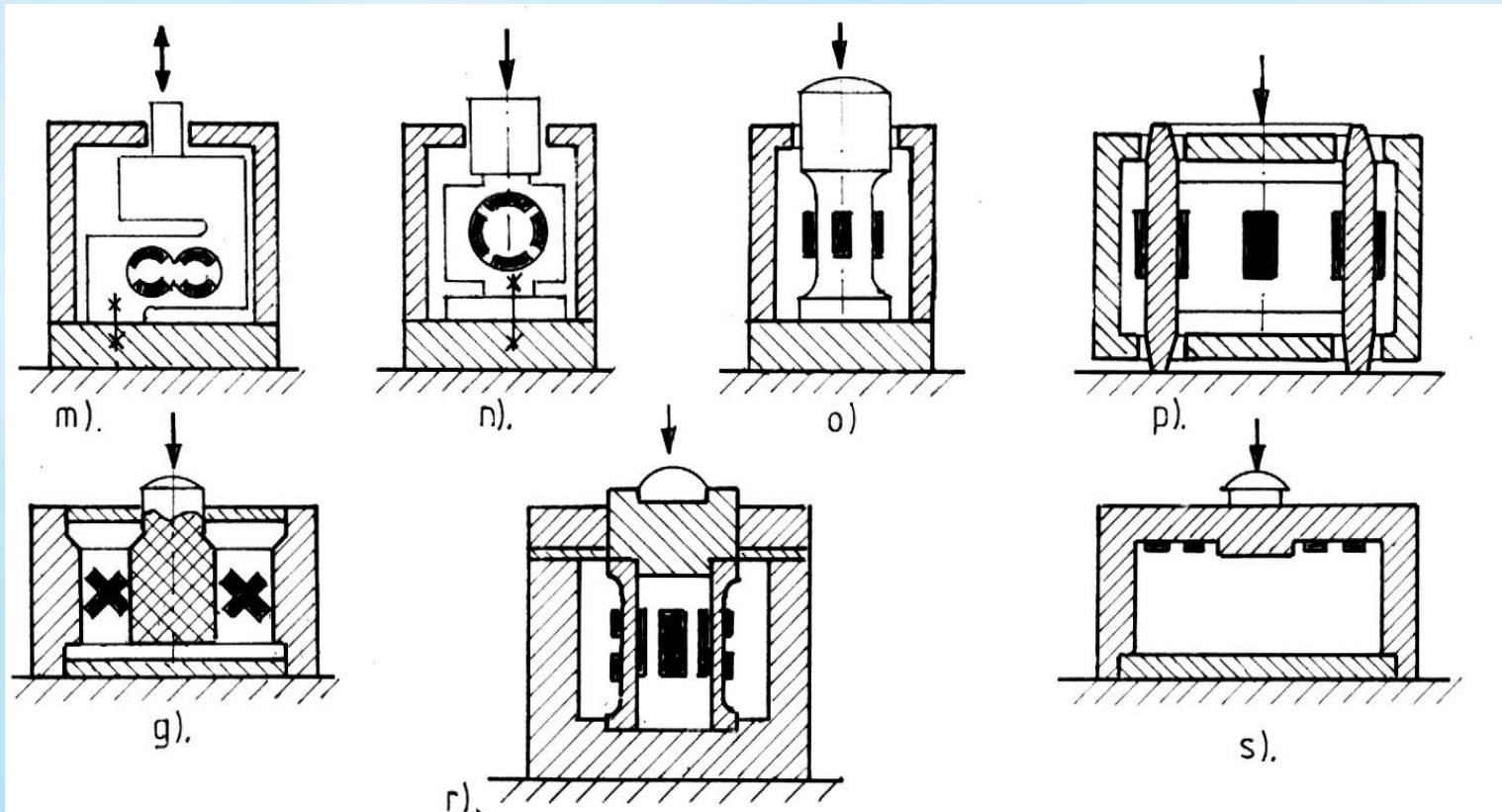
8.2 Traductoare tensometrice

- captorul de măsurare - confecționat din oțel de formă cilindrică, inelară sau paralelipipedică, constituind elementul elastic al traductorului, forma sa fiind în funcție de tipul, direcția și valoarea forței de acțiune.



În locul cilindrului cu secțiune plină se folosește de obicei un cilindru cu pereți subțiri (fig. 1.1, a) care este mai puțin sensibil la solicitarea de încovoiere. Construcția cu membrană (fig. 1.1, b) este insensibilă la componenta laterală a forței, iar cea cu două membrane (fig. 1.1, c) este insensibilă la momente de torsiune. Larg utilizat, atât pentru solicitări de tracțiune, cât și pentru compresii, este inelul dinamometric (fig. 1.1, d) cu atât mai sensibil cu cât construcția sa se apropie de elipsă (fig. 1.1, e) sau are grosime variabilă a peretelui (fig. 1.1, f). Față de lamela simplă încastrată (fig. 1.1, g) elementul în S (fig. 1.1, h) are avantajul că punctul de aplicare al forței nu suferă o deplasare laterală. La măsurarea forțelor mari se folosește uneori ca element elastic o bilă (fig. 1.1, i) sau construcțiile dinamometrice din fig. 1.1, j, k, l.

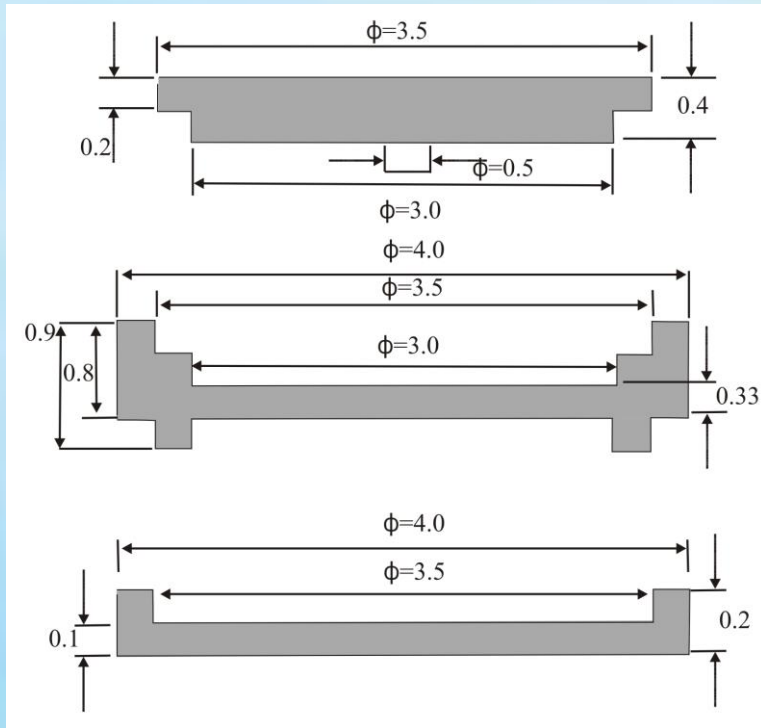
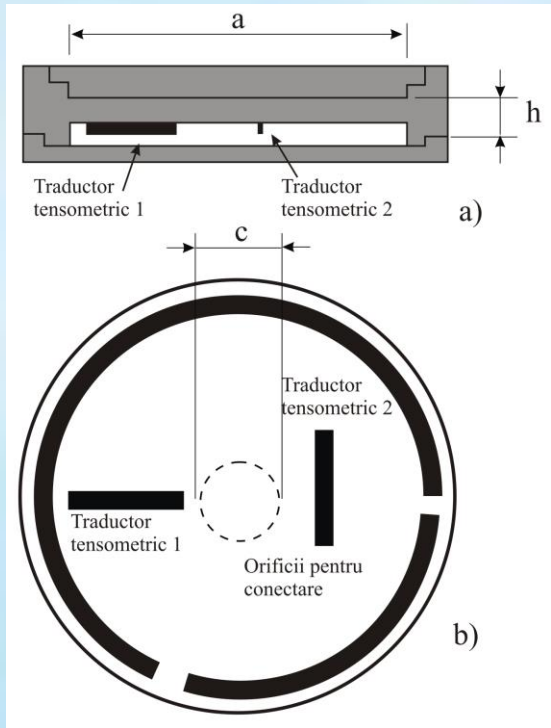
- moduri de amplasare a traductoarelor tensometrice rezistive, TER, pe corpurile elastice)



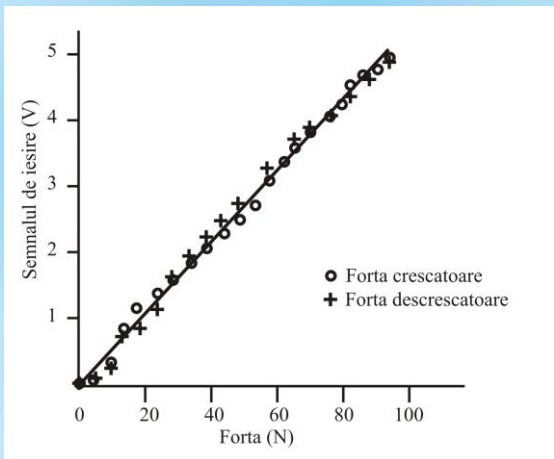
La realizarea captorilor trebuie avute în vedere următoarele probleme importante:

- amplasarea corespunzătoare a TER pe elementul elastic (corect ales ca formă și dimensiuni) astfel încât să se preia numai componentele de interes al forței de acțiune și să se compenseze eventualele influențe exterioare asupra TER (temperatură, umiditate);
- alegerea materialului elastic corespunzător pentru realizarea elementului elastic și respectarea unei tehnologii riguroase de execuție (materiale - oțeluri speciale cu caracteristici elastice superioare; recoaceri și alte tratamente termice sau tehnologice necesare pentru eliminarea tensiunilor interne; îmbătrâniri artificiale pentru stagnarea în timp a valorilor caracteristicilor mecanice);
- asigurarea unei astfel de construcții a captorului încât să se asigure o repartiție uniformă a forței de acțiune la nivelul elementului elastic.

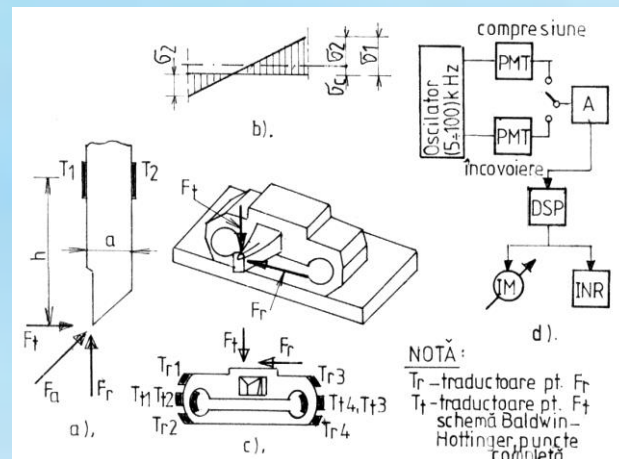
- moduri de amplasare a traductoarelor tensometrice cu semiconductori - TES



- o membrană elastică asupra căreia acționează de fapt forța de compresie



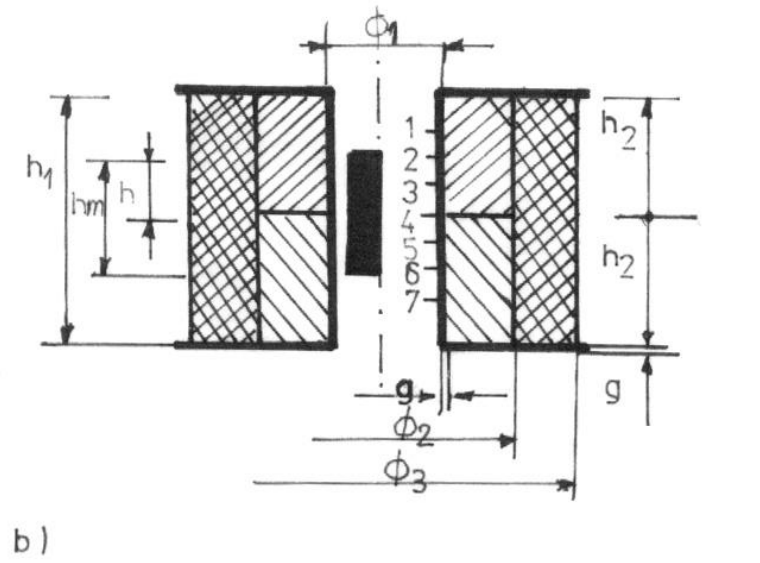
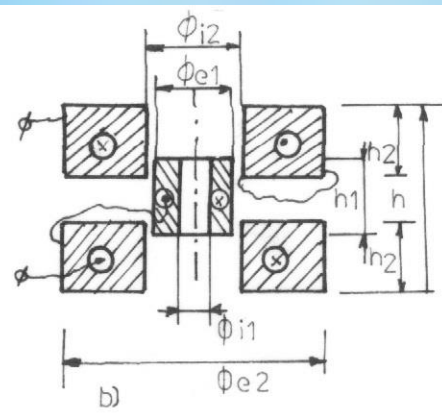
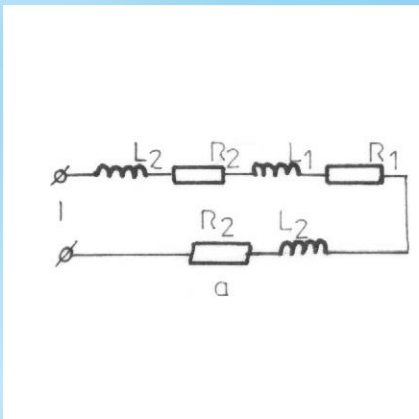
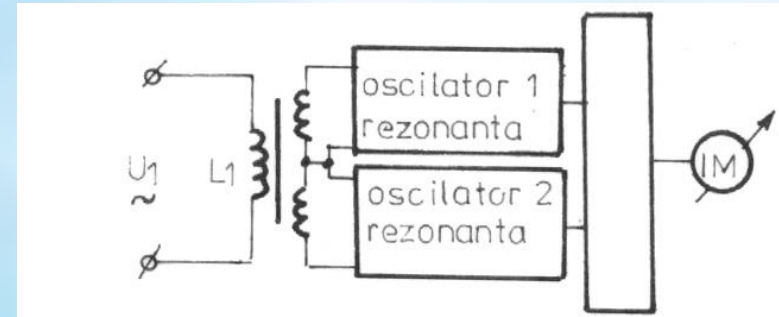
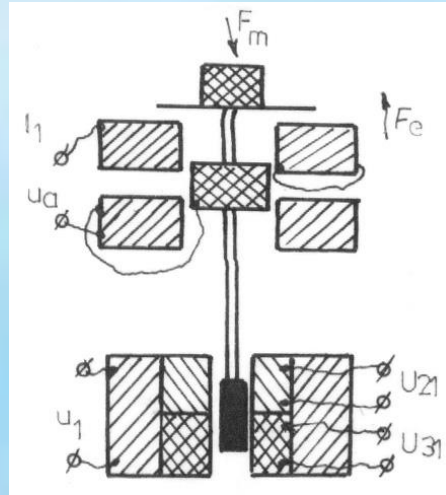
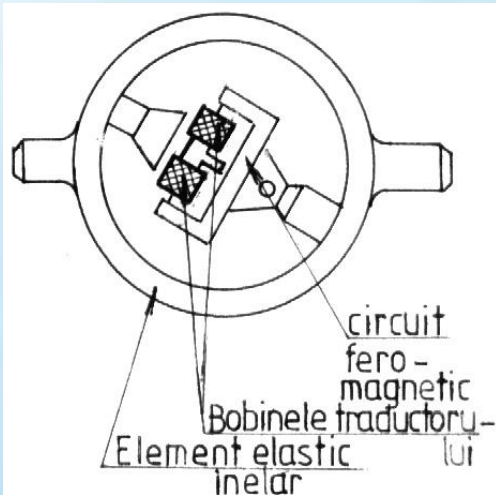
- o bună repetabilitate și un histerezis mic



- determinarea forțelor de așchiere la mașini unelte

8.3 Traductoare inductive și capacitive

Principiul de funcționare al traductoarelor inductive se bazează pe modificarea inductivității unei bobine sau reluctanței unui circuit magnetic, provocată de modificarea poziției unei piese feromagnetice aflată în câmp, determinată de deplasarea elementului elastic sau sensibil sub acțiunea forței de măsurat. În cazul traductoarelor capacitive, mai rar utilizate, forța acționează asupra unei membrane modificând distanța dintre armăturile condensatorului etalon. În ambele cazuri trebuie luate precauții pentru compensarea erorii de temperatură și a influențelor câmpurilor exterioare (H , E); în plus la traductoarele capacitive trebuie luate măsuri de compensare a erorilor datorate modificărilor de mediu (umiditate, impurități, etc.).

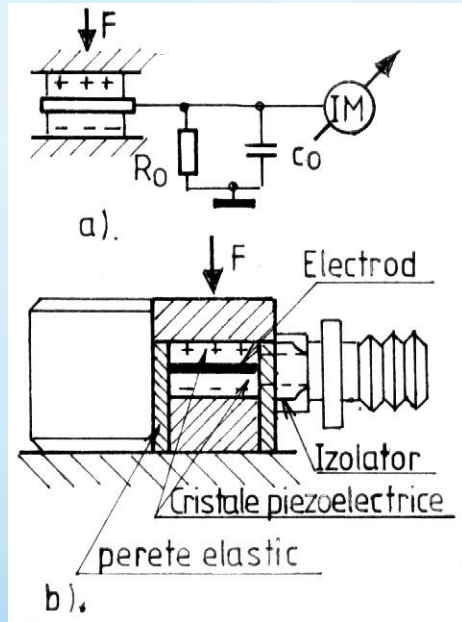


8.4 Traductoare piezoelectrice și piezorezistive

- se bazează pe efectul piezoelectric al cristalelor de cuarț sau de titanat de bariu;
- variația în timp a tensiunii care apare în urma aplicării forței:

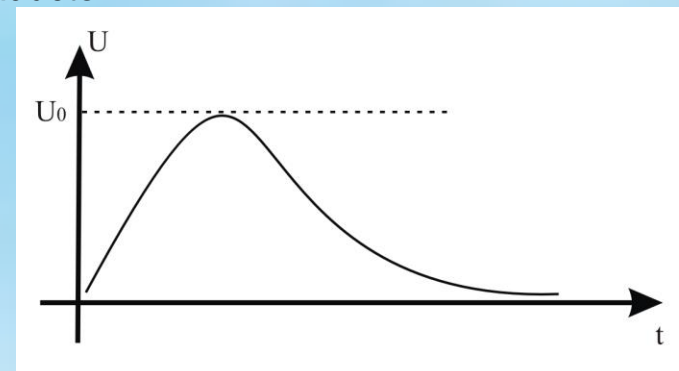
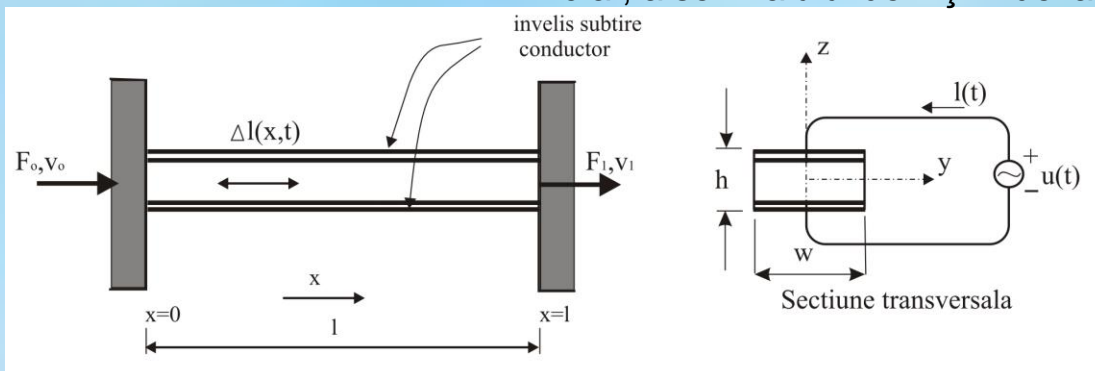
$$U = U_0 \left(1 - \frac{\delta}{R_0 C_0} \right)$$

- unde U_0 este tensiunea apărută în momentul aplicării forței, iar δ este timpul scurs între momentul aplicării forței și citirea rezultatului.



Dificultăților ce apar la măsurarea forței cu asemenea traductor:

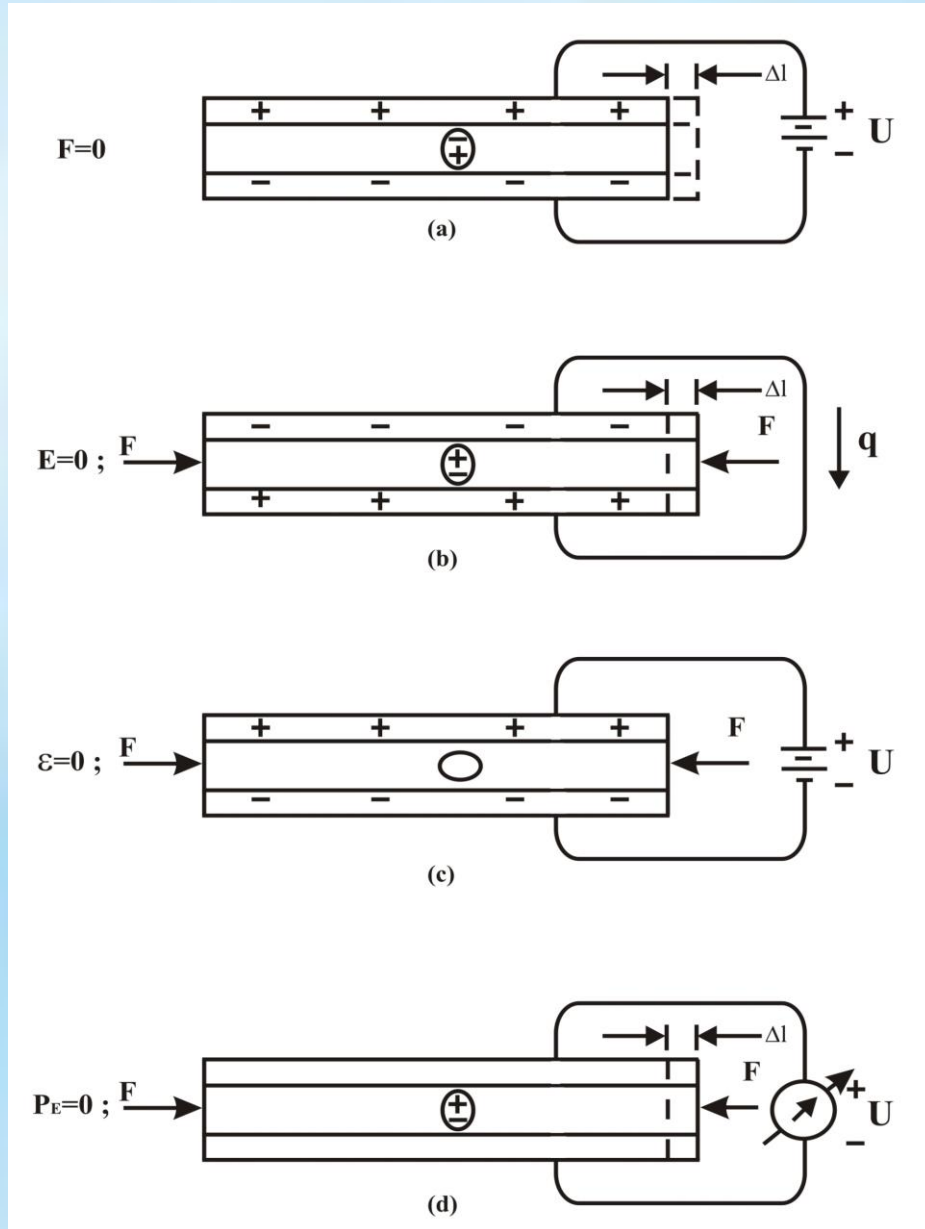
- sarcinile de măsurat sunt foarte mici (picocoulombi);
- câmpurile electrice externe influențează puternic măsurarea, fiind necesare ecranări ale traductorului și schemei de măsurare;
- sunt necesare circuite de amplificare cu impedanțe de intrare foarte mari (peste 100 MΩ, obligatoriu cu intrare pe TEC), întrucât impedanța de ieșire a traductorului este mare (ordinul kΩ - zeci de kΩ); aparatele cu traductoare piezoelectrice au o răspândire mai mică în acest domeniu al măsurărilor. Totuși ele se realizează pentru măsurări de sarcini dinamice, cu prelucrare în c.a., a semnalului de ieșire de la traductor.



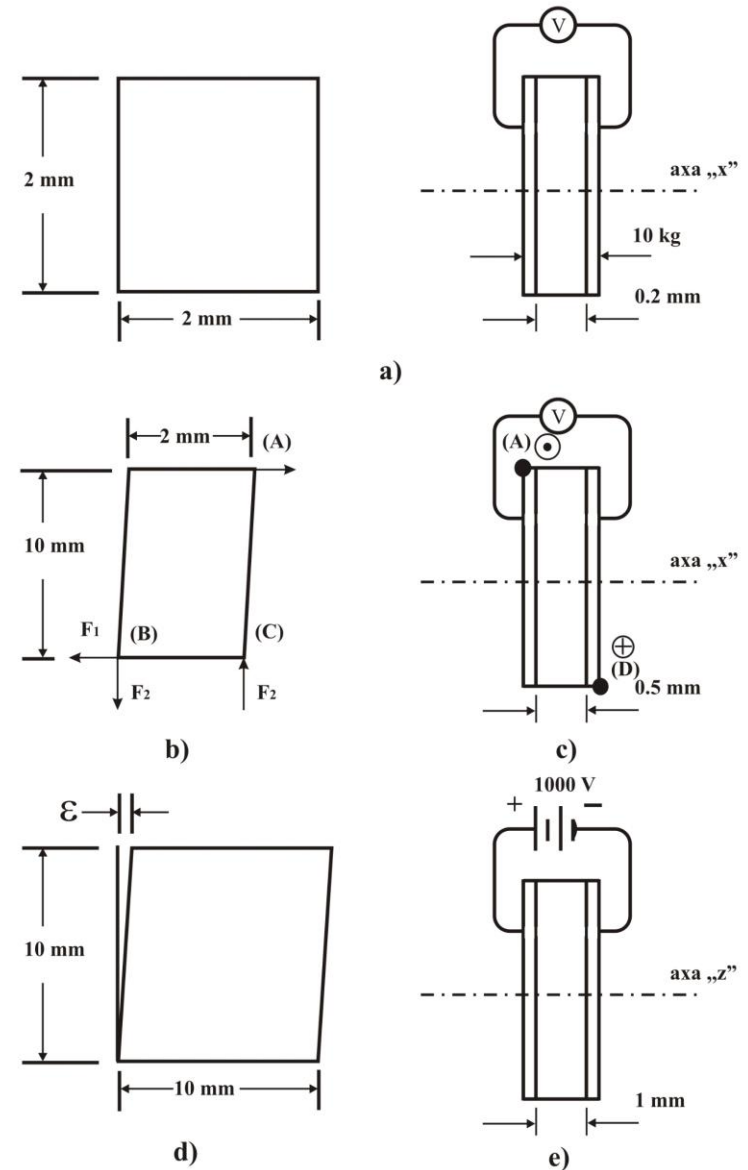
- traductor piezoelectric sub formă de placă sau bară tridimensională

- solicitare cvasistatică

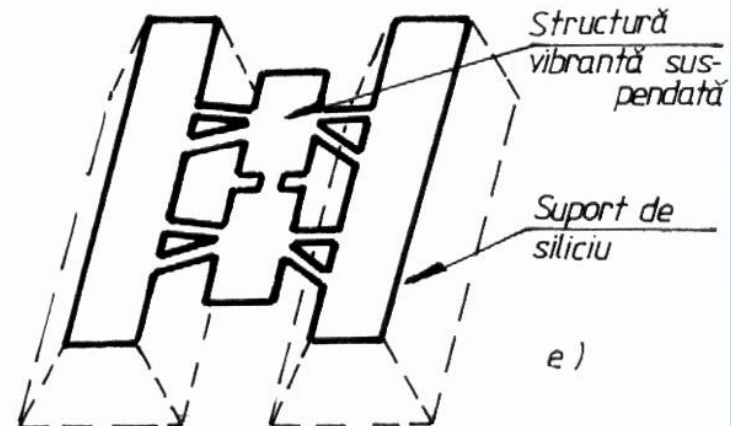
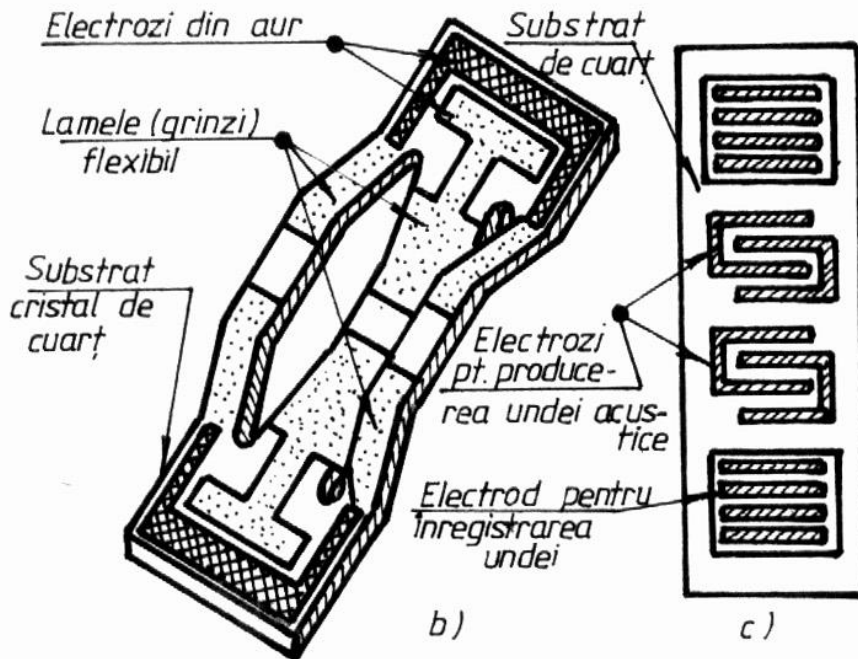
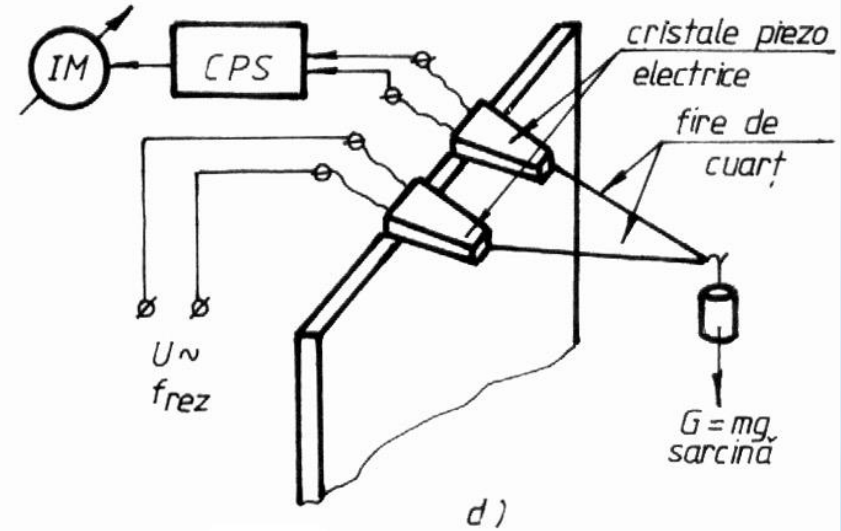
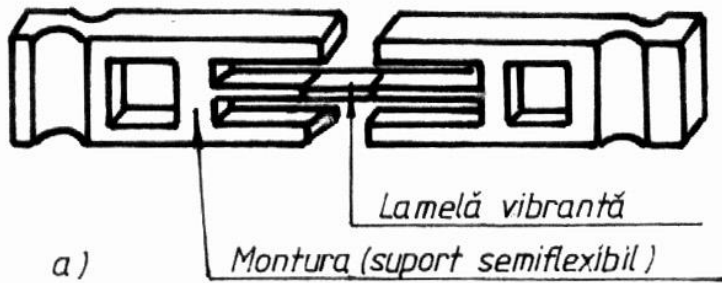
- situații de solicitare a traductorului, corespunzător cărora apar sarcinile electrice dependente de valoarea solicitării mecanice:



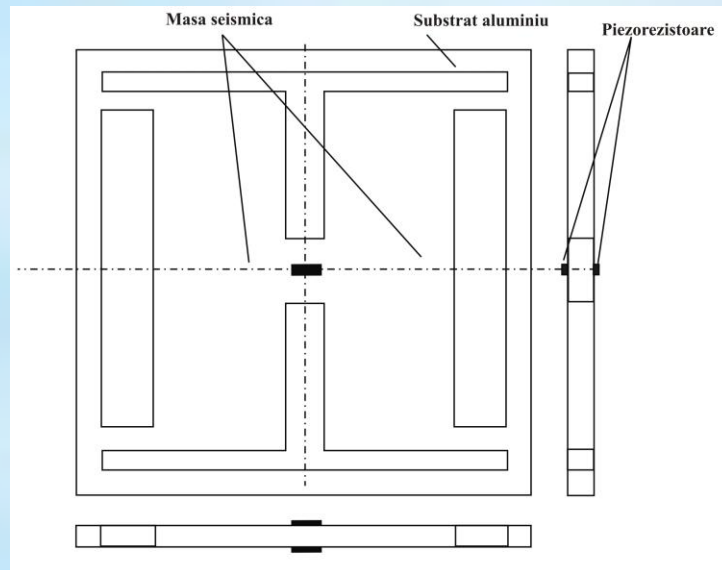
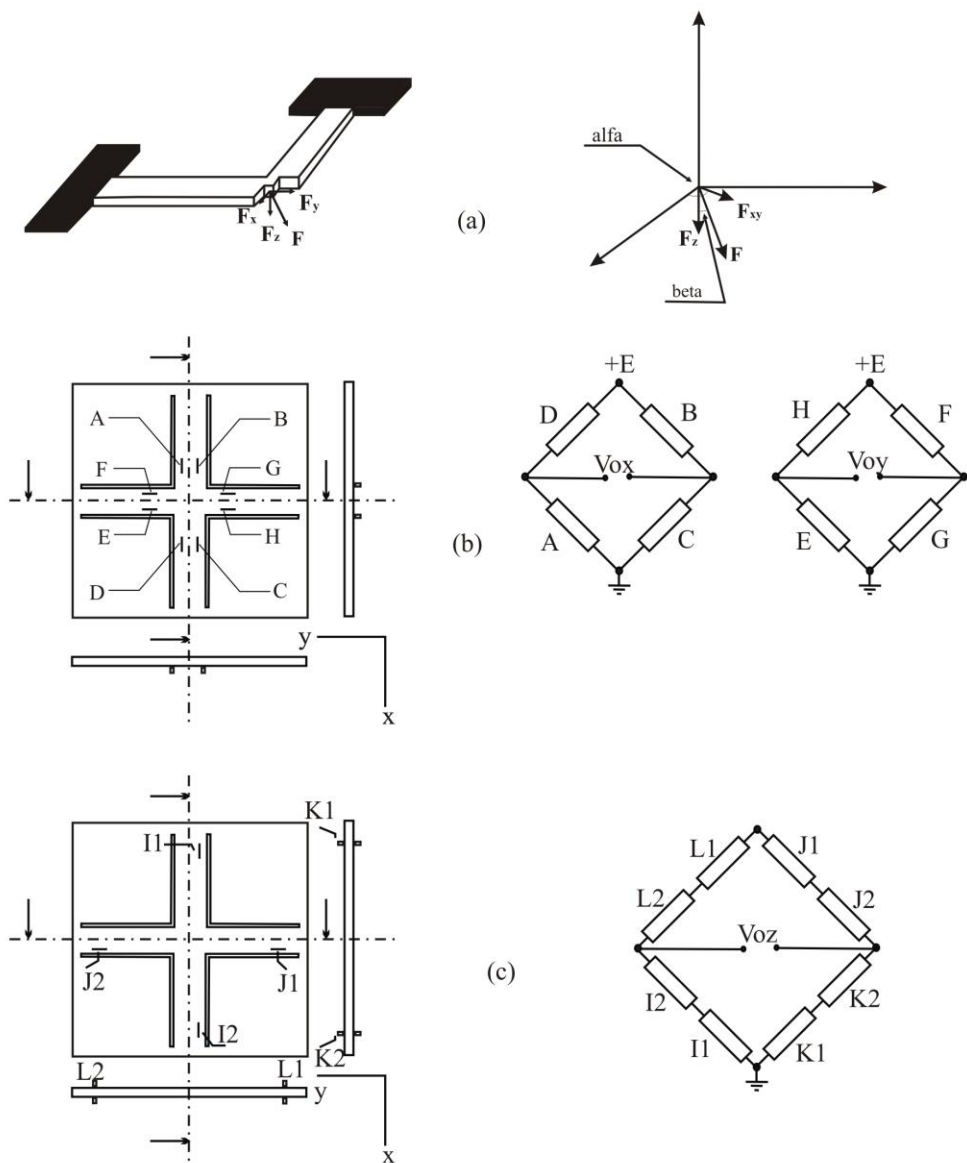
- plăcuțe din sare Rochelle (tartrat dublu de sodiu și potasiu)



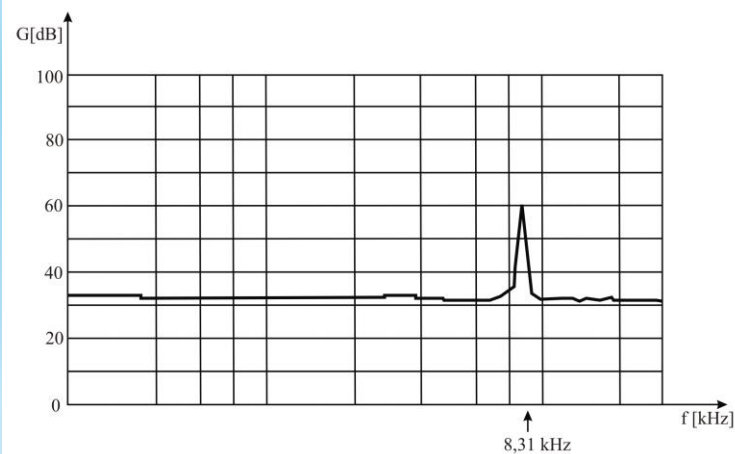
- rezonatorul cu cuarț - traductoare de conversie forță-frecvență;
- frecvența de rezonanță depinde de eforturile mecanice create în elementele componente, de către forțe exterioare sau presiuni;
- suporturile semiflexibile de la capete permit ca frecvența de rezonanță să nu fie afectată de structura montajului.



- traductoare peliculare rezistive pentru forțe și vibrații;
- substrat de oxidul de aluminiu Al_2O_3 , 96 %;
- desenul traductorului realizat foarte exact prin tehnică laser.

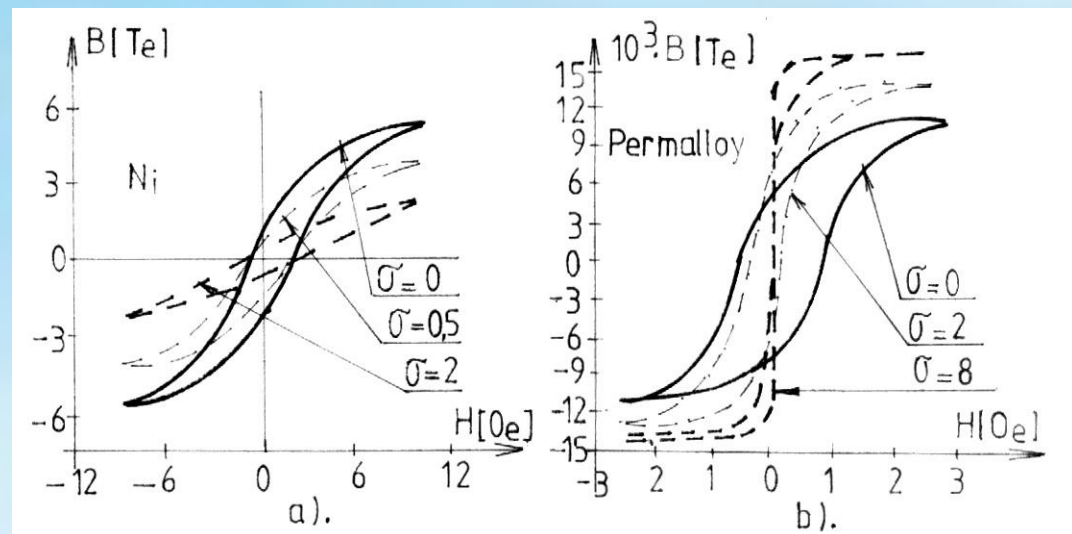
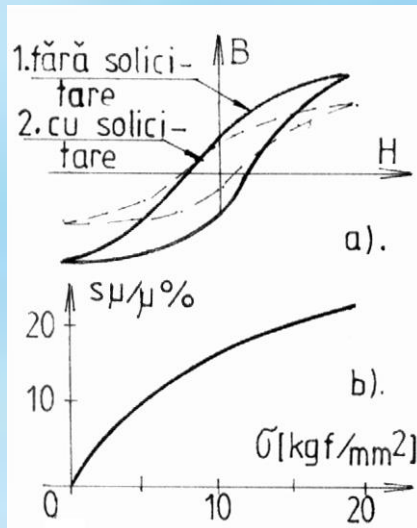


- accelerometru piezorezistiv

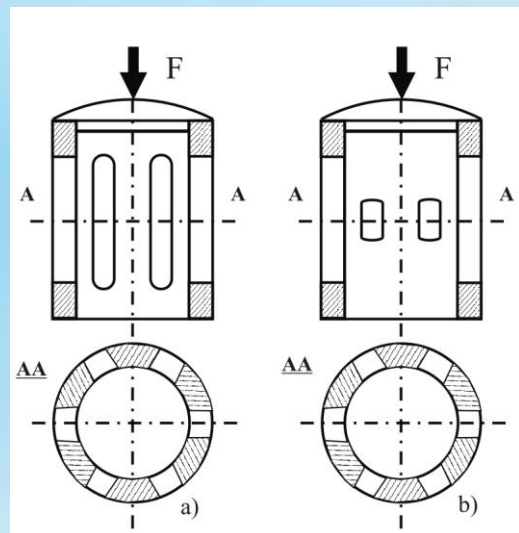
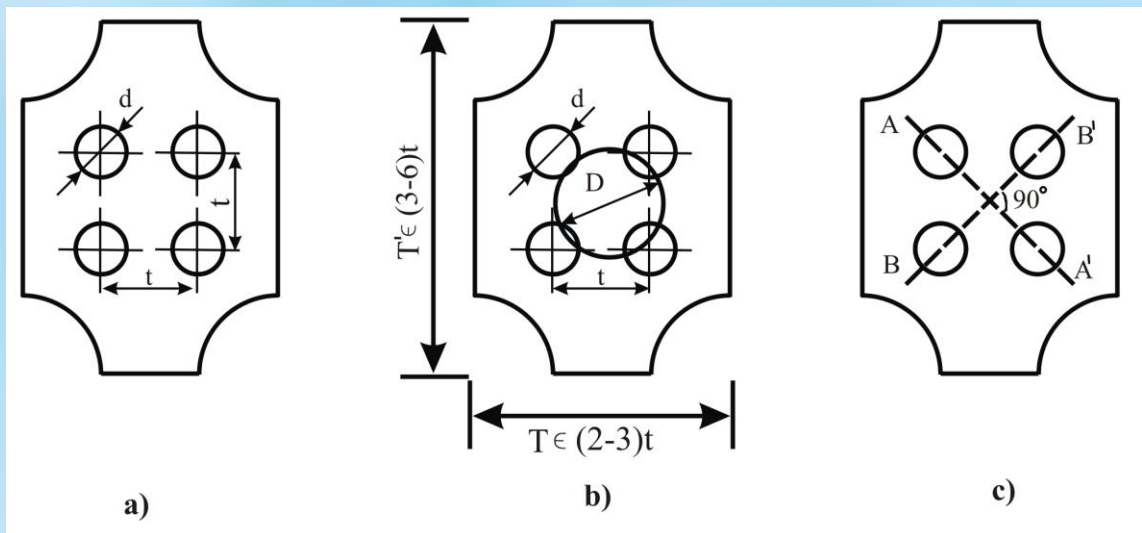
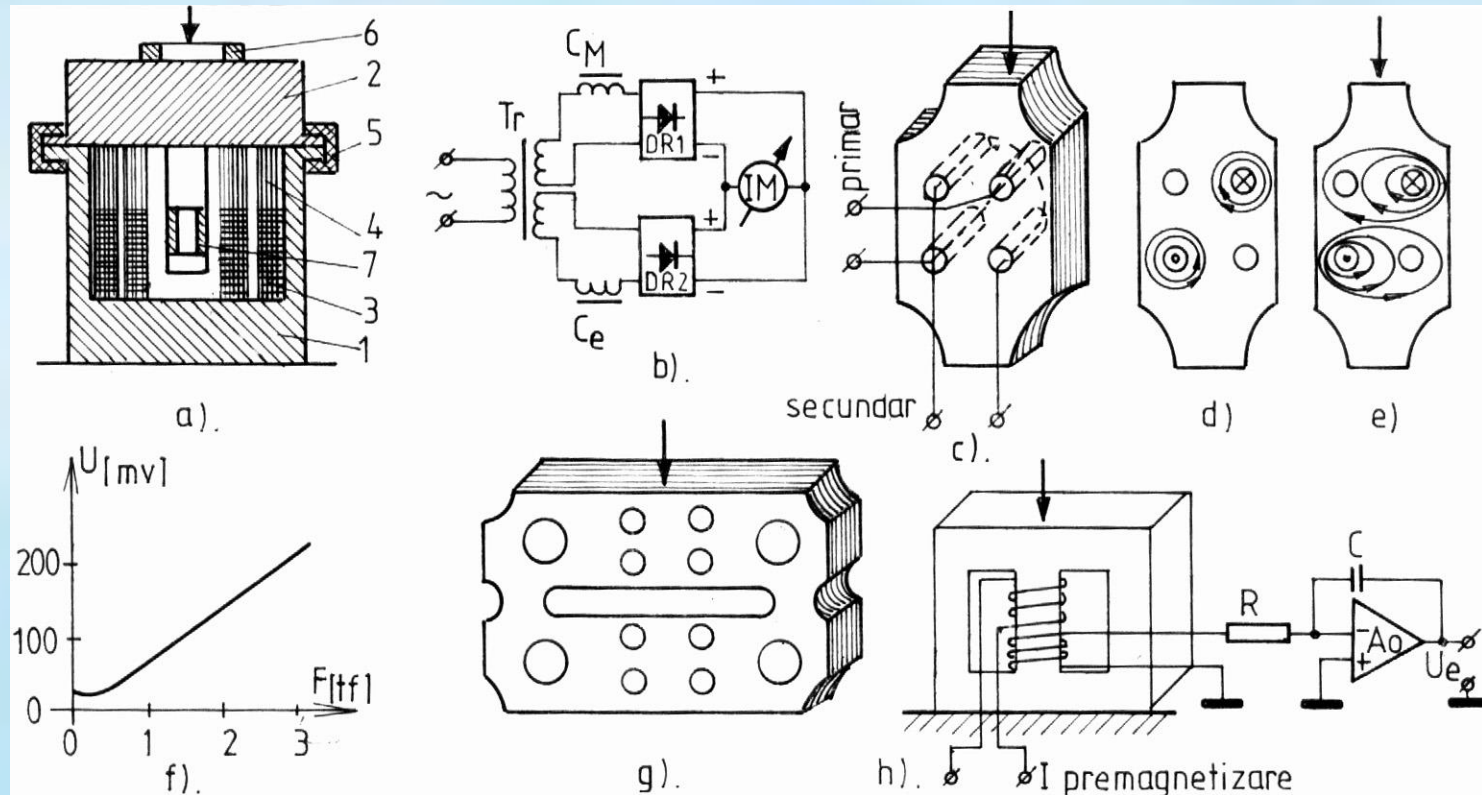


8.5 Traductoare magnetoelastice

- efect de magnetoelasticitate reprezintă influența tensiunilor elastice asupra magnetizării feromagnetice, curba de magnetizare modificându-se, rezultând o schimbare a permeabilității sale magnetice;
- aliaje de tip permalloy (FeNi cu 50...80 % Ni);
- aliaje de tip FeSi cu 1,5...3 % Si;
- aliaje magnetice speciale - FeAl cu 12 % Al, FeCo cu 65 % CO și aliajele de tipul FeCrAl. Si, Cr și Al măresc rezistivitatea;
- aliaje magnetoelastice amorse – (Fe B Si C), (Fe B Si), (Fe Co B Si);
- materiale ferimagnetice (se utilizează, în special, în construcția traductoarelor de forță și a traductoarelor de presiune) - ferite de tip toroidal, tratate termomagnetic cu următoarele compoziții: NiZn, MnZn, MgMn, NiLi etc.



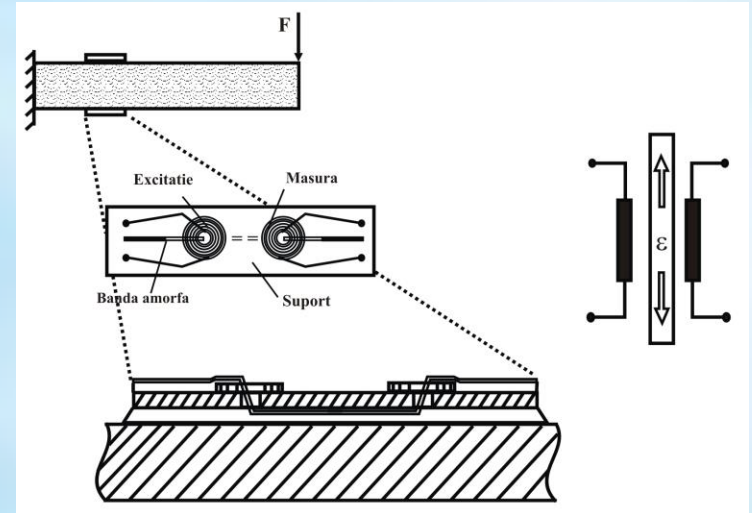
Captori dinamometrici magnetoelastici



Mărci tensometrice magnetoelastice

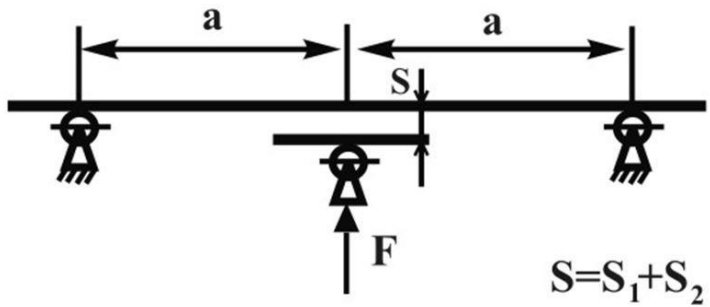
- sensibilitate cam cu trei ordine de mărime mai mare ca a traductoarelor tensometrice; se pot măsura deci forțe foarte mici (până la 10^{-5} N) corespunzând unor deformări de ordinul 10^{-8} $\mu\text{m}/\text{m}$, permițând determinarea unor solicitări și deformații în piese rigide utilizate în industria constructoare de mașini.

Dimensiuni	Dispunere zona de masura	Observatii
		O directie de masura
		Montaj diferential Doua directii de masura
		Montaj diferential Doua directii de masura
		Montaj diferential O directie de masura

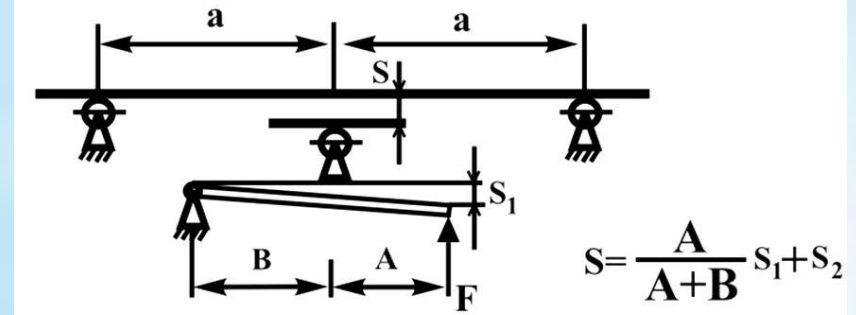


- coeficient de temperatură foarte mic, de ordinul a 0,02 %/K;
- consum energetic extrem de redus, chiar comparativ cu cel caracterizant pentru tensometria rezistivă;
- capacitate mare la suprasarcină (până la valori de 10...20 de ori a forței de măsurare prin alegerea convenabilă a materialului din care se confecționează banda elastică.

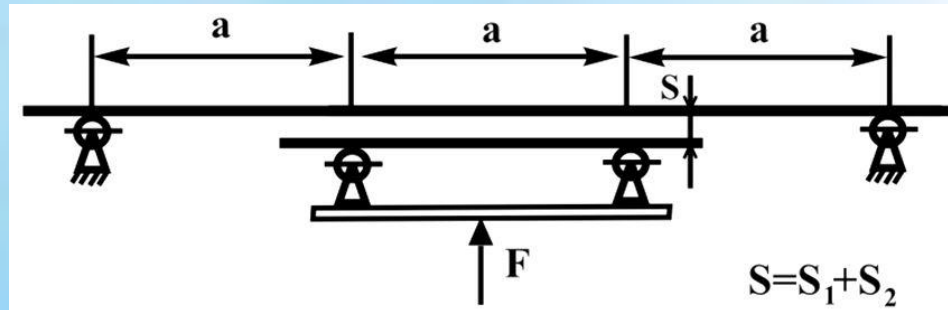
- domeniul uzual de lucru al acestui tip de traductoare de forță este în ordinea $\pm 20 \dots \pm 500$ mN;
- prin diferite variante constructive se pot măsura forțe până la 0,1...1 kN.



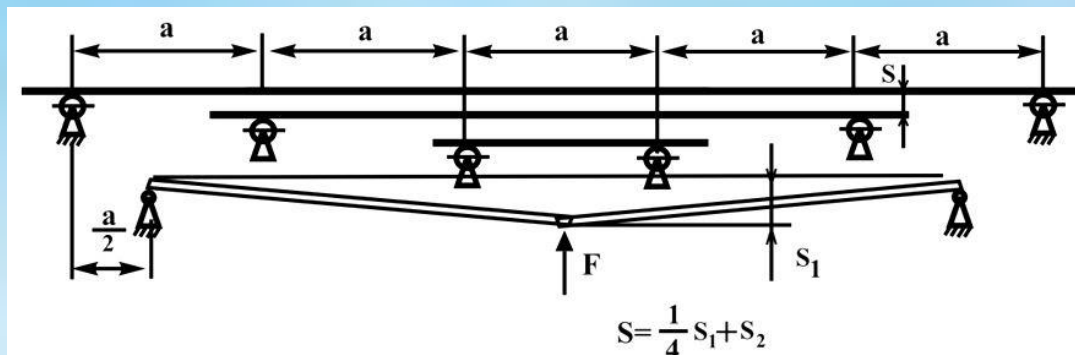
- cântar cu o rolă de măsurare cu transmitere directă a sarcinii la traductorul de forță



- cântar cu o rolă de măsurare, cu transmitere prin pârghie a sarcinii la traductorul de forță

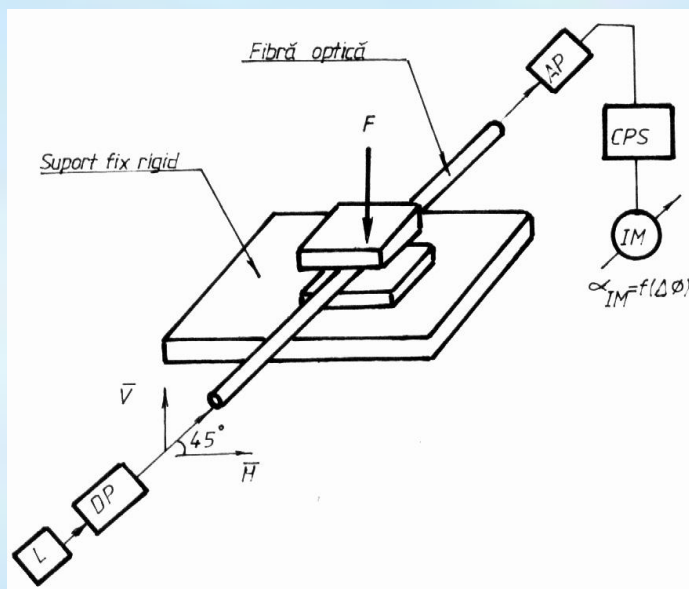


- cântar cu două role de măsurare

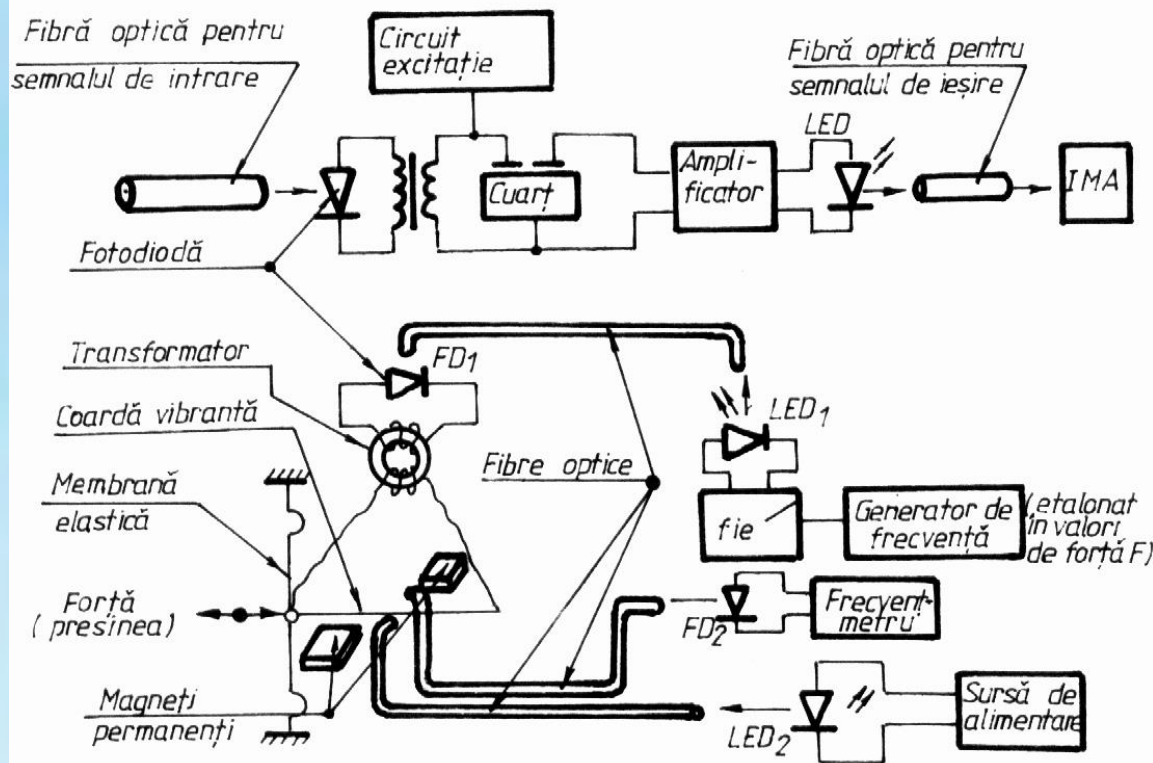
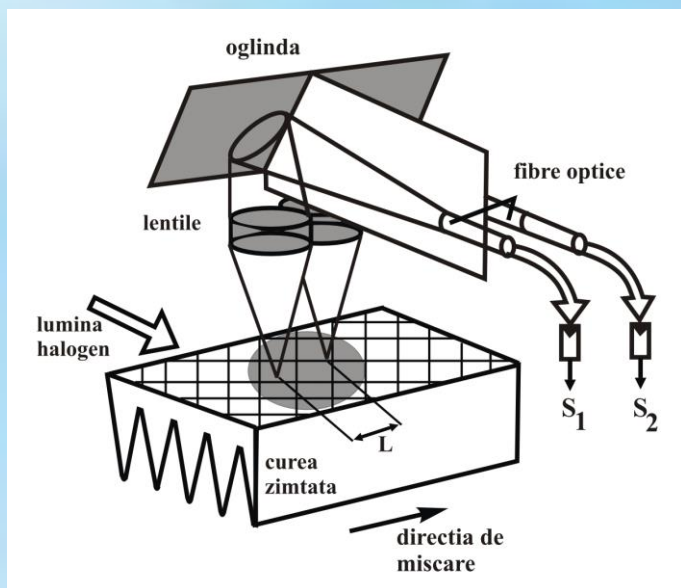
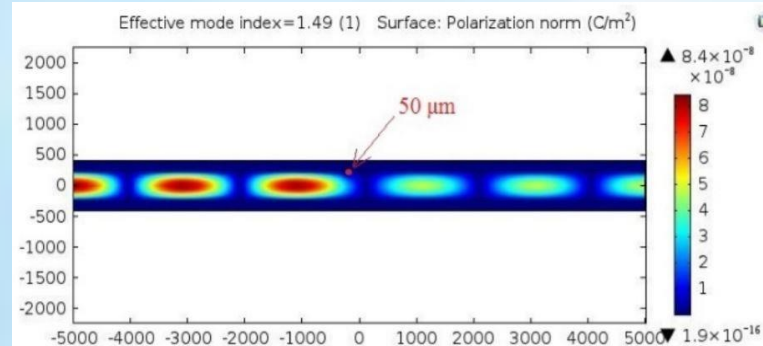


- cântar cu patru role de măsurare

8.6 Traductoare fotoelectrice și cu fibre optice

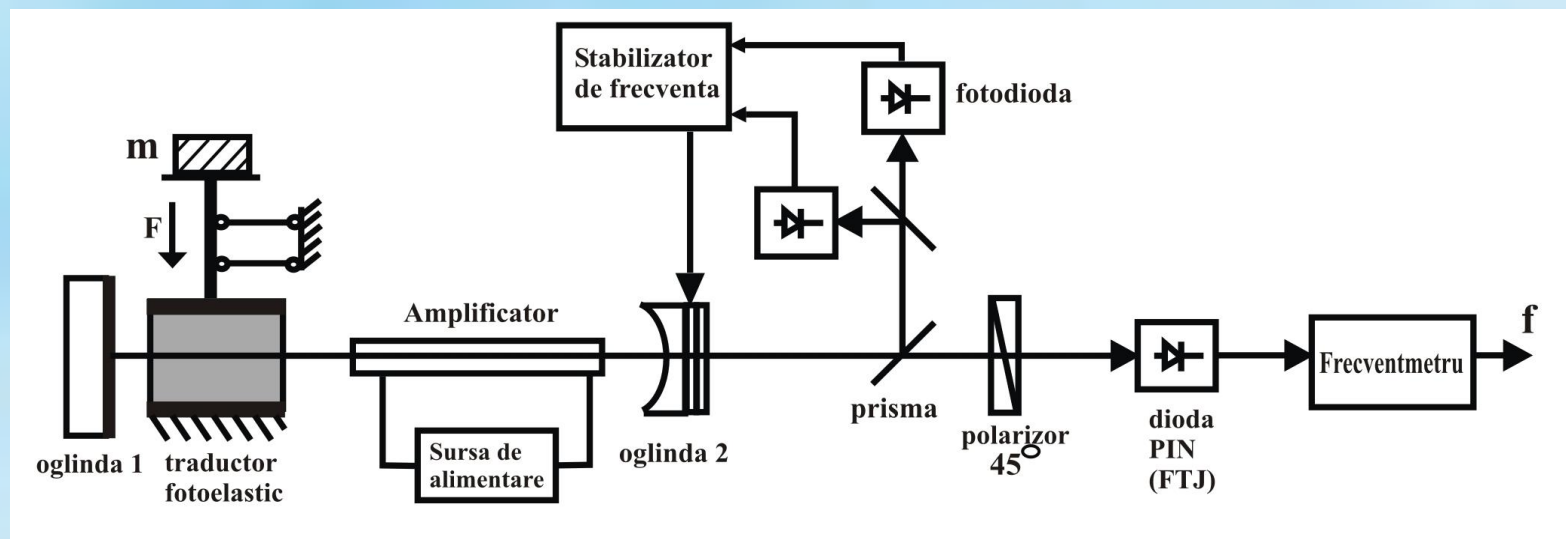
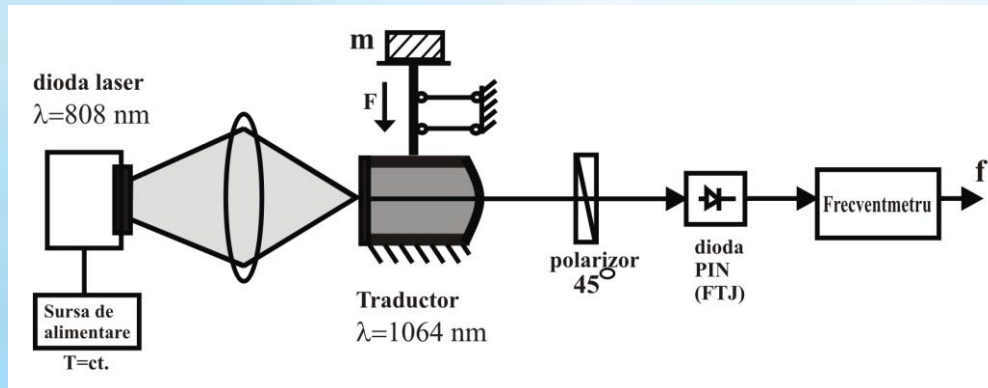
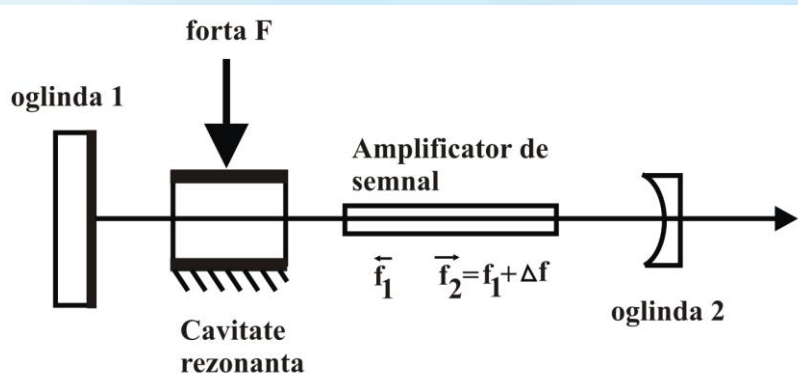


- laser (L), dispozitivul de polarizare (DP), analizor polarografic (AP), circuit de prelucrare al semnalului (CPS), instrument de măsură (IM).



8.7 Traductoare fotoelastice

Aplicând la nivelul unui material cu caracteristici fotoelastice utilizat în calitate de cristal rezonant a unui laser, o anumită forță F (sau presiune, masă, accelerație), se obține o derivă a frecvenței furnizate de acesta proporțională cu mărimea forței. Liniaritatea și repetabilitatea caracteristicii de măsurare va permite realizarea unor determinări de mare precizie (până la 10^{-4} %) cu derivate de frecvență de ordinul a 10 kHz/N.



Cursul IX

Măsurarea vitezei unghiulare și a cuplului de torsiune

9.1 Principii de măsurare – generalități

9.2 Măsurarea vitezei unghiulare

9.3 Măsurarea cuplului de torsiune

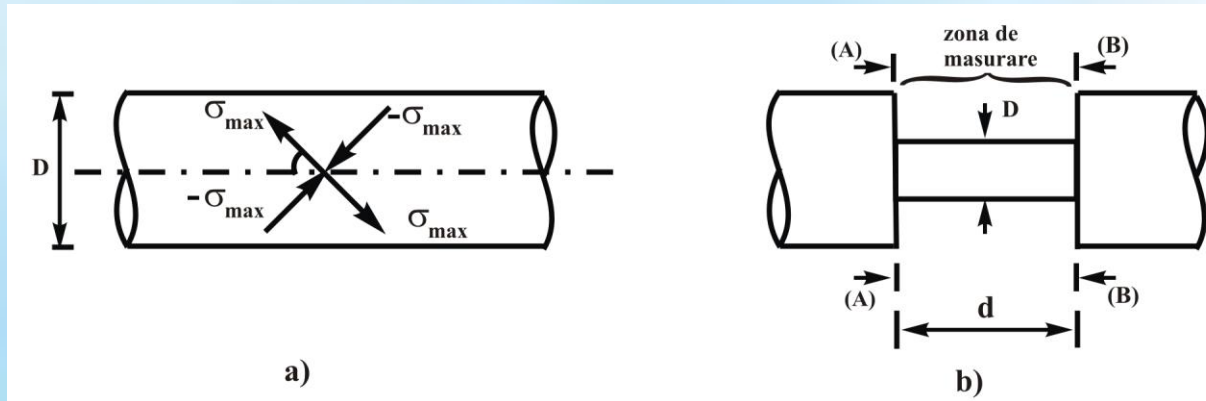
9.4 Semnale tipice și modalități de prelucrare a semnalului

9.1 Principii de măsurare – generalități

Traductoarele de cuplu, cunoscând faptul că puterea mecanică la arbore este dată de relația:

$$P = M \cdot \Omega$$

- în care, Ω , reprezintă viteza unghiulară a piesei în mișcare de rotație, se bazează pe deformația elastică a unui element căruia i se aplică cuplul de măsurat, M .

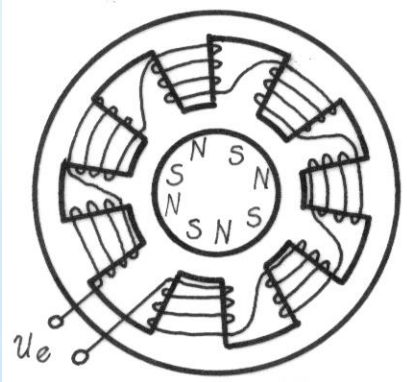


Traductoare pentru măsurarea numai a vitezelor unghiulare (Ω)	Traductoare pentru măsurarea atât a Ω cât și a M	Traductoare pentru măsurarea numai a cuplului de torsiune (M)
<ul style="list-style-type: none">- electrodinamice- cu curenți turbionari- strobotahometre- interferometrice și cu fibre optice- cu contacte	<ul style="list-style-type: none">- de impulsuri- capacitive- fotoelastice- cu reluctanță magnetică variabilă- magnetorezistive- inductive- Hall analogice sau numerice	<ul style="list-style-type: none">- tensometrice- magnetoelastice

9.2 Măsurarea vitezei unghiulare

1. Tahometre electrodinamice

- cunoscute sub denumirea de tahogeneratoare, sunt generatoare rotative de mică putere și construcție specială, ele furnizând la ieșire o tensiune electrică a cărei valoare este proporțională cu turația;
- se bazează pe fenomenul inducerii unei t.e.m. într-un conductor care se deplasează într-un câmp magnetic.
- turația maximă măsurabilă este de 4 000...6 000 rot/min.

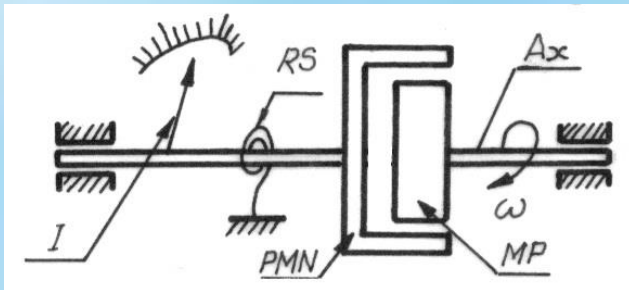


$$e(t) = \frac{2\pi n}{60} w \cdot k_w \cdot \phi_{\max} \sin \frac{(2\pi n t)}{60}$$

$$E = \frac{\pi\sqrt{2}}{60} w \cdot k_w \cdot \phi \cdot n = k_n \cdot n$$

- unde: e - tensiunea electromotoare indusa, w - numărul de spire, k_w - o constantă depinzând de tipul înfășurării, n - turația, ϕ amplitudinea fluxului magnetic.

2. Tahometre cu curenți turbionari



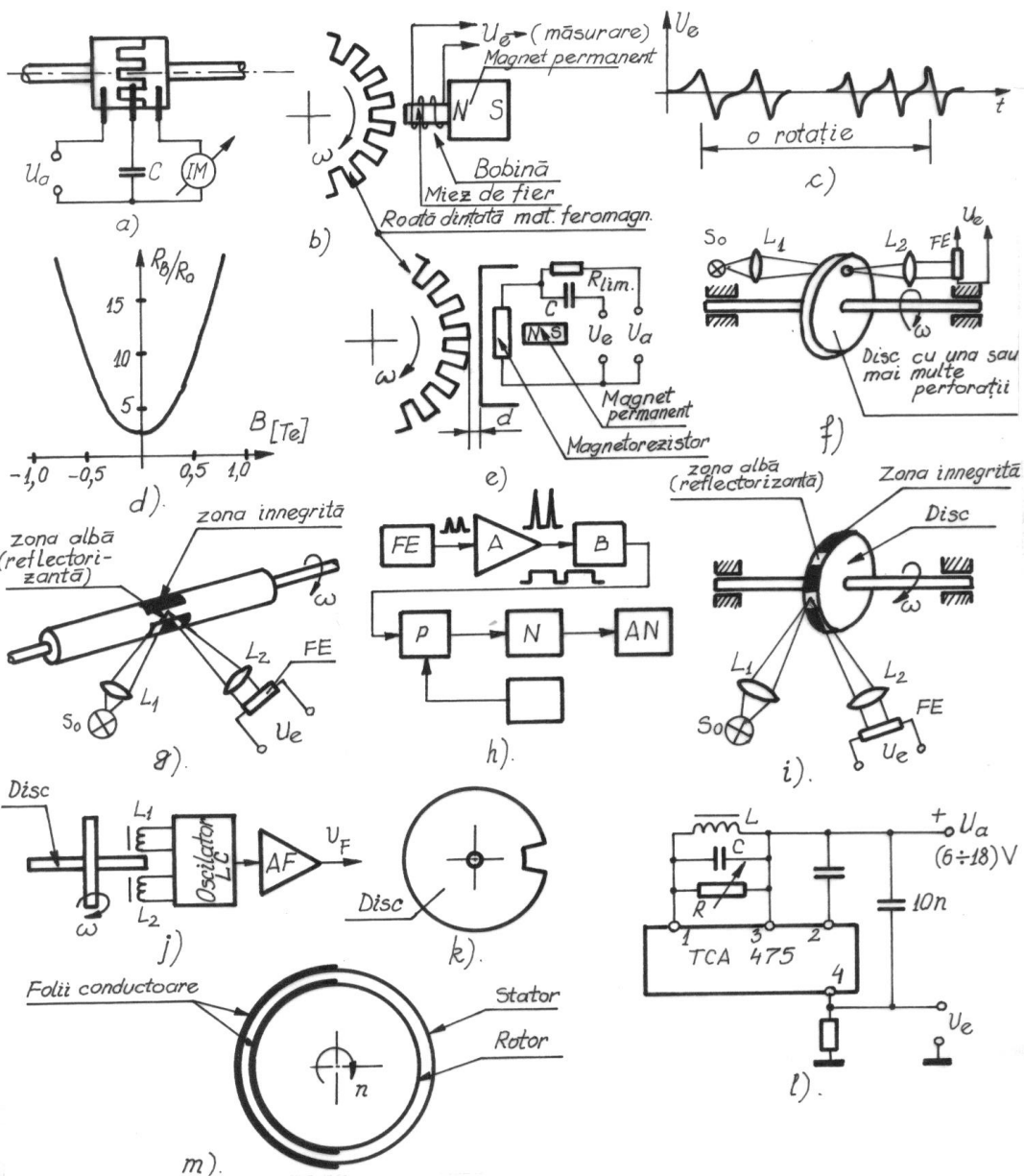
Un magnet permanent MP, multipolar, pus în mișcare de axul supus măsurării și ale cărui linii de flux magnetic intersectând un disc sau un pahar metalic nemagnetic, PMN (cu cupru, aluminiu) induc în el t.e.m. proporționale cu turația. Acestea, la rândul lor produc curenți turbionari care în interacțiune cu câmpul magnetic produc un cuplu activ (M_a).

$$M_a = k_1 \cdot \frac{pn\phi^2}{\rho} \quad M_a + M_r = 0 \Rightarrow \phi = k_2 \cdot n \quad 1,5...2 \%$$

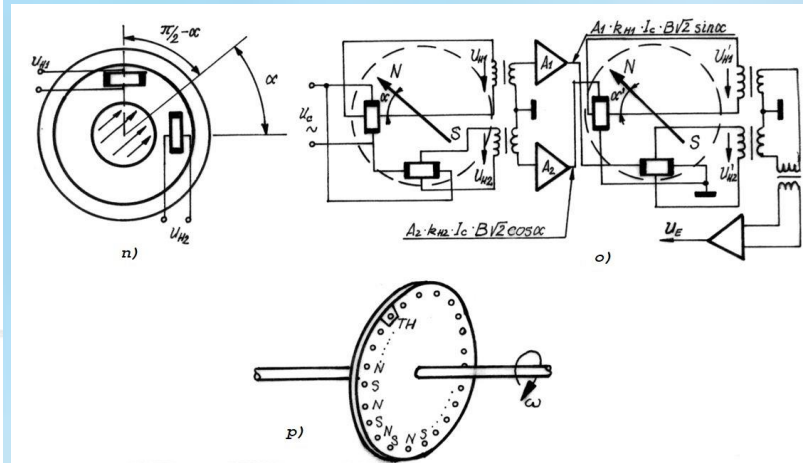
$$M_r = -W_r \phi$$

Domeniul de turații este 20...10 000) rot/min, cu o precizie de

3. Traductoare de impulsuri pentru măsurarea cuplului de torsiune și a vitezei unghiulare

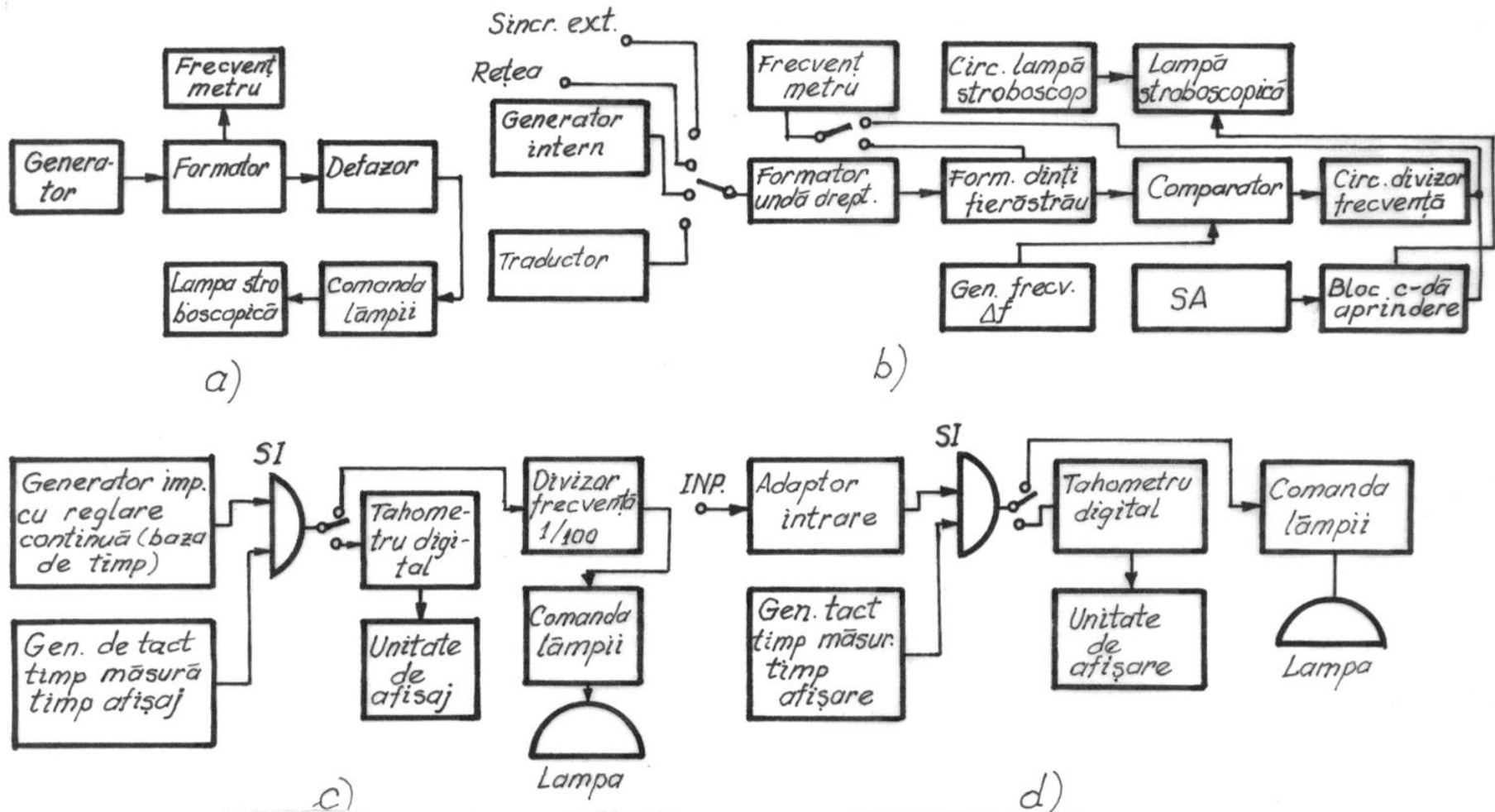


- traductoare cu contacte – (a)
- traductoare magnetorezistive – (b,c,d,e)
- traductor fotoelectric cu alternarea fluxului de lumină – (f,g,h,i)
- traductoare inductive (j,k,l)
- traductoare capacitive (m)
- traductoare Hall (n,o,p)



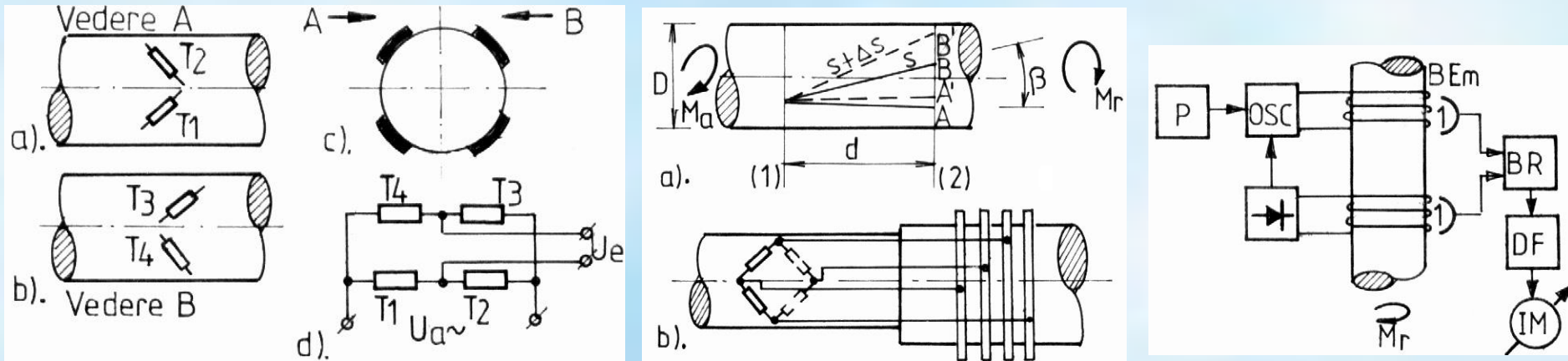
4. Strobotahometre

Acestea sunt aparate cu care se poate determina viteza unghiulară în absența unui contact mecanic cu piesa aflată în mișcare de rotație. Principiul de funcționare al stroboscopului electronic este următorul: obiectul în mișcare de rotație este iluminat periodic cu impulsuri de mare intensitate și scurtă durată. Dacă între frecvența impulsurilor luminoase și frecvența obiectului în mișcare există egalitate sau un raport de numere întregi, obiectul va fi iluminat mereu în aceeași poziție și datorită inerției ochiului se obține o imagine imobilă.

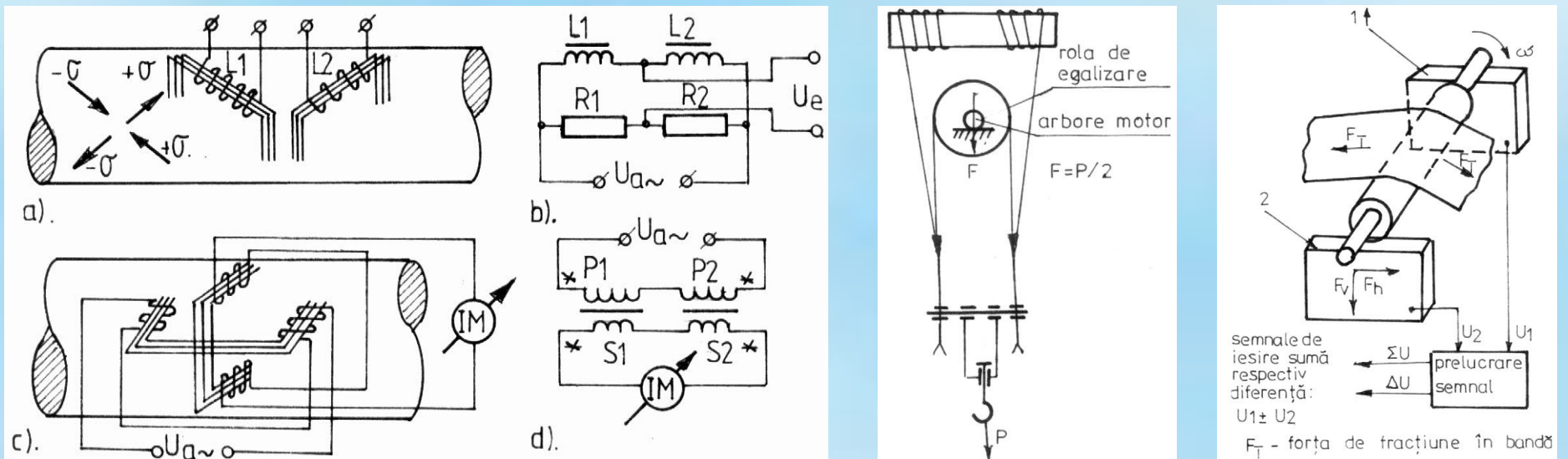


9.3 Măsurarea cuplului de torsiune

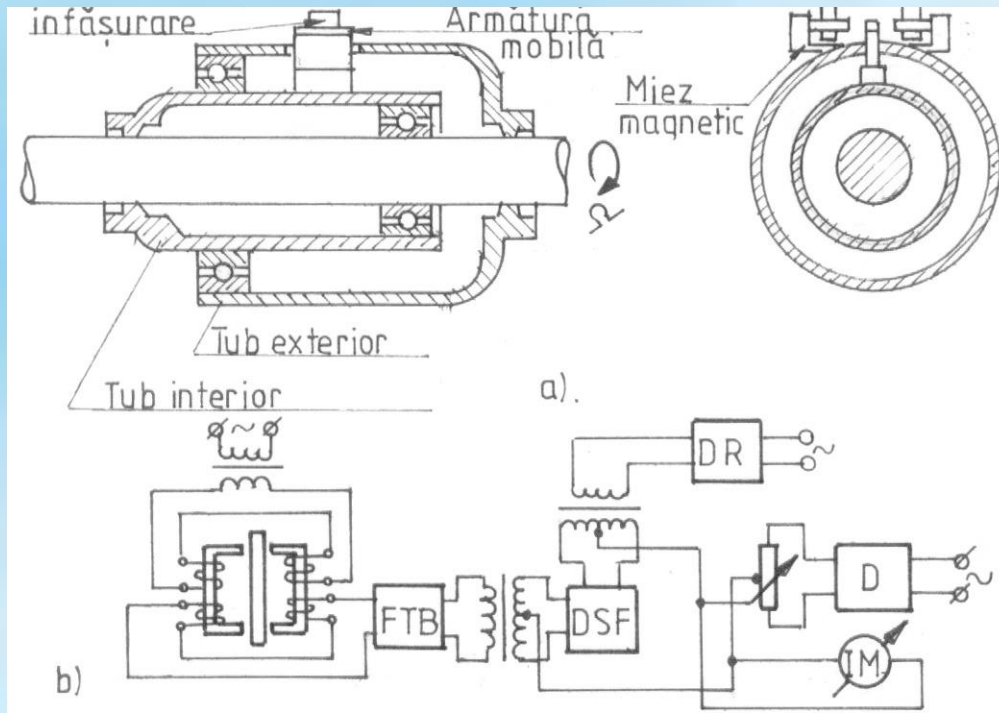
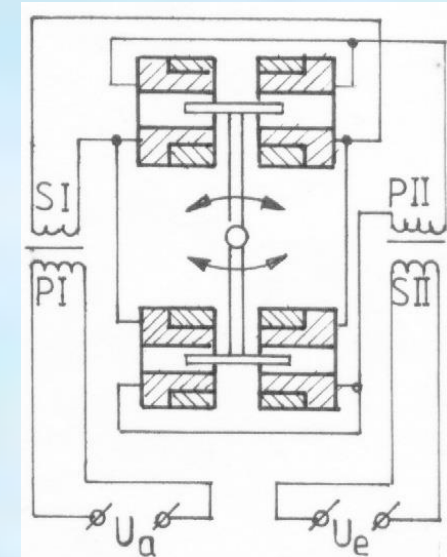
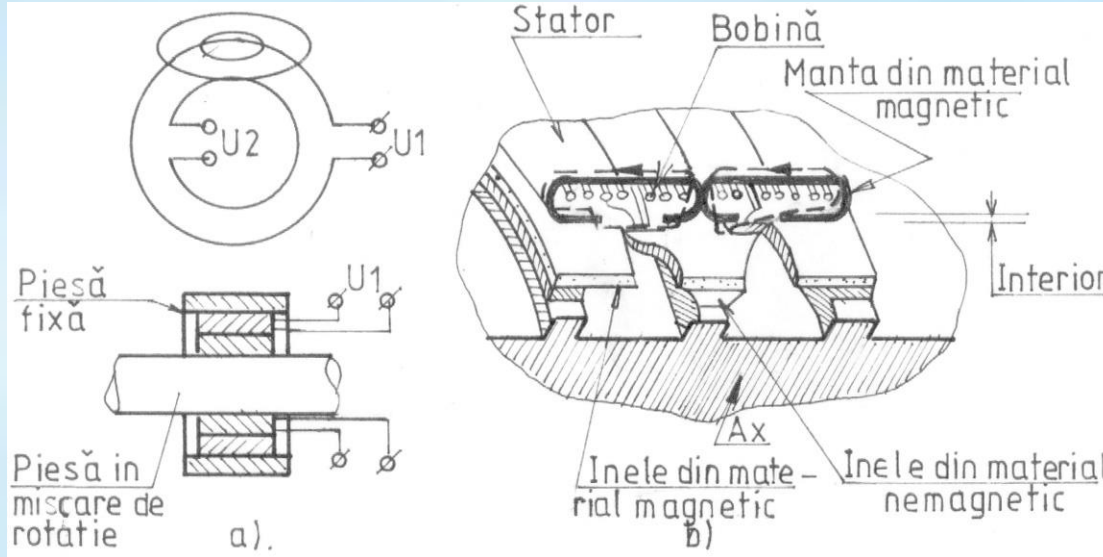
1. Torsiometre cu traductoare tensometrice



2. Torsiometre cu traductoare magnetoelastice

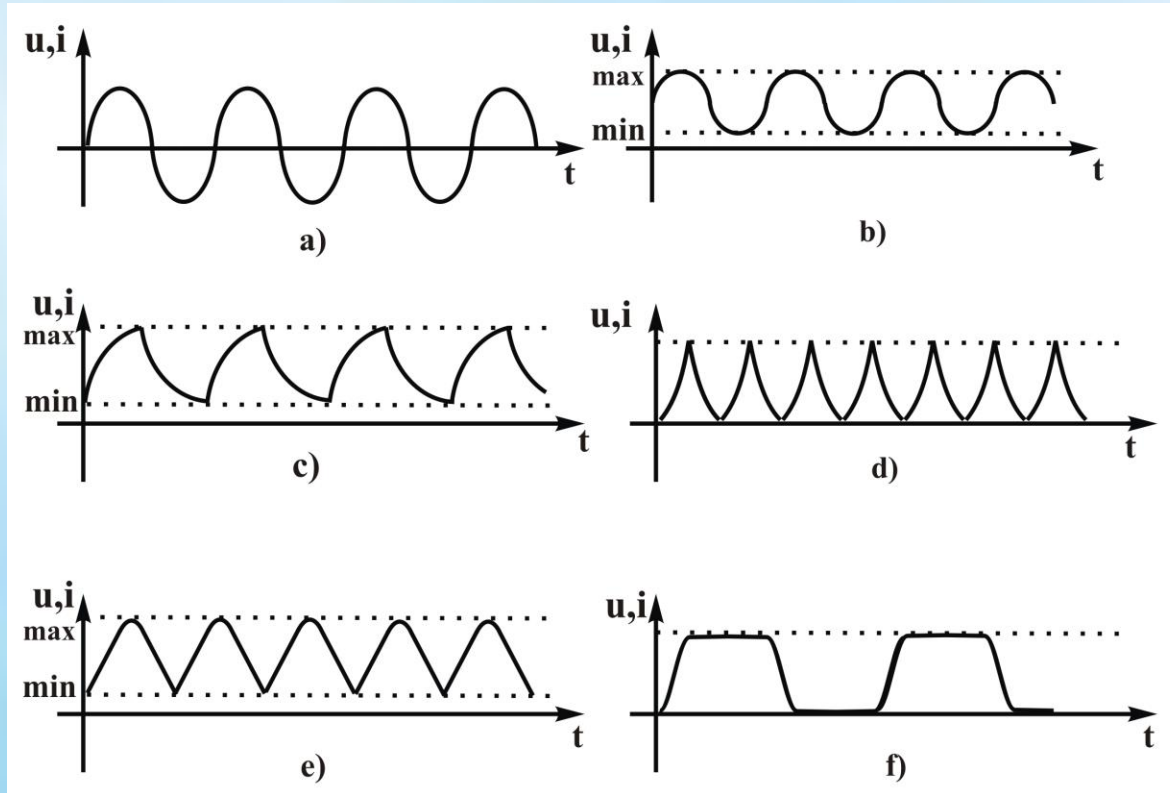


3. Torsiometre cu traductoare inductive



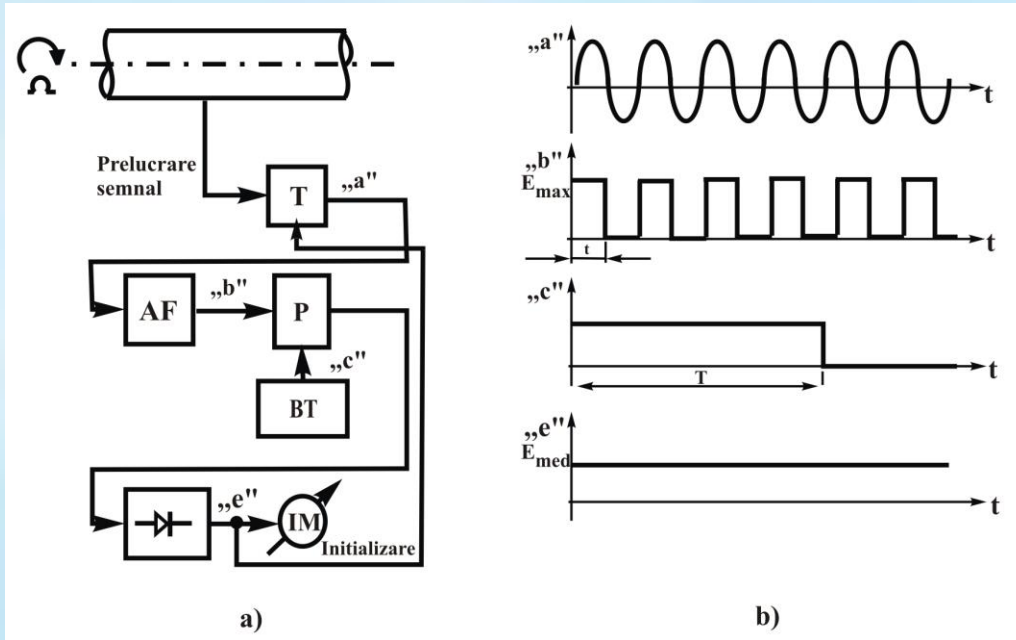
9.4 Semnale tipice și modalități de prelucrare a semnalului

1. Principalele tipuri de semnale la ieșirea traductoarelor utilizate:



- semnal tip „a” – sinusoidă (cvasisinusoidă) simetrică față de axa „t” – traductoare : electrodinamice, cu curenți turbionari, interferometrice și cu fibre optice, de impulsuri (cu reluctanță magnetică variabilă și inductive), Hall analogice, magnetoelastice;
- semnal tip „b” – sinusoidă (cvasisinusoidă) încadrată între un maxim și un minim, dirijate după axa „t” – traductoare de impulsuri capacitive;
- semnal tip „c” – exponențial asimptotic între un maxim și un minim dirijate după axa „t” traductoare de impulsuri fotoelectrice;
- semnal tip „d” – impulsuri – traductoare Hall numerice și strobotahometre;
- semnal tip „e” – semnal de tip „redresat” – traductoare de impulsuri magnetorezistive;
- semnal tip „f” – semnal cvasidreptunghiular – traductoare cu contacte.

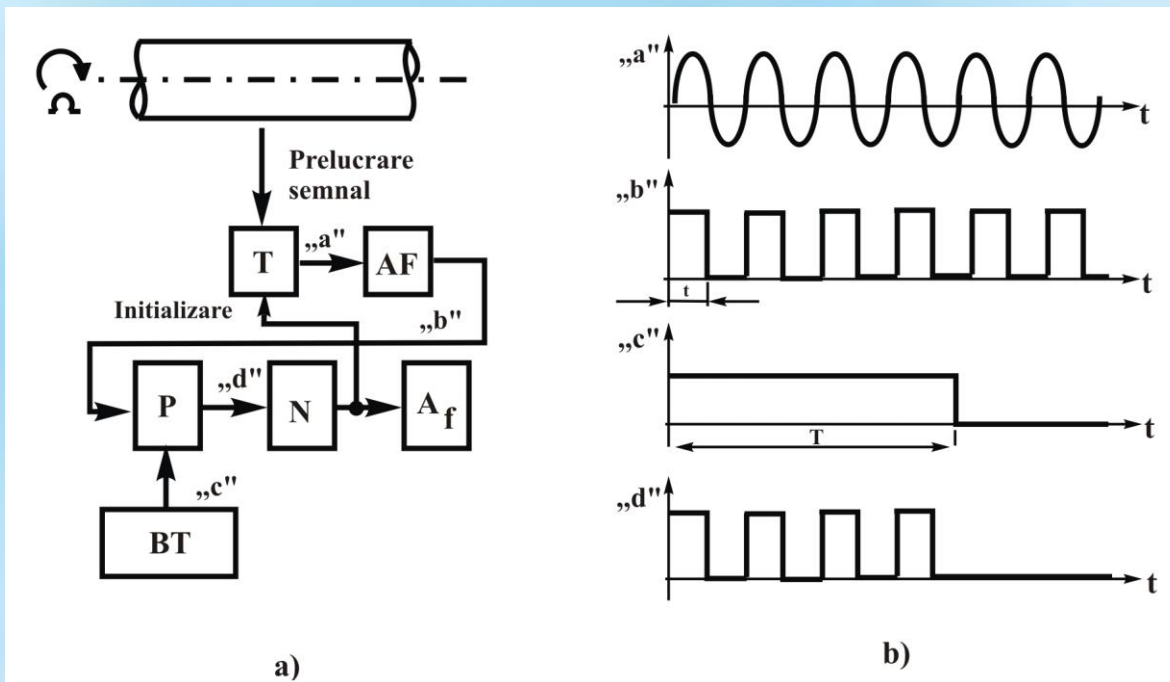
2. Circuite de prelucrare a semnalului pentru măsurarea vitezei unghiulare:



$$T = nt, \quad \text{sau:} \quad n = \frac{T}{t}$$

$$n' = \frac{n}{60}$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{n} = 2\pi f.$$

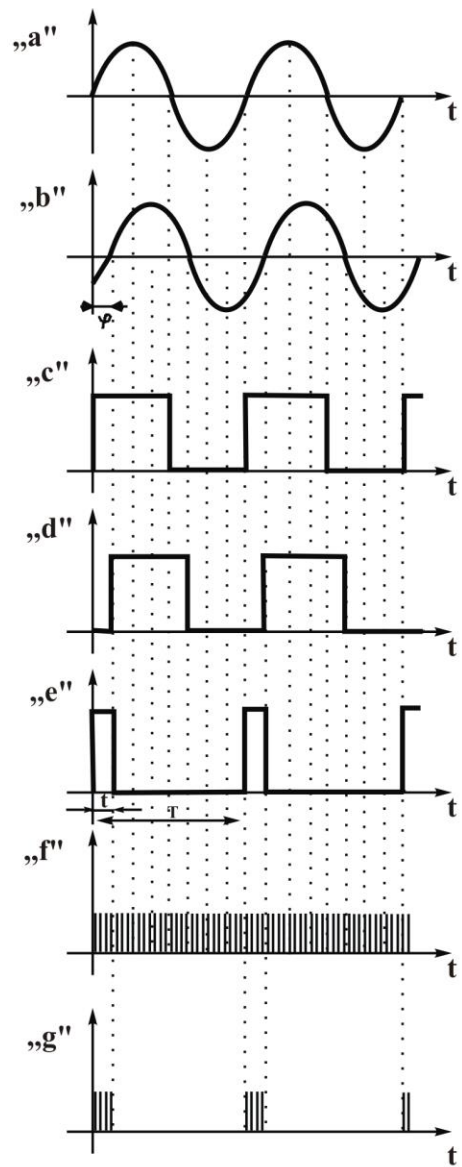
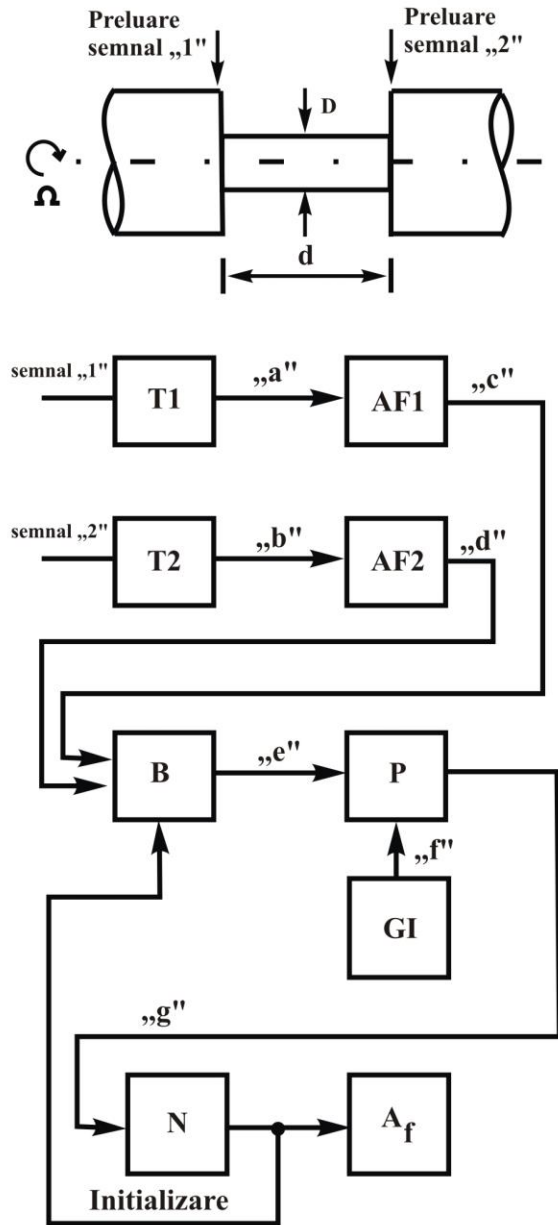


$$E_{med} = \frac{1}{T} \int_0^t E_{max} \sin \omega t dt = E_{max} \cdot \frac{t}{T}$$

$$T = nt$$

$$E_{med} = E_{max} \cdot \frac{t}{nt} = E_{max} \cdot \frac{1}{n} = f(n).$$

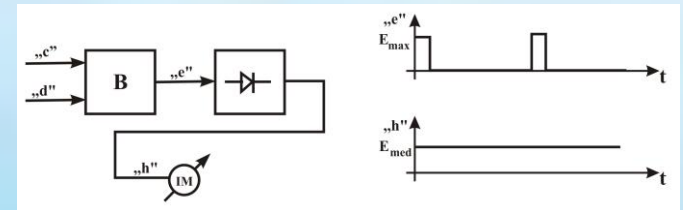
3. Circuite de prelucrare a semnalului pentru măsurarea cuplului:



$$\frac{\varphi}{\varphi_{\max}} = \frac{t}{T}, \quad \text{unde: } \begin{cases} \varphi_{\max} = 2\pi \text{ radiani} \\ t_{\max} = T \end{cases}, \quad \text{iar } T = \frac{1}{f};$$

$$t = \frac{\varphi \cdot T}{\varphi_{\max}} = \frac{\varphi}{f \cdot \varphi_m}$$

$$\varphi = f(N) \quad \text{sau} \quad M = f(N)$$



$$E_{\text{med}} = \frac{t}{T} E_{\text{max}} = \frac{\varphi}{2\pi} E_{\text{max}}$$

$$E_{\text{med}} = f(M)$$

Cursul X

Măsurarea presiunilor

10.1 Definiție. Unități de măsură.

10.2 Vacuummetre

10.3 Manovacuummetre

10.4 Manometre

10.1 Definiție. Unități de măsură.

Presiunea în orice punct se definește ca fiind raportul între forța normală dF exercitată asupra unei mici suprafețe dS care include punctul, și aria suprafeței dS :

$$p = \frac{dF}{dS}$$

- dacă presiunea este aceeași în toate punctele unei suprafețe plane finite, de arie S , putem scrie că:

$$p = \frac{F}{S}$$

- unitatea de măsură a presiunii în SI este Pascalul (Pa);
- definită ca presiunea creată de o forță de 1 N, aplicată perpendicular pe o suprafață de m^2 .

$$1 \text{ Pa} = 0,01 \text{ milibar} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr}$$

Presiunea atmosferică normală:

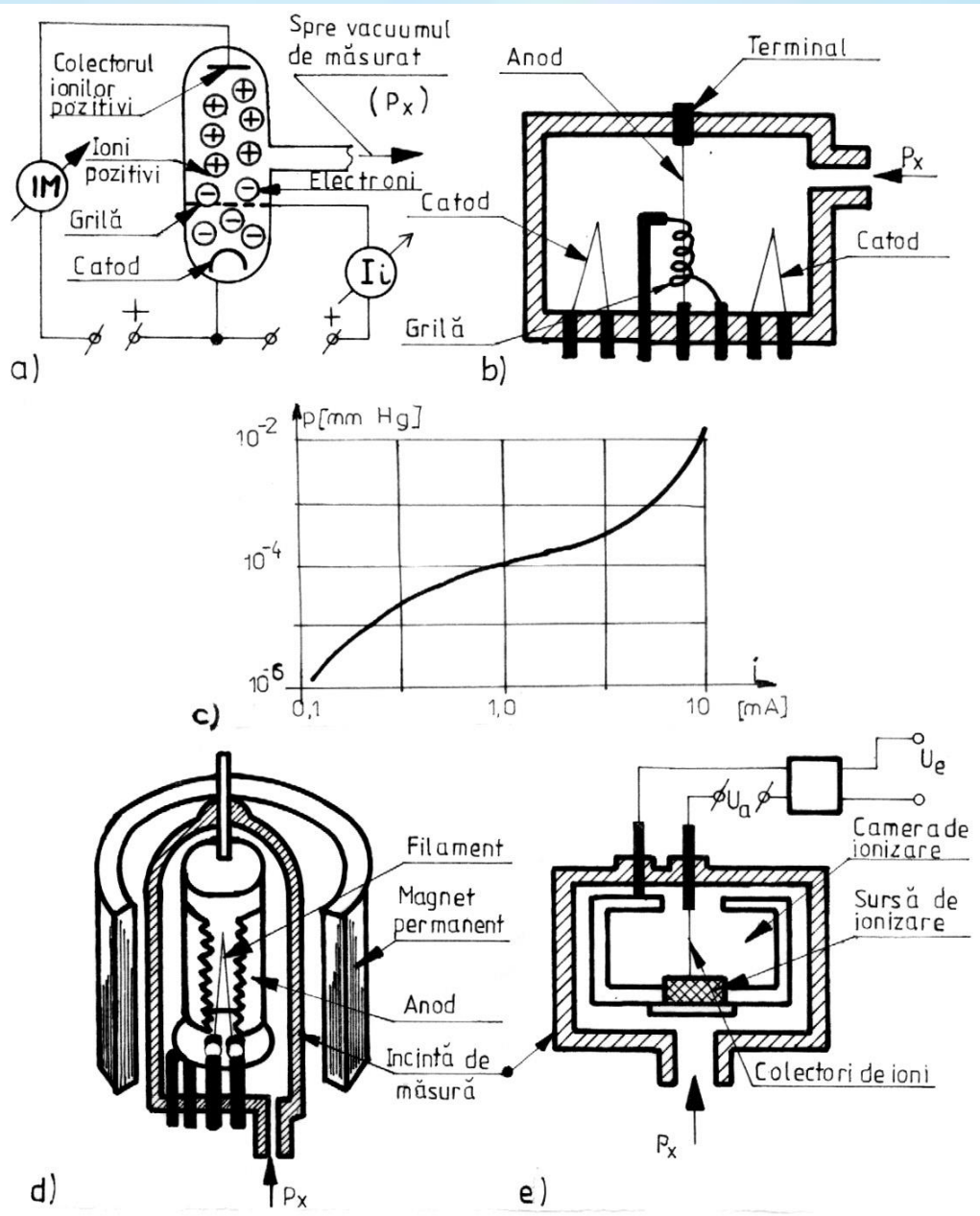
$$1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar} = 101.3 \text{ kPa} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 14.696 \text{ psi (lb}_f\text{/in}^2\text{)} = 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 760 \text{ torr} \\ = 29.92 \text{ inHg} = 1013 \text{ mbar} = 1.0332 \text{ kgf/cm}^2 = 33.90 \text{ ftH}_2\text{O}$$

Exemple de valori ale unor presiuni:

- 10 Pa - presiunea sub un 1mm de apă;
- 1 kPa - aproximativ presiunea exercitată de o masă de 10g pe o suprafață de 1 cm^2 ;
- 10 kPa - presiunea sub 1m de apa sau diferența de presiune a aerului între nivelul mării și o altitudine de 1000m
- 10 GPa - presiunea la care se formează diamantele.

10.2 Vacuometre

Traductoare de vacuum cu ionizare

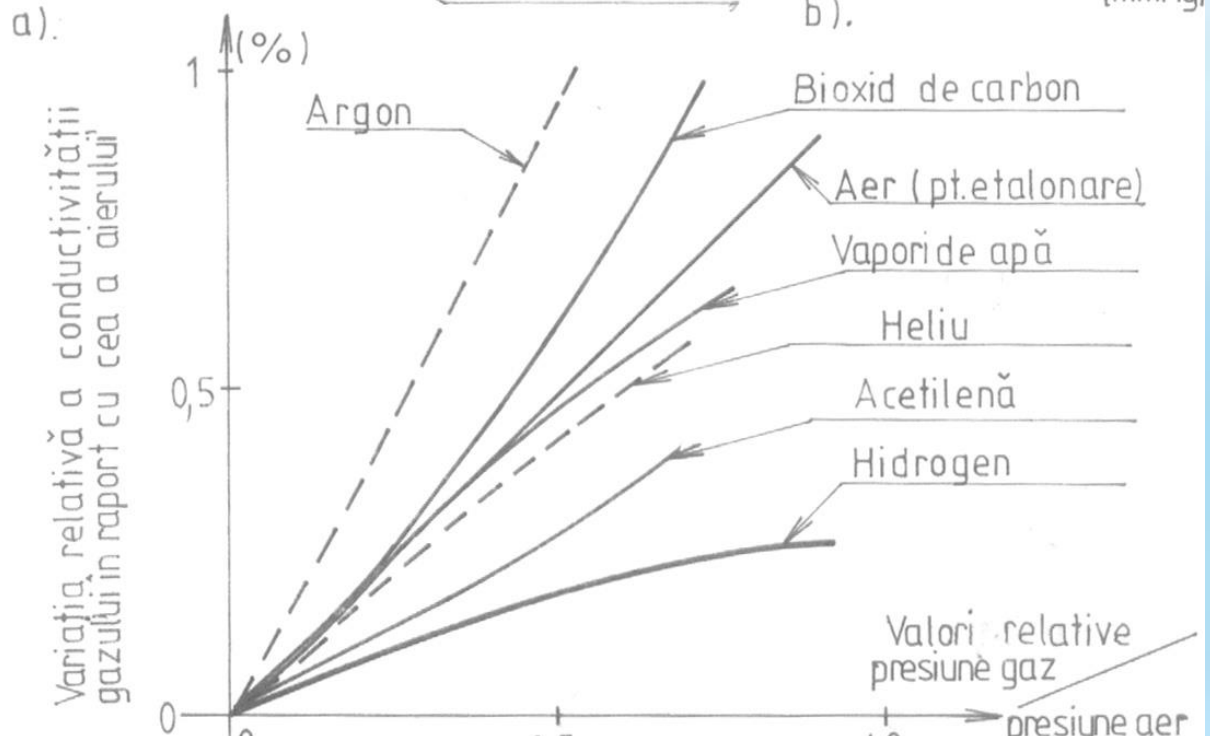
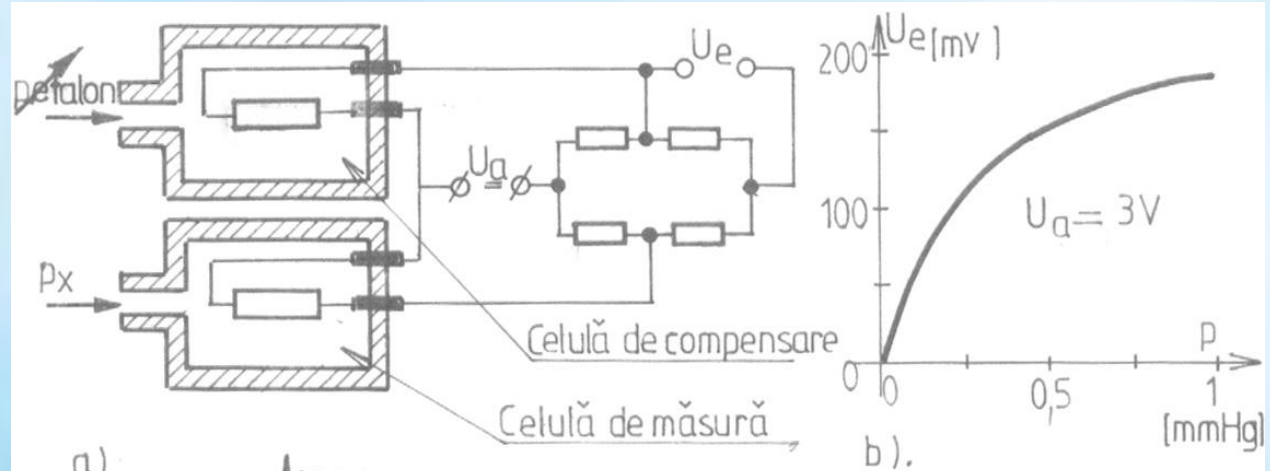
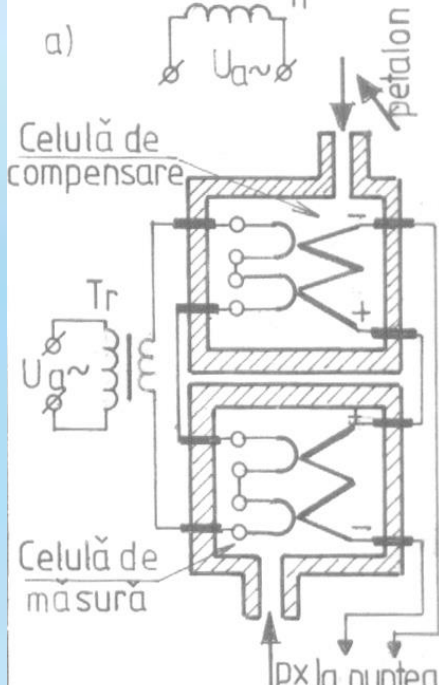
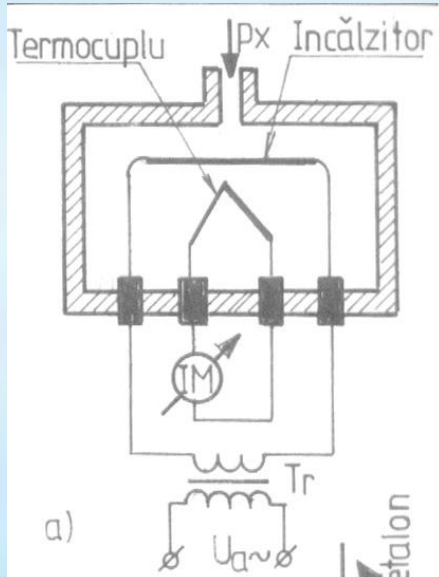


- singurele mijloace de detectare a vidului înaintat, adică în domeniul $10^{-17} \div 10^{-2}$ mmHg;
- în funcție de modul de generare a electronilor, al căror număr este corelat cu presiunea absolută de măsurat, traductoarele de vacuum sunt cu catod rece, cu catod cald, sau cu radiații;
- se măsoară curentul electric care rezultă în urma ionizării gazului a cărei presiune se determină;
- pentru a obține ionizarea, trebuie îndepărtat un electron din molecula de gaz, ceea ce se realizează cedând moleculei o energie corespunzătoare potențialului său de ionizare (de ordinul a 5...50 eV);
- dacă cedarea energiei este constantă în timp atunci curentul electric (ionic) datorat ionizării este și el constant și proporțional cu presiunea gazului.

- a) traductorul de vacuum cu catod cald
- b) traductorul Bayard-Alpert
- c) caracteristica de dependență presiune-intensitatea curentului de ionizare;
- d) „vacuummetru tip magnetron”, traductor cu catod rece;
- e) traductor cu radiații (ionizarea moleculelor se realizează prin bombardarea lor cu particule alfa)

Traductoare termice de vacuum

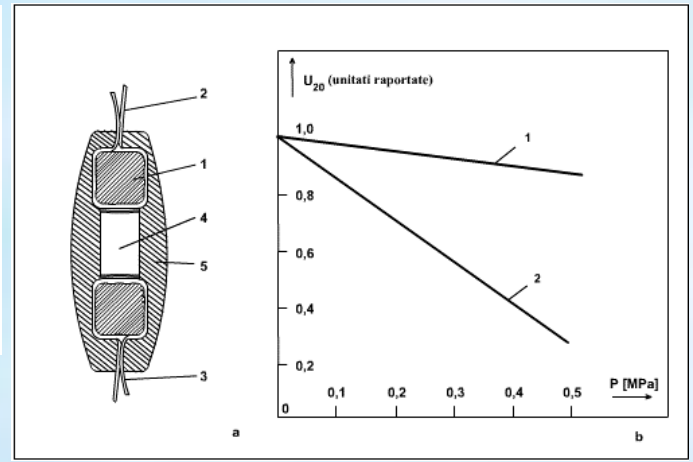
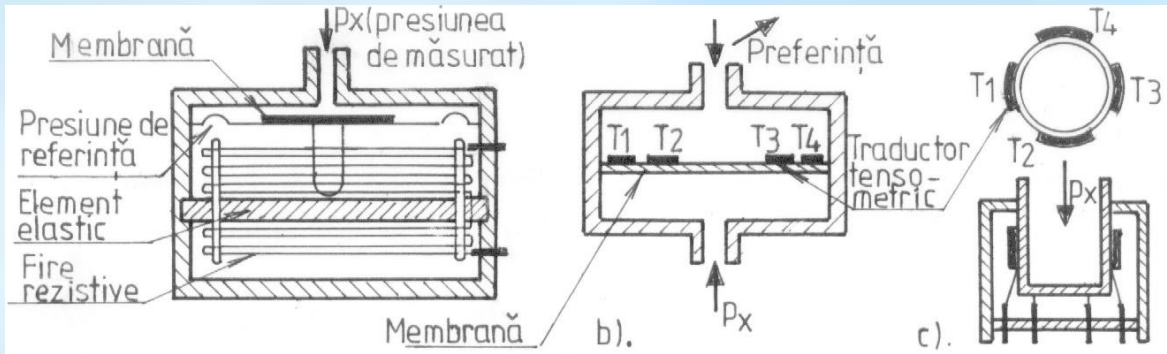
- funcționarea acestor traductoare se bazează pe fenomenul de dependență a conductivității termice a gazelor în raport de presiunea lor;
- traductor de vacuum cu termocuplu (a) și traductor de vacuum cu termorezistență (traductor Pirani)



10.3 Manovacuummetre

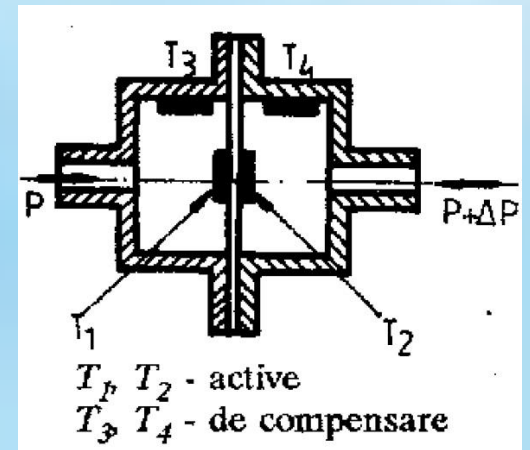
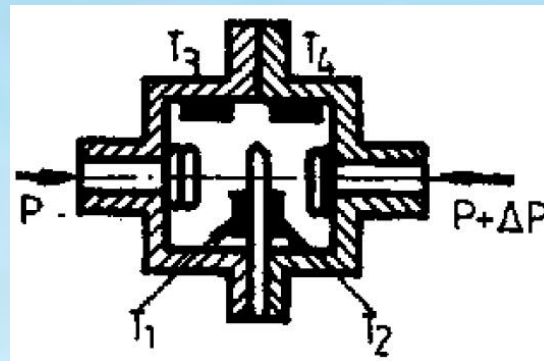
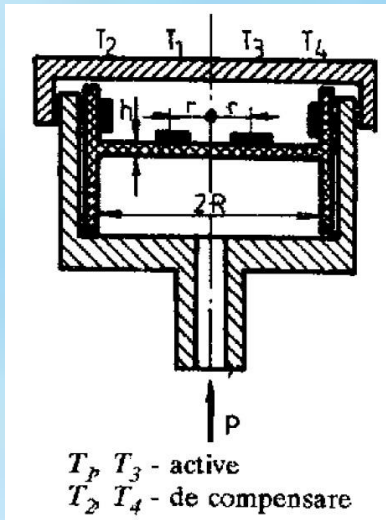
- sunt destinate măsurării presiunilor în domeniul $10^{-2} \dots 10^6$ atm;
- traductoarele tensometrice, magnetoelastice, inductive, capacitive sau piezoelectrice.

Traductoare tensometrice și magnetoelastice



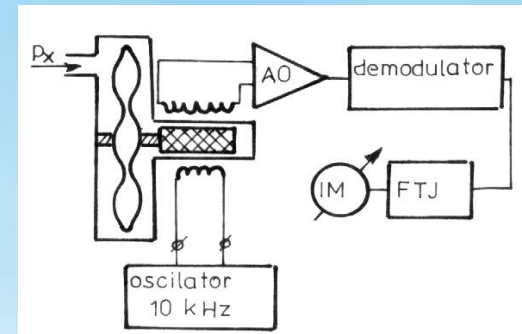
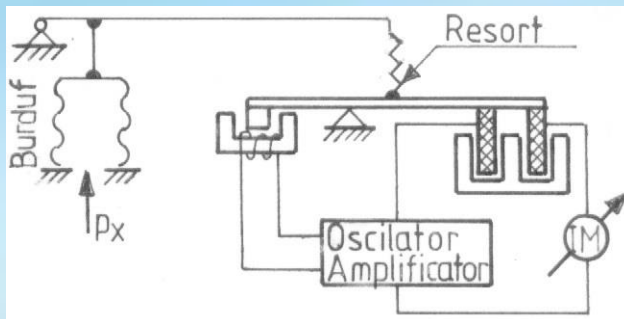
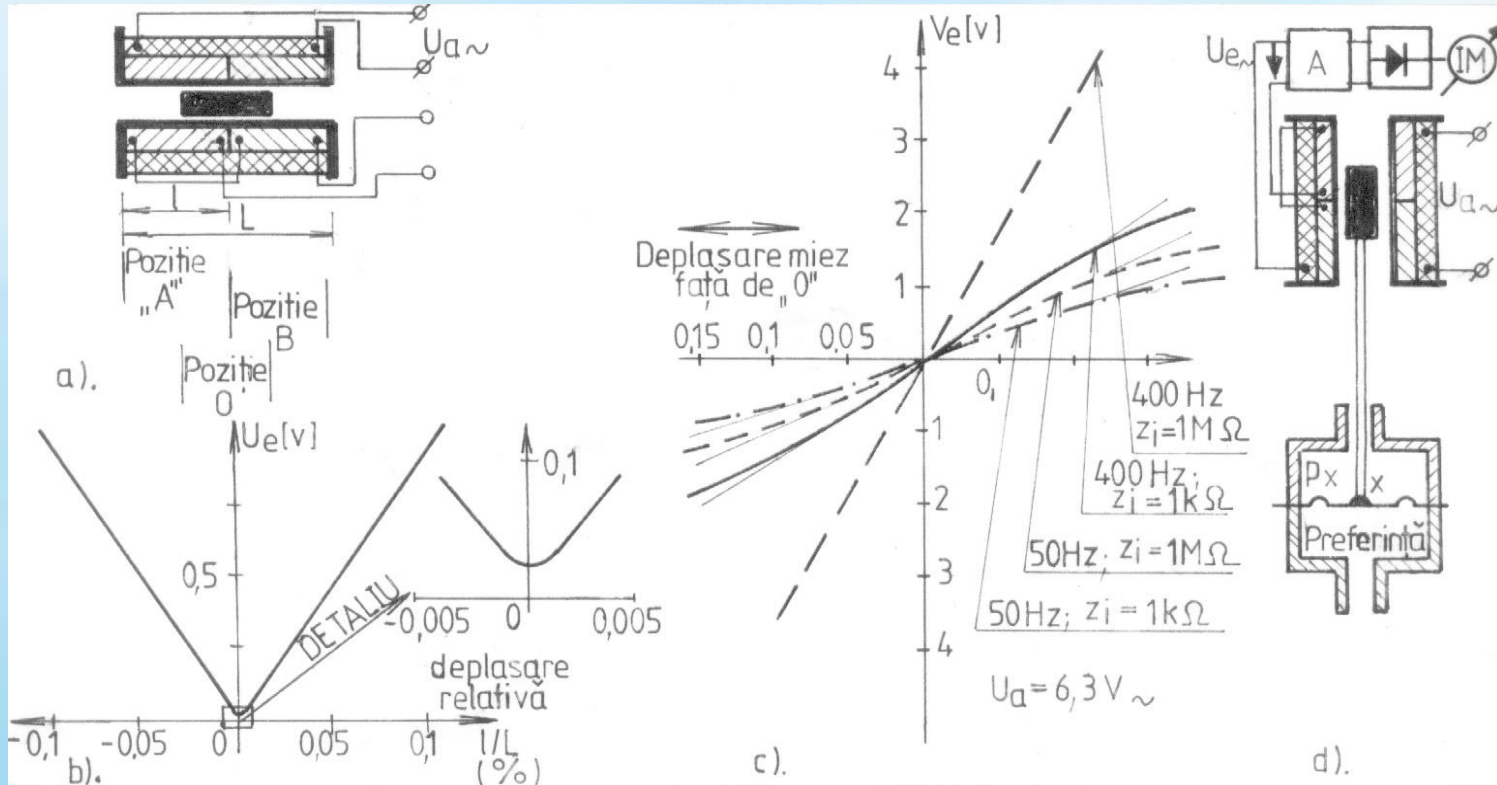
a) captor cu membrană circulară (presiuni medii și mari):

b) captor pentru presiuni joase:



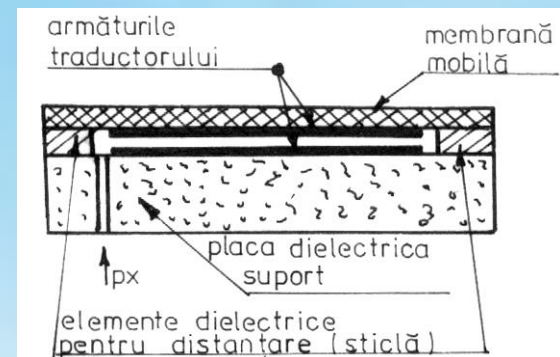
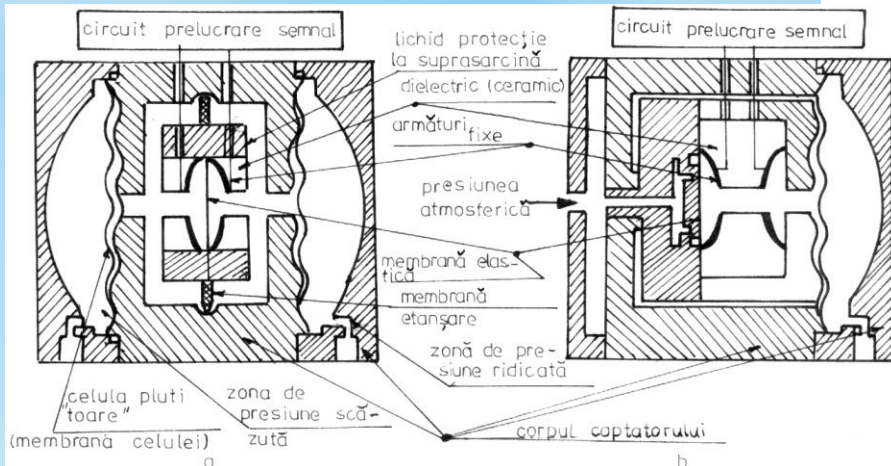
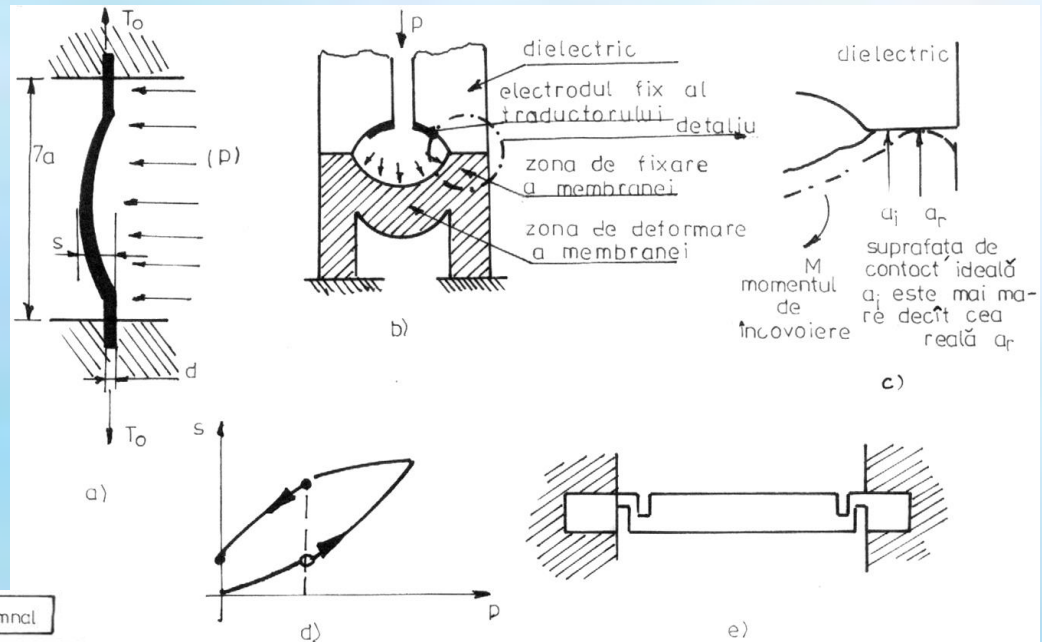
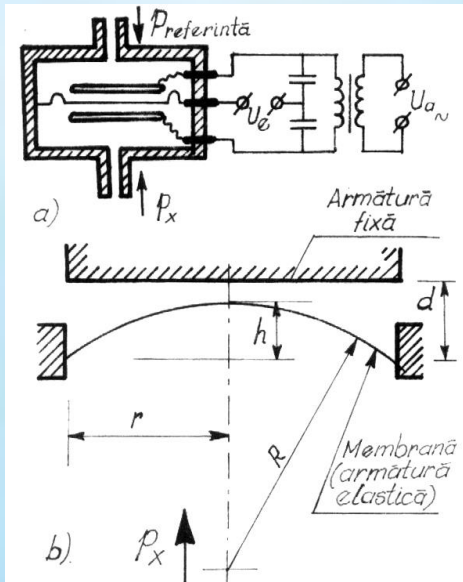
Traductoare inductive

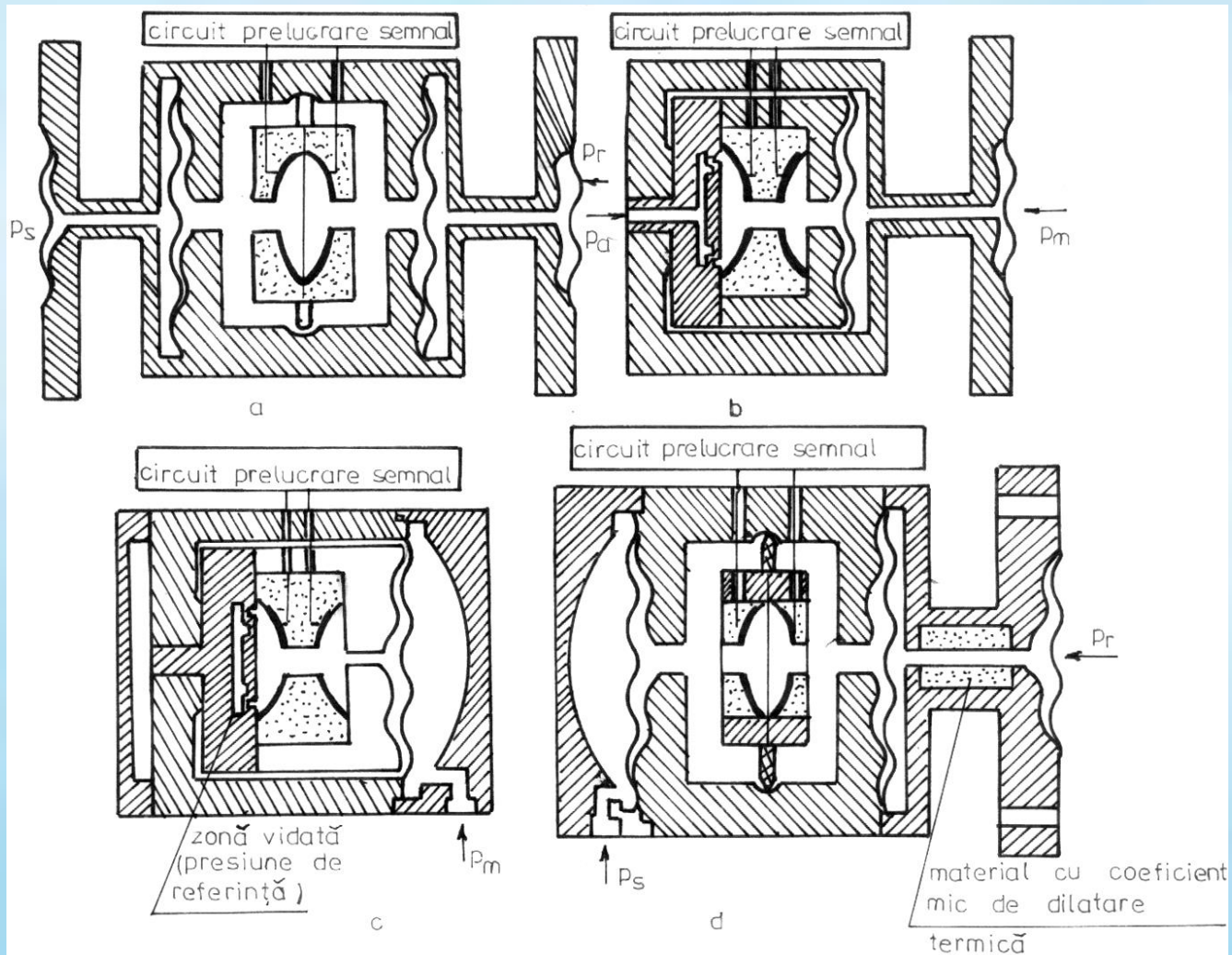
- se folosesc în principiu traductoare inductive obișnuite, de deplasare, determinarea presiunii realizându-se prin măsurarea unui punct al elementului elastic care preia presiunea;
- schemele utilizează traductoare tip transformator sau diferențiale, cu reluctanță variabilă introduse într-o schemă de oscilator-amplificator;
- precizia de măsurare este în domeniul 1...3 %.



Traductoare capacitive

- traductorul funcționează ca un condensator cu armătură mobilă în funcție de diferența dintre presiunea de referință și presiunea de măsurat;
- valoarea capacității traductorului este introdusă într-o punte capacitivă de înaltă frecvență (pentru mărirea sensibilității);
- semnalul de ieșire – tensiunea de dezechilibru a punții, U_e , - este într-o corelare matematică și fizică cu presiunea de măsurat.



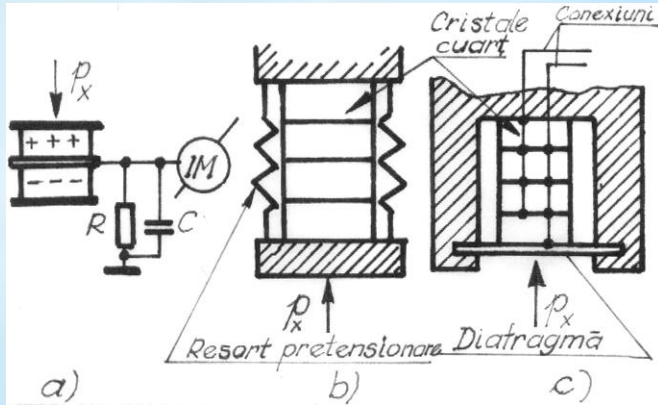


NOTA: Elementele componente ale traductoarelor rămân valabile cele din figura 3
 P_a -presiune atmosferică ; P_m -presiunea de măsurat ;
 P_r -zonă de presiune ridicată ; P_s -zonă de presiune scăzută .

- a) traductor diferențial de presiune cu membrană interschimbabilă;
- b) traductor de presiune cu membrană interschimbabilă;
- c) traductor de presiune absolută ;
- d) traductor de nivel.

Traductoare piezoelectrice

- funcționarea manovacuummetrelor cu traductoare piezoelectrice se bazează pe utilizarea efectului piezoelectric, respectiv apariția între cele două suprafețe ale cristalului, când acesta este supus unei deformări (presiuni), a unei tensiuni variabile în timp:

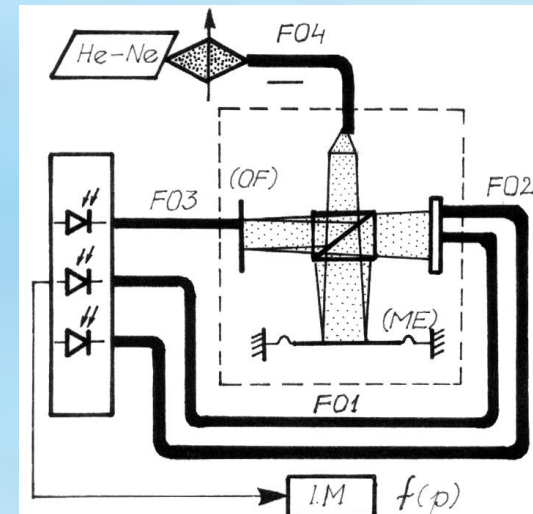
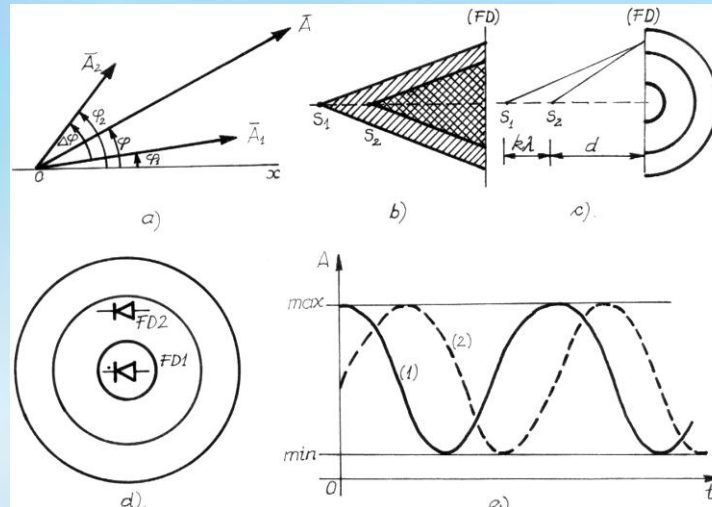
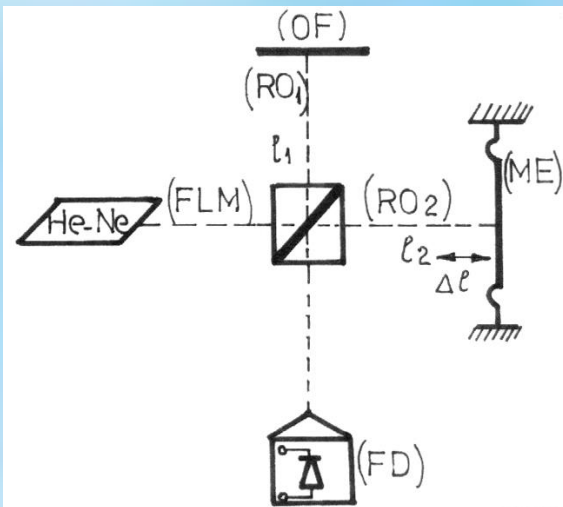


$$U = U_0(1 - e^{-t/RC})$$

- unde U_0 este tensiunea apărută la momentul aplicării presiunii ($t = 0$).

Traductoare interferometrice și cu fibre optice

- traductoare interferometrice sunt utilizate pentru măsurarea deformărilor unei membrane elastice;
 - transmisia informației de măsură se face prin intermediul fibrelor optice, ceea ce permite amplasarea instalației de măsură (IM) la distanță convenabilă față de traductorul propriu-zis, precum și posibilitatea măsurării presiunii în medii speciale (zone cu câmp electric sau electromagnetic ridicat, medii explozive, etc.).

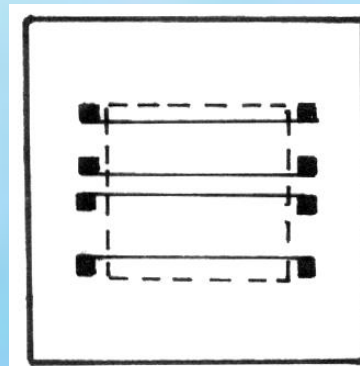
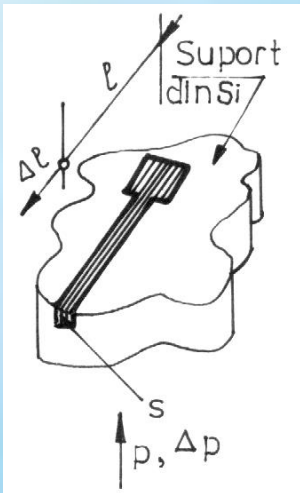


Traductoare cu semiconductori

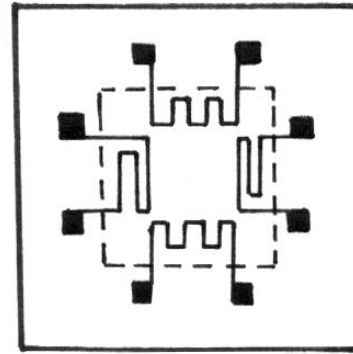
- la baza utilizării acestor traductoare stă efectul piezorezistiv al materialelor semiconductoare, efect materializat prin modificarea rezistenței electrice a materialului ca urmare a deformării acestuia sub acțiunea unor forțe mecanice exterioare.
- rezistența electrică a zonei difuzate în monocristalul de siliciu depinde de secțiunea transversală, s , a zonei, lungimea acesteia, l și de rezistivitatea ρ , a materialului:

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

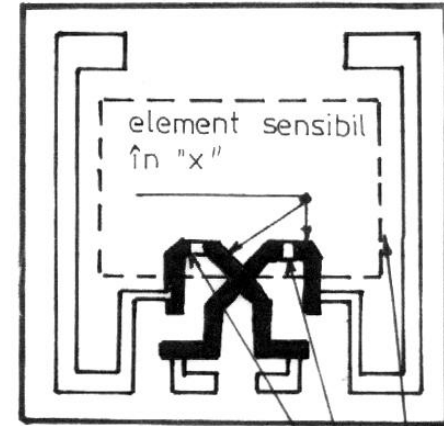
$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon$$



a)

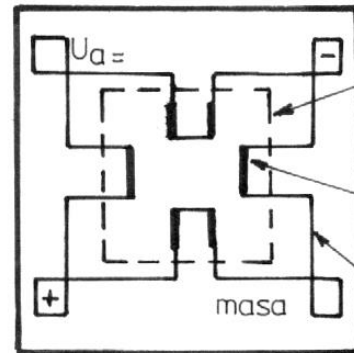


b)

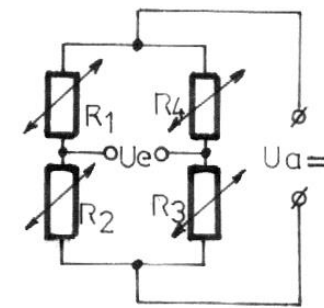


element sensibil în "x"
zone (elemente de corectie)
marginea membranei elastice

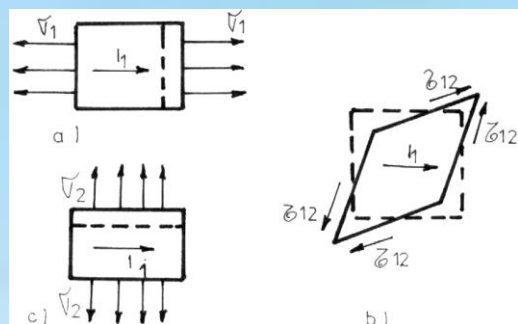
d)



c)

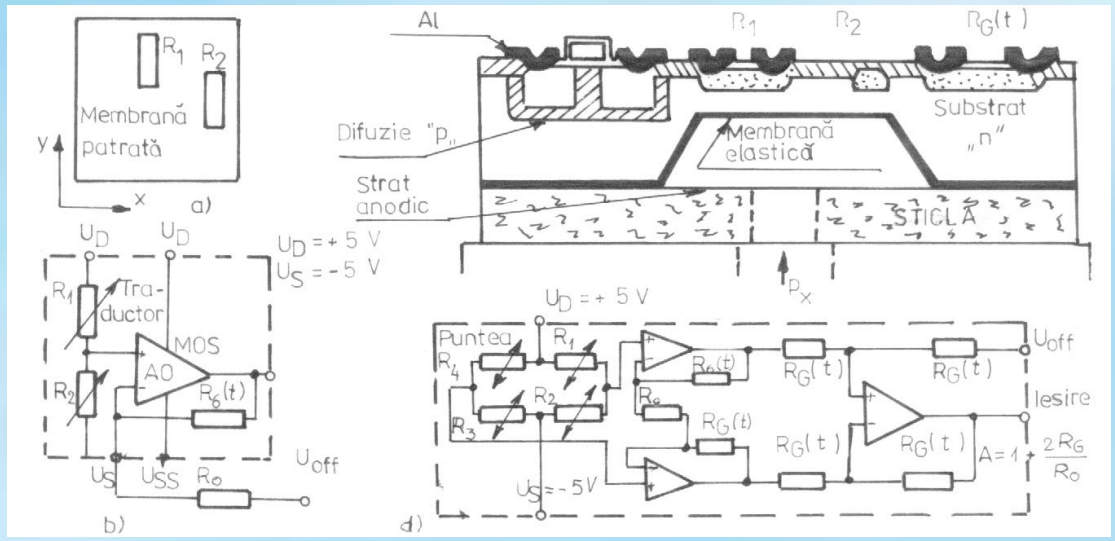
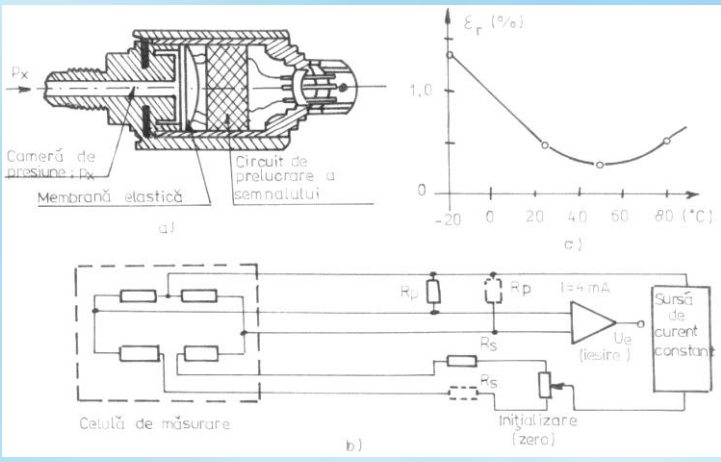
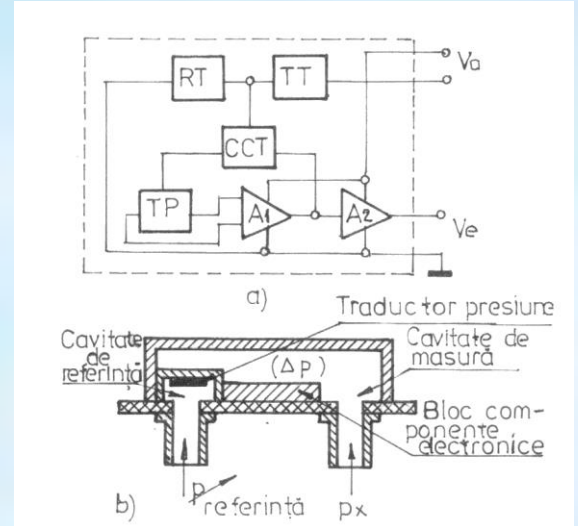
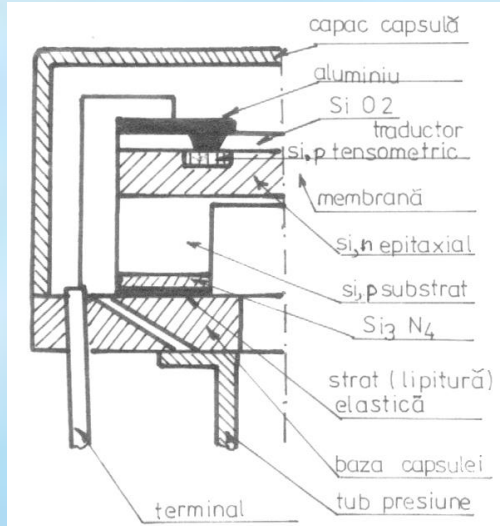
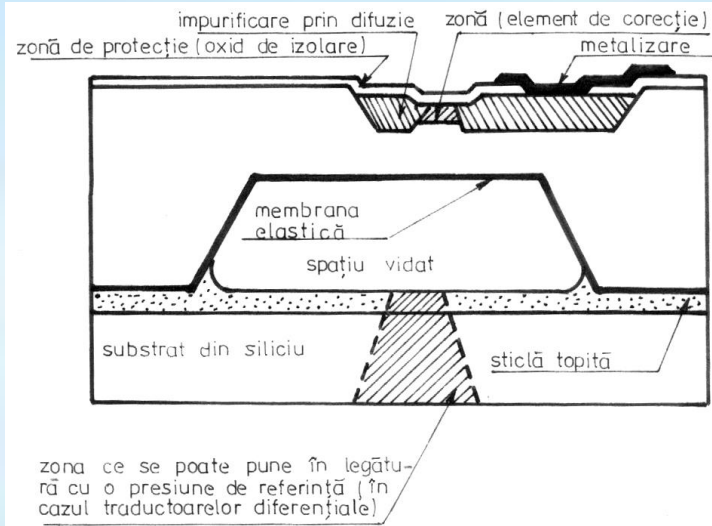


e)



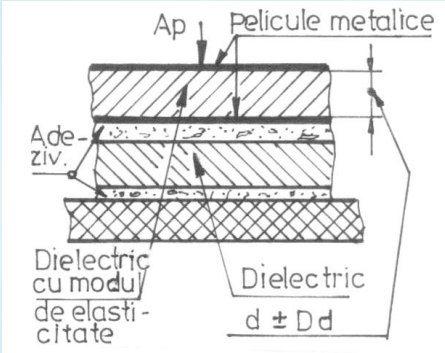
b)

Traductoare cu semiconductori



Traductoare peliculare de presiune

- sensibilitate ridicată, stabilitate în timp a caracteristicilor, construcție simplă, procedee tehnologice ce se pretează la serii mari cu bună reproductibilitate, posibilități de miniaturizare;
- aceste traductoare utilizează un detector capacitiv, cu elementul sensibil constituit dintr-o folie poliamidică elastică metalizată pe ambele părți și care constituie condensatorul de capacitate C ;
- sub acțiunea variației de presiuni, Δp , grosimea foliei se micșorează cu Dd , putând scrie relația:

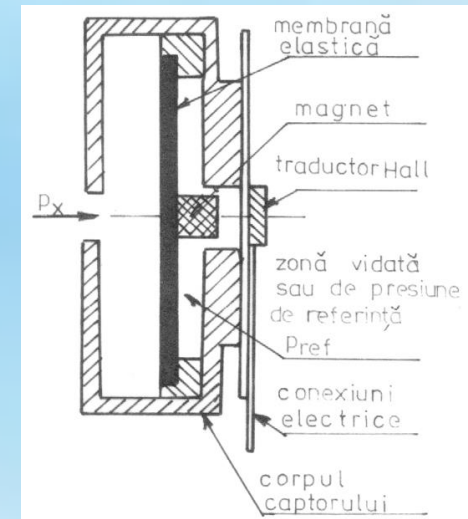
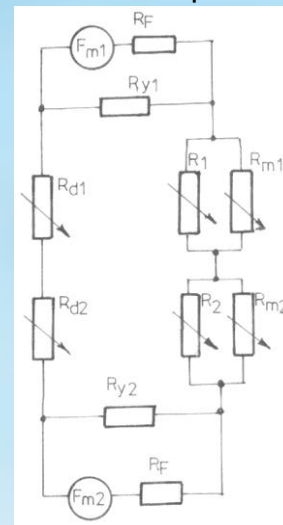
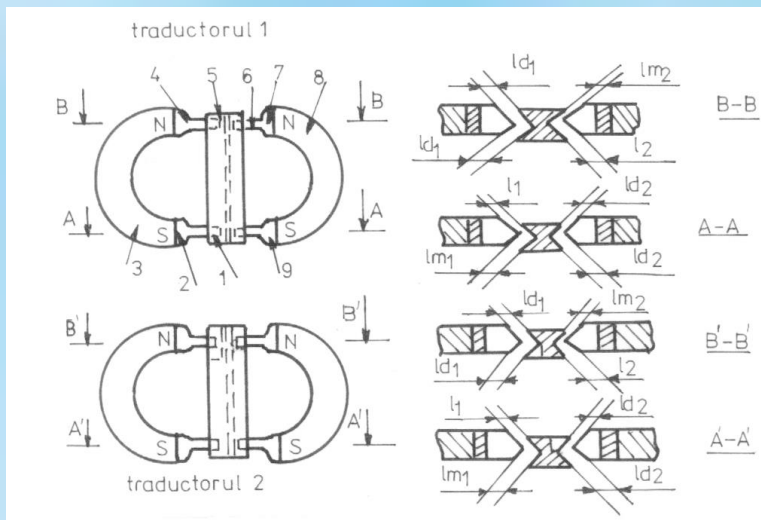


$$\frac{\Delta C}{C} = -\frac{Dd}{d} = \frac{\Delta p}{k}$$

- k , fiind un coeficient de proporționalitate

Traductoare galvanomagnetice

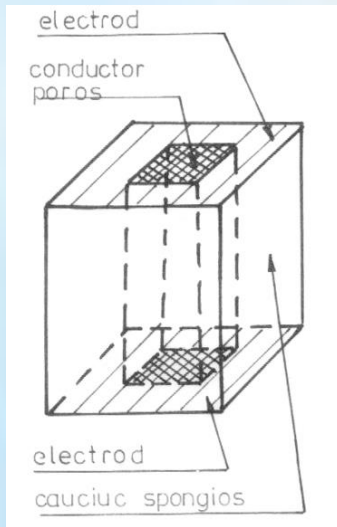
- *traductorul magnetorezistiv* este caracterizat prin nivel ridicat de semnal de ieșire, dimensiuni mici de gabarit, liniaritate a dependenței semnalului de ieșire față de presiune, rezistență la șocuri și vibrații;
- este alcătuit dintr-o membrană elastică ce transformă presiunea în deplasare, respectiv dintr-un transformator ce convertește deplasarea în inducție magnetică;
- *traductorul Hall* sesizează deplasarea magnetului permanent atașat pe membrana elastică;
- măsurare precisă, comodă, cu consum mic energetic și valori convenabile preluate spre prelucrare.



10.4 Manometre

Manometrele permit măsurarea unor presiuni mari, până la $10^5 \dots 10^6$ atm. Traductoarele sunt de tip rezistiv, cu manganină, cu pastile de cărbune (cu rezistență de contact), sau piezoelectrice.

Traductoare rezistive



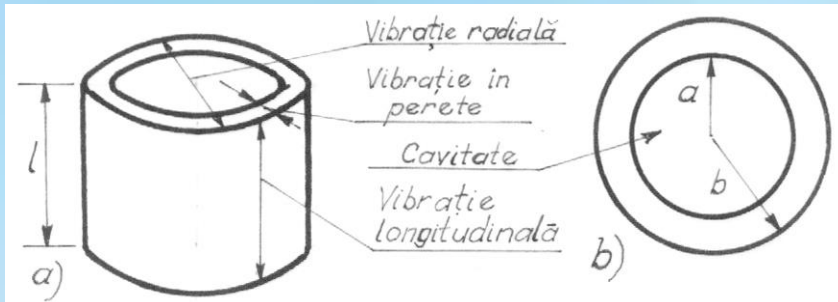
Manometrele cu rezistență de manganină se bazează pe variația liniară a valorii rezistenței electrice a firului de manganină în funcție de presiunea p , conform relației:

$$\Delta R = k_p \cdot R \cdot p$$

- unde k_p este constanta de variație față de presiunea manganinei cuprinsă între $2 \cdot 10^{-6} \dots 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kgf}^2$. Eroarea de măsurare este în jur de 0,5 %.

Traductoare piezoelectrice

- măsurare a presiunii undei de șoc a aerului, în cazul exploziilor



Pereții interiori și exteriori ai traductorului executați din titanat de bariu sunt polarizați pe direcție radială și sunt metalizați. Presiunea aerului se aplică suprafeței exterioare, în timp ce interiorul cilindrului este izolat față de presiunea exterioară.

Cursul XI

Măsurarea debitului

11.1 Prezentare. Probleme specifice măsurării.

11.2 Debitmetre cu strangulare

11.3 Debitmetre cu inducție

11.4 Debitmetre cu ultrasunete

11.5 Debitmetre cu laser

11.6 Debitmetre termice

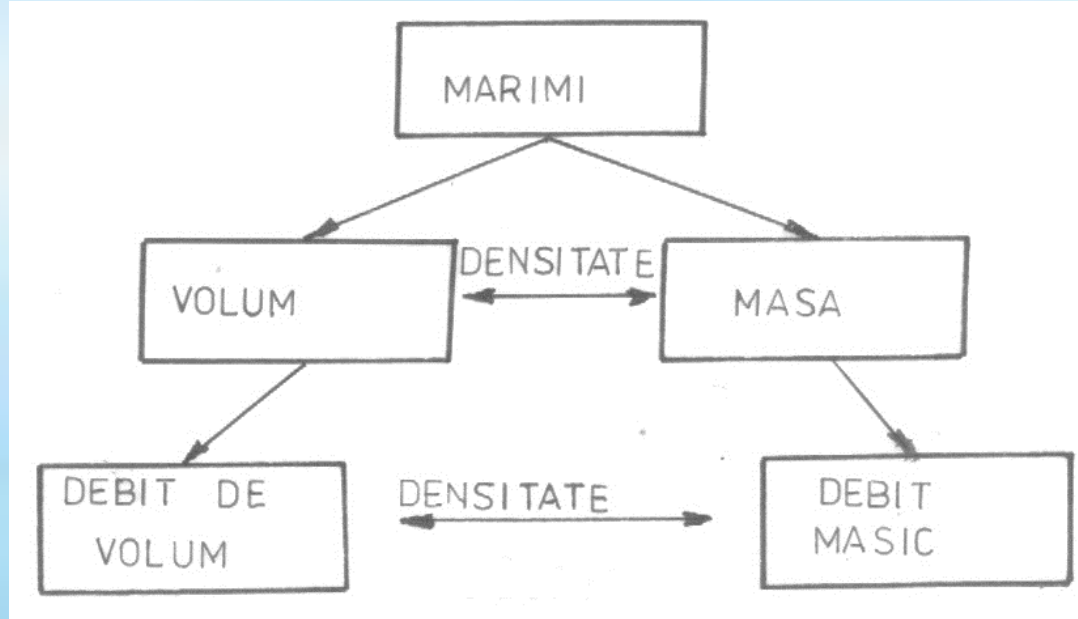
11.7 Debitmetre cu traductoare digitale

11.8 Debitmetre cu corp plutitor

11.9 Debitmetre radiometrice

11.1 Prezentare. Probleme specifice măsurării

Debitul se definește ca fiind cantitatea de lichid care trece printr-o secțiune într-o unitate de timp.

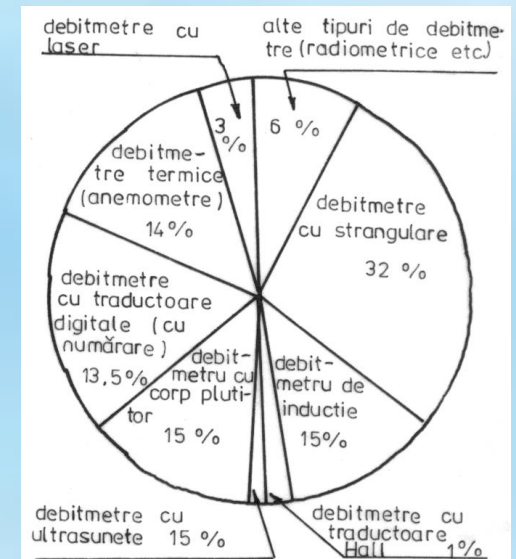


- *debitul de volum* (utilizat în cazul lichidelor omogene) este proporțional cu secțiunea, S , a conductei și viteza v_f a fluidului:

$$Q_v = \frac{dV}{dt} = \frac{d(Sl)}{dt} = S \cdot \frac{dl}{dt} = S \cdot v_f$$

- *debitul de masă* (utilizat în cazul lichidelor neomogene):

$$Q_m = \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = Q_v \cdot \rho$$



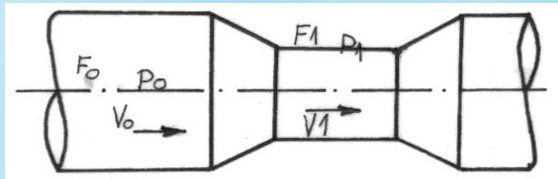
11.2 Debitmetre cu strangulare

- dat fiind caracterul orizontal și continuu al curgerii fluidului, ecuația lui Bernoulli simplificată se scrie sub forma:

$$p + \frac{\rho}{2} v^2 = \text{constant}$$

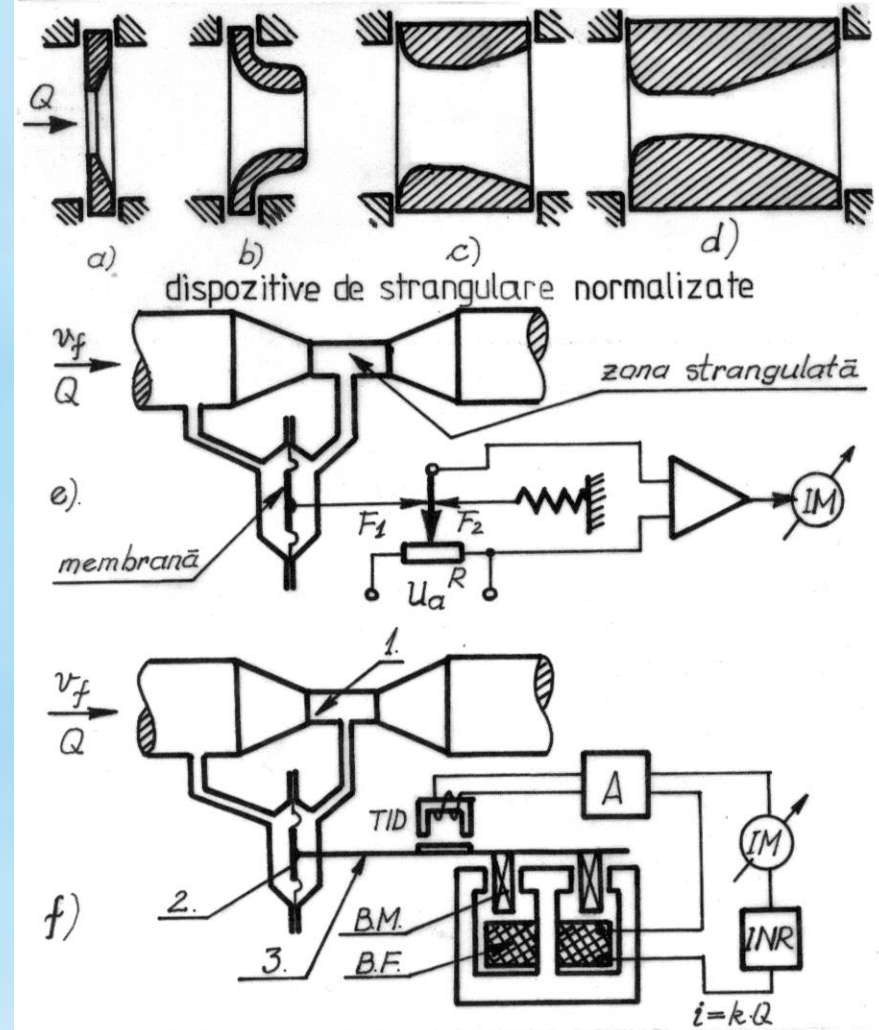
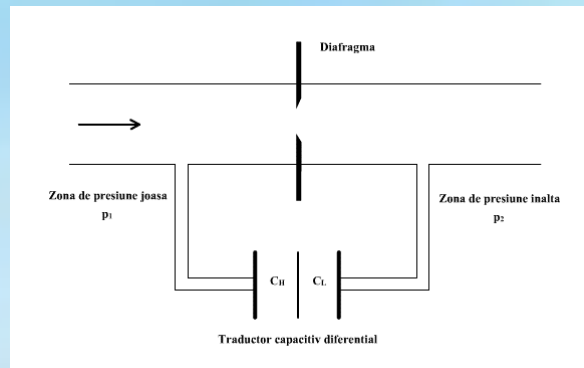
în care p , este presiunea statică a fluidului, perpendicular pe direcția de curgere, ρ , densitatea fluidului, iar v , viteza sa de curgere.

Printr-o îngustare locală a diametrului conductei de curgere a fluidului se realizează o diferență de presiune, respectiv o modificare a vitezei de curgere a fluidului, respectiv apare posibilitatea determinării debitului Q prin secțiunea îngustată pe baza relației:



$$Q = F_1 \sqrt{\frac{2(p_0 - p_1)}{\rho(1 - m^2)}}$$

- în care m , reprezintă raportul F_1/F_0 al secțiunilor transversale ale conductei în cele două zone caracteristice.



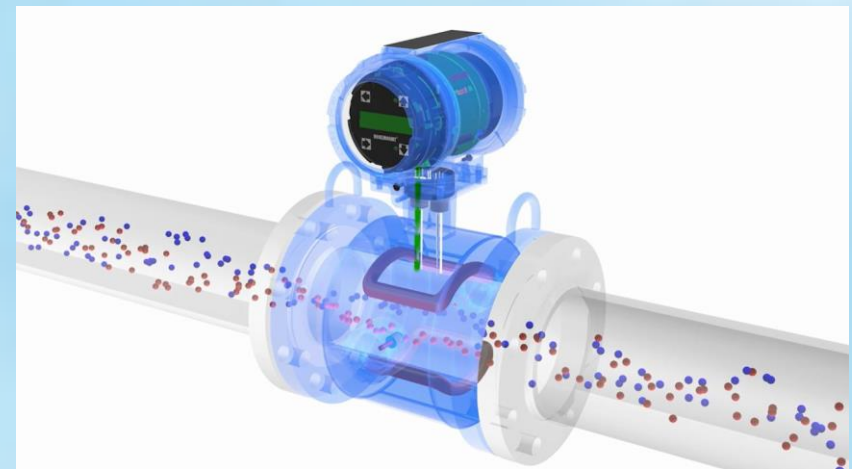
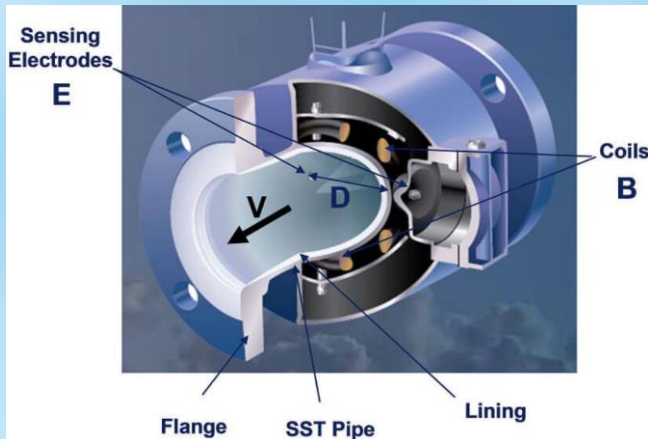
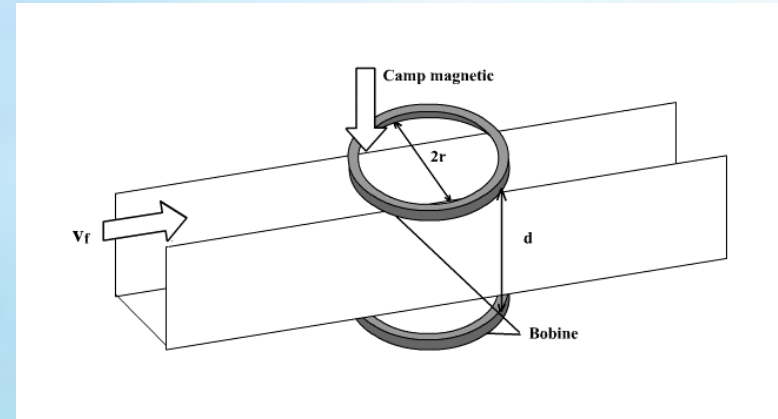
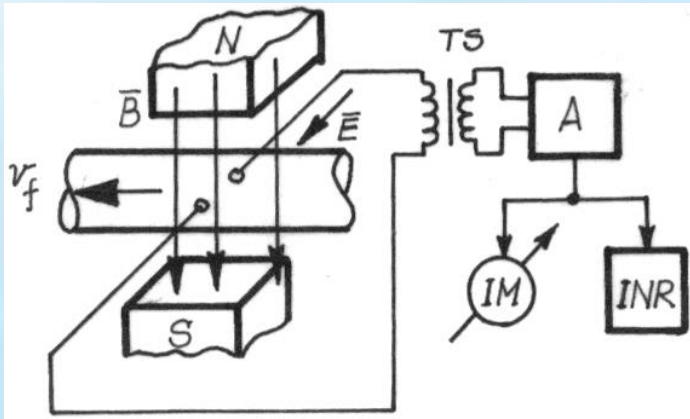
11.3 Debitmetre cu inducție

- într-un conductor ce se deplasează linear cu viteza v_f , într-un câmp magnetic de inducție B , se induce, între două puncte aflate la distanța d , o t.e.m. E de mărime:

$$E = B \cdot v_f \cdot d$$

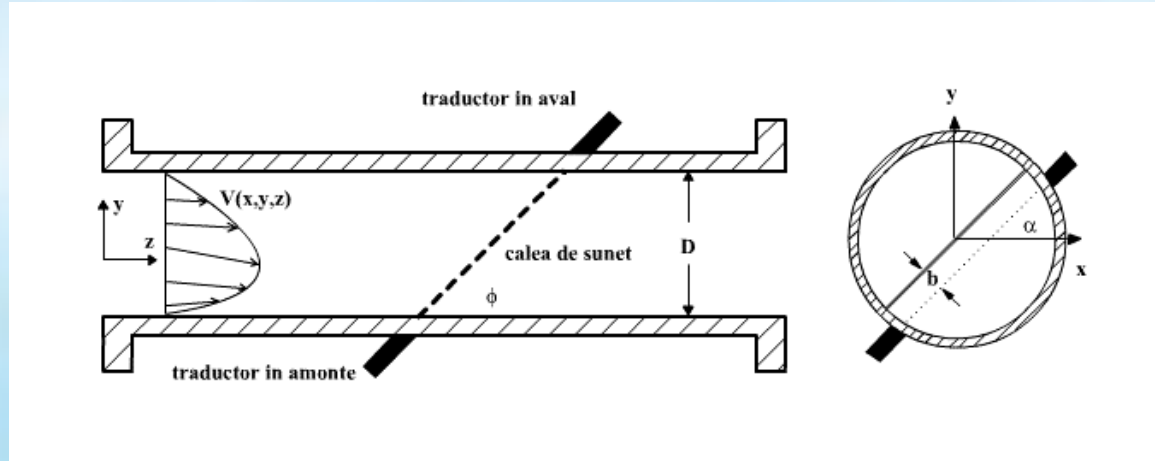
- fluidul joacă rolul conductorului, debitul de volum fiind:

$$Q_v = \frac{jV}{dt} = S \cdot v_f = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{E}{Bd} = \frac{\pi d E}{4B}$$



11.4 Debitmetre cu ultrasunete

- se bazează pe modificarea timpului de propagare a sunetului într-un fluid în mișcare datorită vitezei proprii de deplasare a fluidului.

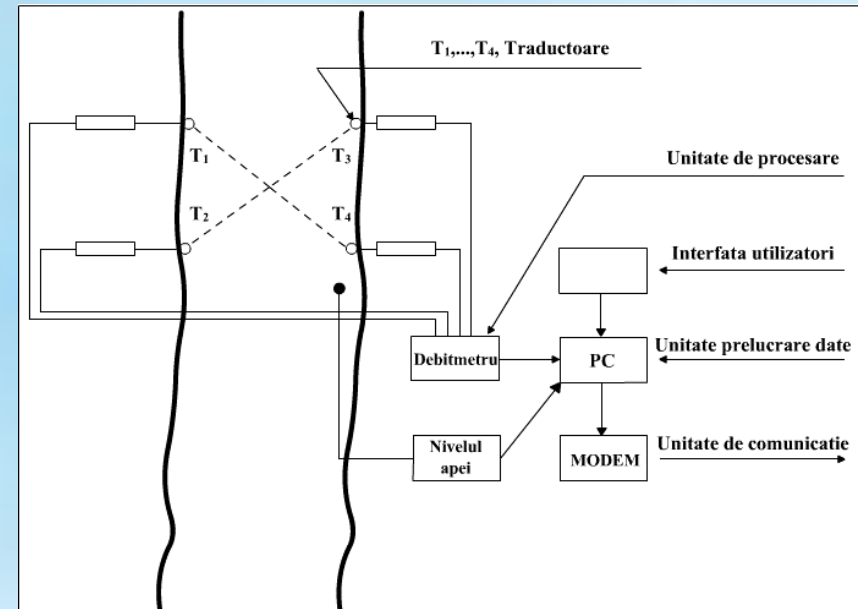


Dacă se consideră: v_s = viteza sunetului în fluid static, v_f = viteza fluidului și $v_s \pm v_f$ este viteza modificată a sunetului prin fluidul în mișcare, atunci, timpul de propagare a sunetului între două sonde, una emițătoare, una receptoare, aflate la distanța, d , una de alta, este:

$$t_1 = \frac{d}{v_s + v_f} \quad \text{și} \quad t_2 = \frac{d}{v_s - v_f}$$

Informația de viteză rezultă din măsurarea diferenței de timp:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \cong \frac{2d}{v_s^2} \cdot v_f \quad (\text{dacă: } v_s \gg v_f)$$

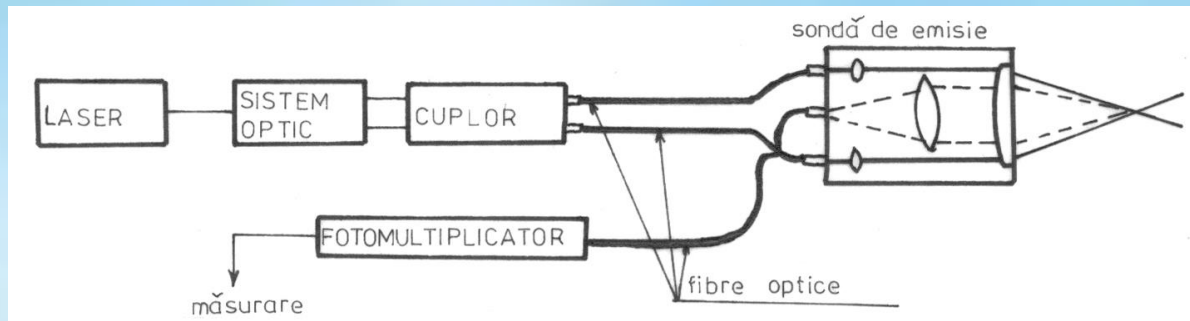
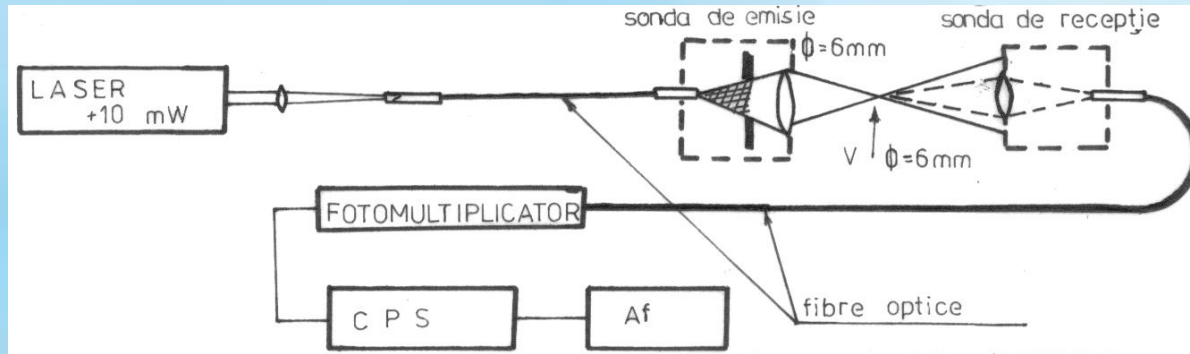
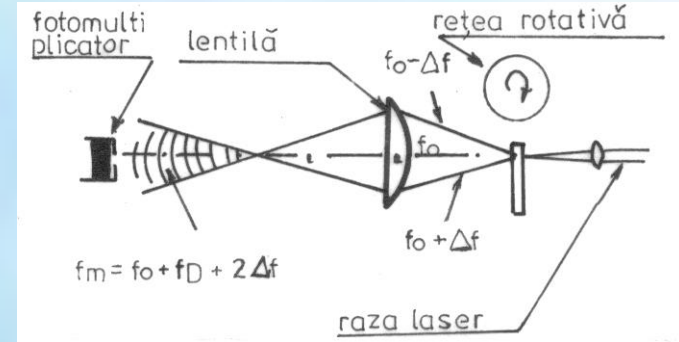
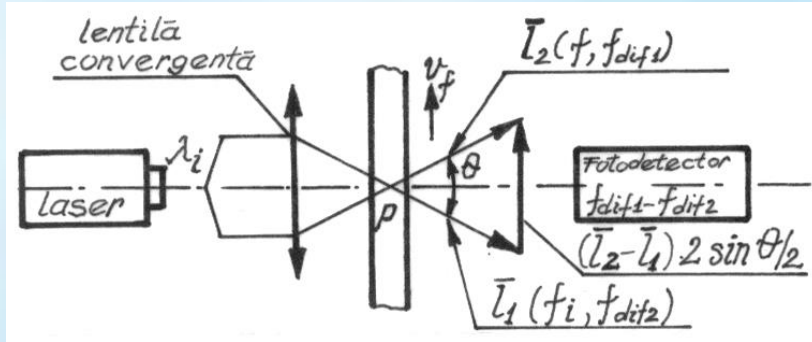


11.5 Debitmetre cu laser

- se utilizează la măsurători de fluide cu curgere turbulentă și se bazează pe următorul fenomen: lumina monocromatică de lungime de undă λ și frecvența f , convergență în punctul P al conductei este difuzată de particula ce trece cu viteză v_f prin acel punct cu unghiul θ , frecvența undei difuzate fiind frecvența Doppler:

$$f_{dif} = f + \frac{1}{\lambda} (l_1 - l_2) \cdot v_f$$

$$f_i = f_{dif} - f = 2 \cdot \frac{v_f}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$$

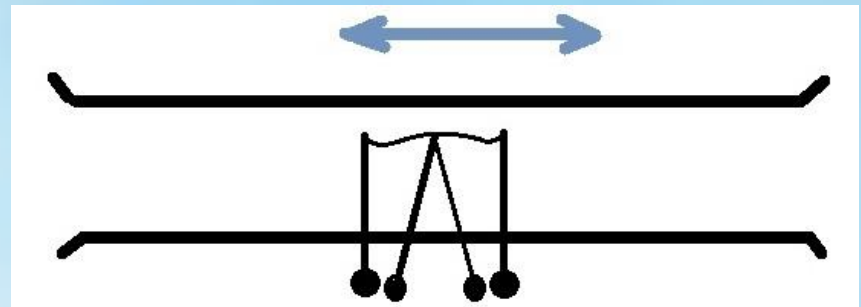
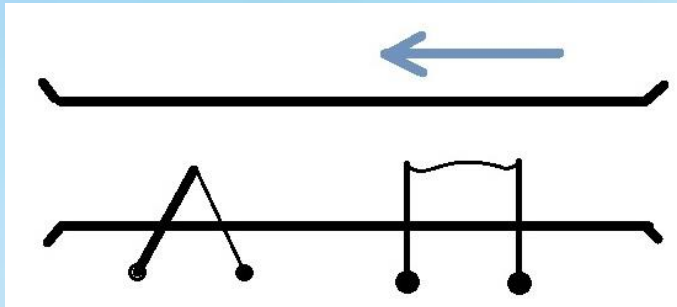
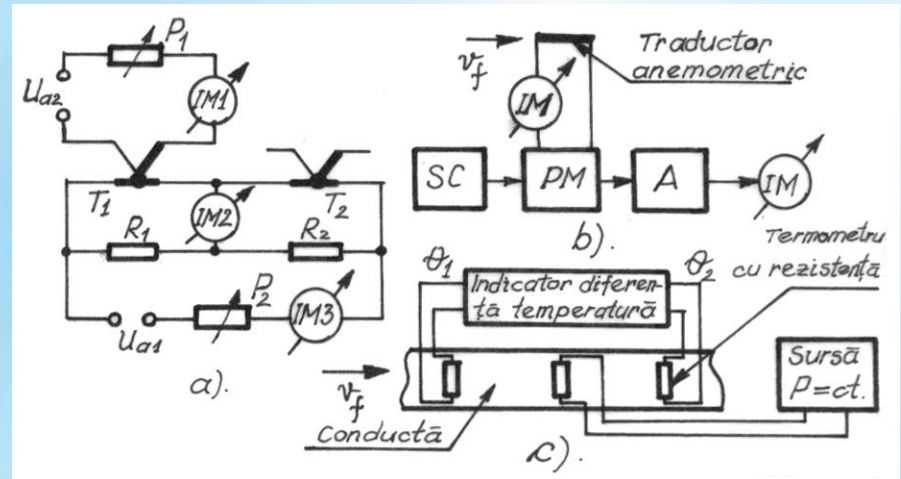
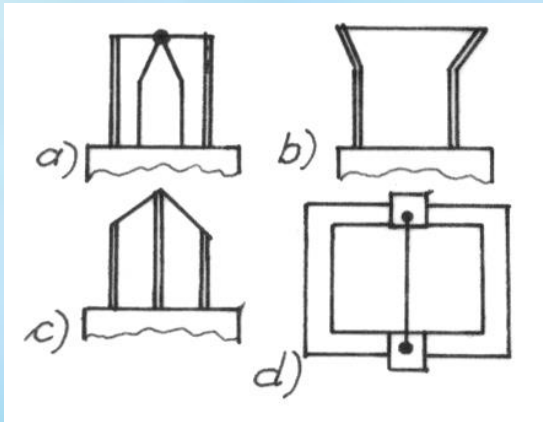


11.6 Debitmetre termice

Din această categorie fac parte anemometrele; principiul de funcționare se poate exprima astfel: un fir (sau o peliculă) rezistivă, sensibilă la temperatură, încălzite prin efect Joule-Lenz și plasate într-un fluid care se află la o temperatură mai joasă, sunt răcite și își modifică rezistența electrică în funcție de viteza v_f a fluidului. În regim staționar, căldura degajată în masa fluidului în unitatea de timp este echivalentă cu puterea electrică consumată în fir, deci se poate scrie:

$$Q = C \cdot S(T_f - T_m) \cdot k_{tr}$$

- în care $C = 0,24$, este echivalentul caloric al curentului electric S , suprafața firului rezistiv, T_f și T_m , temperaturile firului, respectiv mediul ambiant, iar k_{tr} , coeficientul de transfer de căldură fir–mediu.



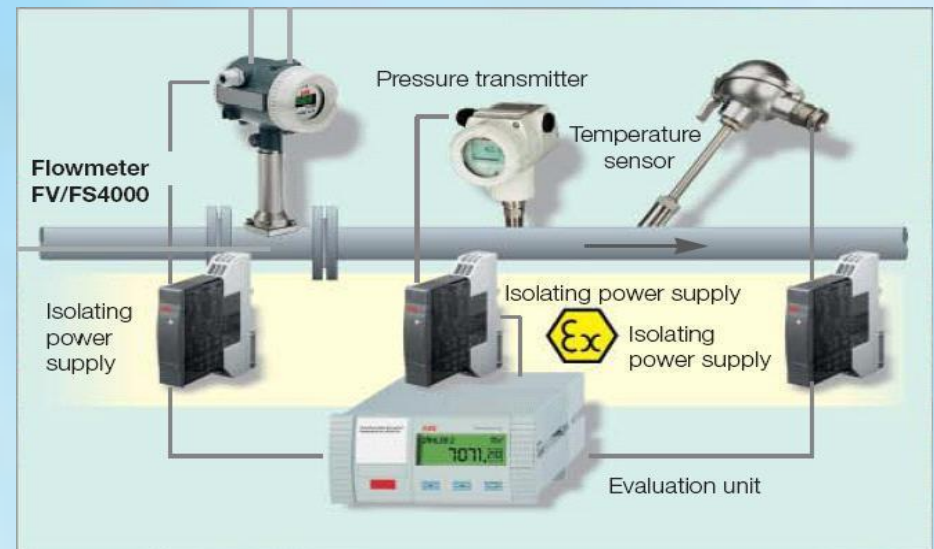
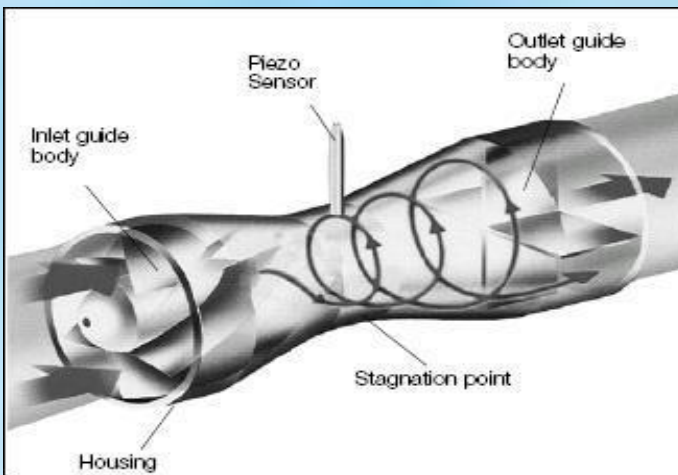
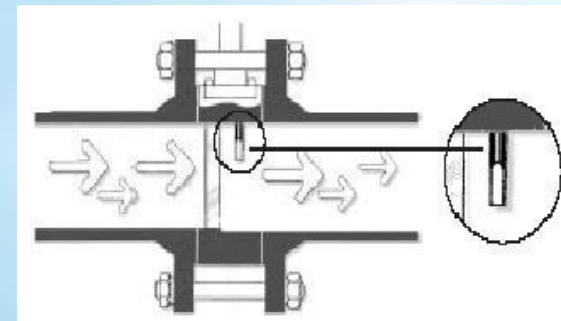
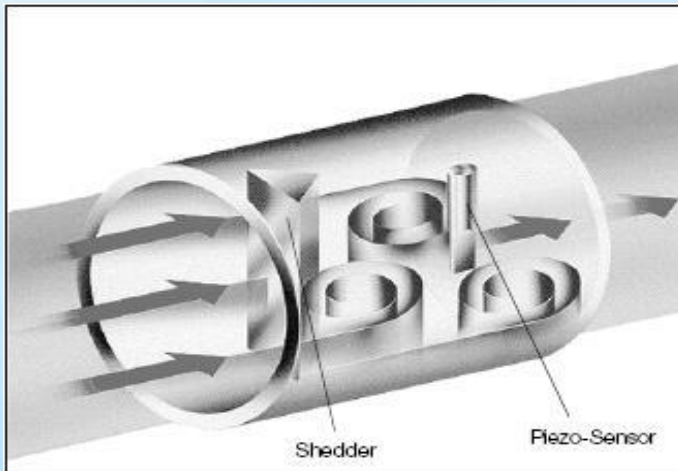
11.7 Debitmetre cu traductoare digitale

Debitmetre care convertesc direct debitul în frecvență. Fenomenele fizice care stau la baza acestora sunt:

- oscilații de natură hidrodinamică ale lichidului în mișcare;
- vibrația unui corp oscilant sub acțiunea curgerii lichidului;
- rotația unei turbine cu ax perpendicular pe direcția de curgere.

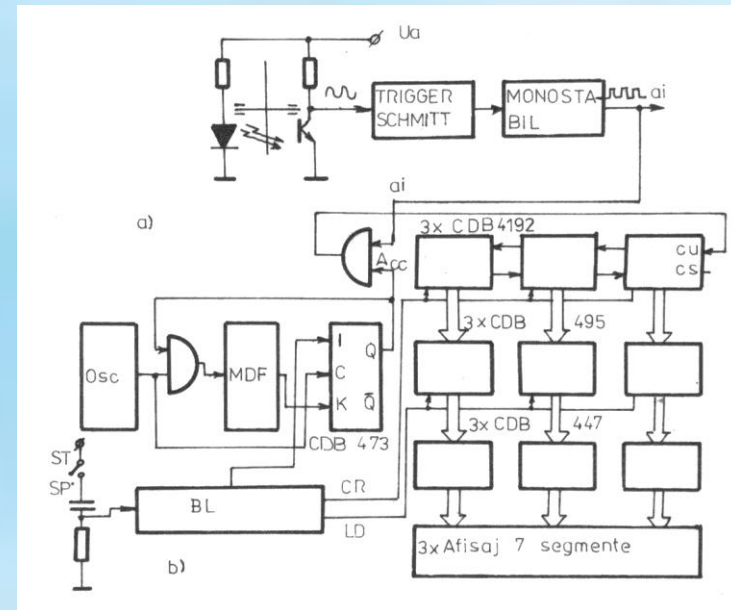
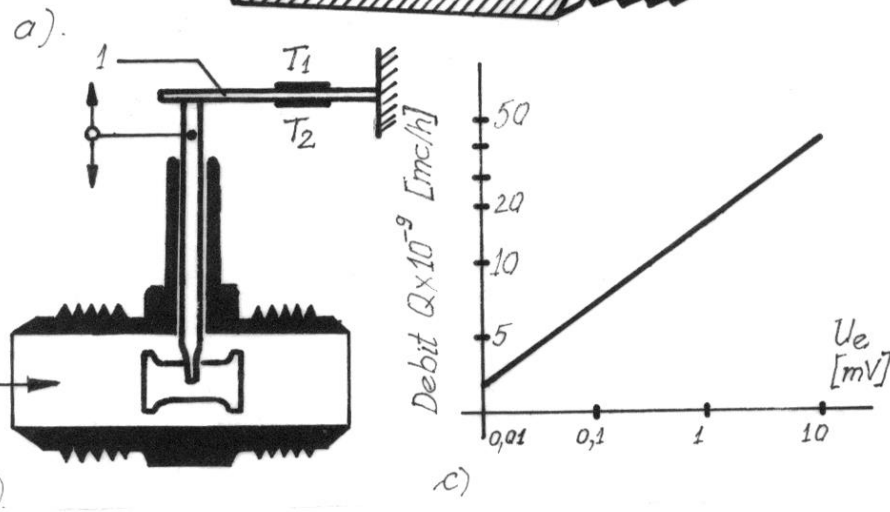
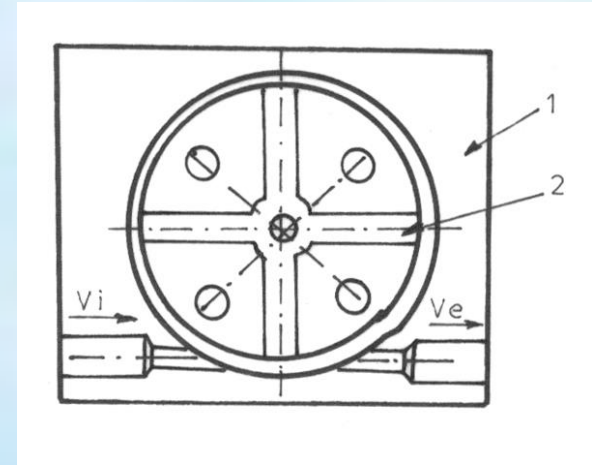
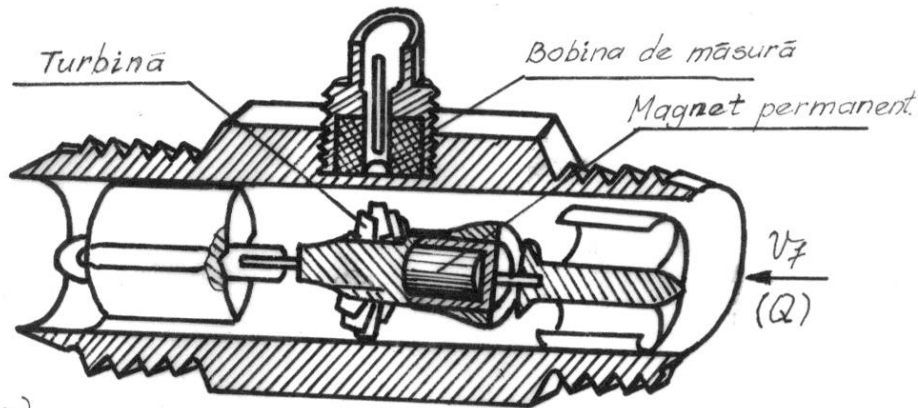
1. Debitmetre cu vârtej

- utilizează fenomenul de apariție a unor vârtejuri când fluidul întâlnește un corp cu fețe simetrice față de direcția de curgere, dar neperalele cu ea.



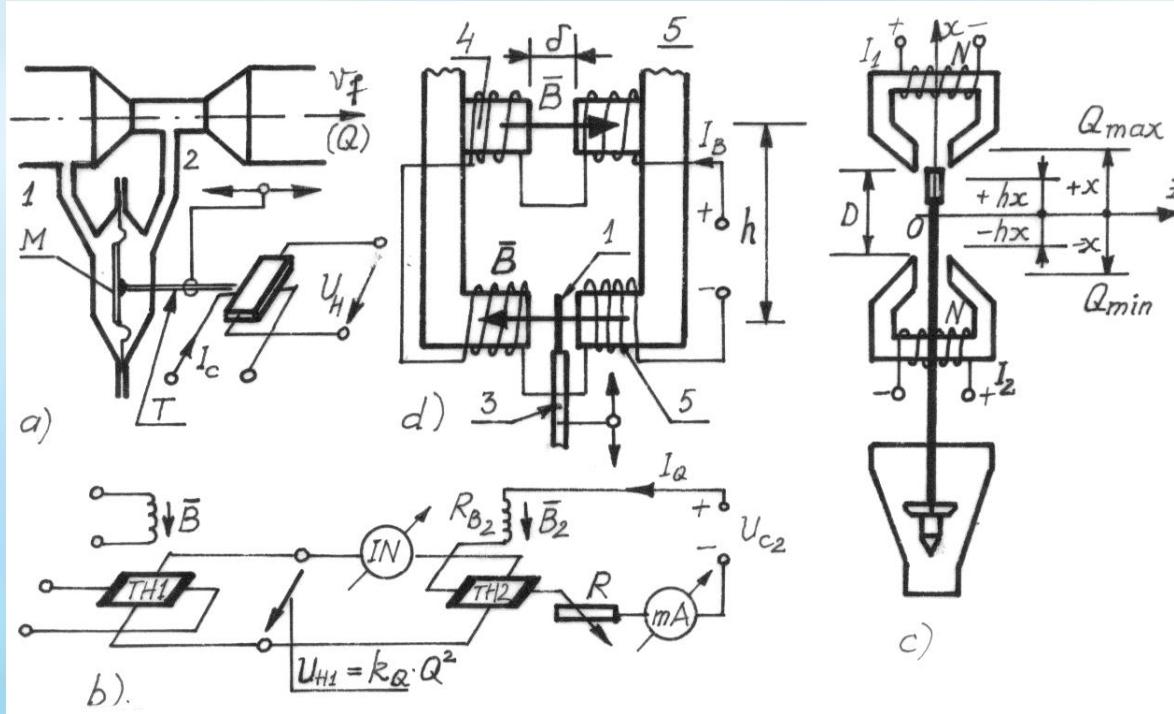
2. Debitmetre cu turbină

- se utilizează în special în medii necorozive întrucât implică amplasarea unor repere mecanice care sunt secționate de fluid și se bazează pe relația liniară dintre turația turbinei amplasată în fluxul fluid și viteza acestuia.



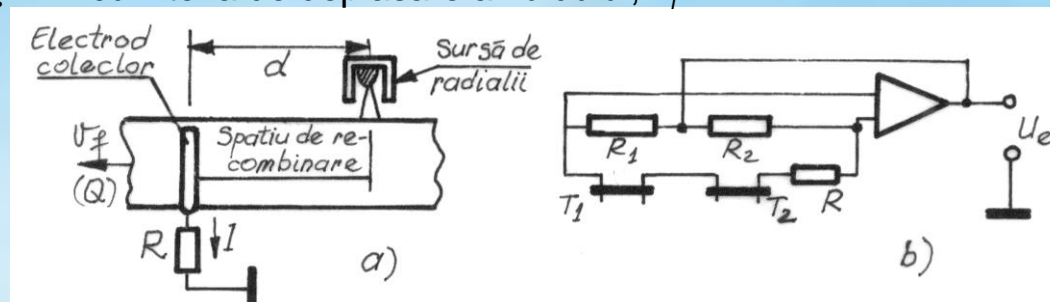
11.8 Debitmetre cu corp plutitor

- viteza de deplasare a fluidului se traduce prin deplasarea pe verticală a unei tije solidară cu un corp plutitor introdus în masa de fluid.



11.9 Debitmetre radiometrice

- se bazează pe măsurarea curentului ionic care apare în fluid la iradierea lui cu radiații α , β sau γ și care scade în timp pe măsura recombinării ionilor. Acest curent ionic, detectat la o distanță, d , față de sursa de radiații, este proporțional cu viteza de deplasare a fluidului, v_f .



Cursul XII

Măsurarea vibrațiilor și șocurilor mecanice

12.1 Noțiuni generale asupra șocurilor și vibrațiilor

12.2 Traductoare și senzori pentru măsurarea șocurilor și vibrațiilor

12.3 Etalonarea aparatelor pentru măsurarea șocurilor și a vibrațiilor

12.4 Factori de influență în măsurarea șocurilor și a vibrațiilor

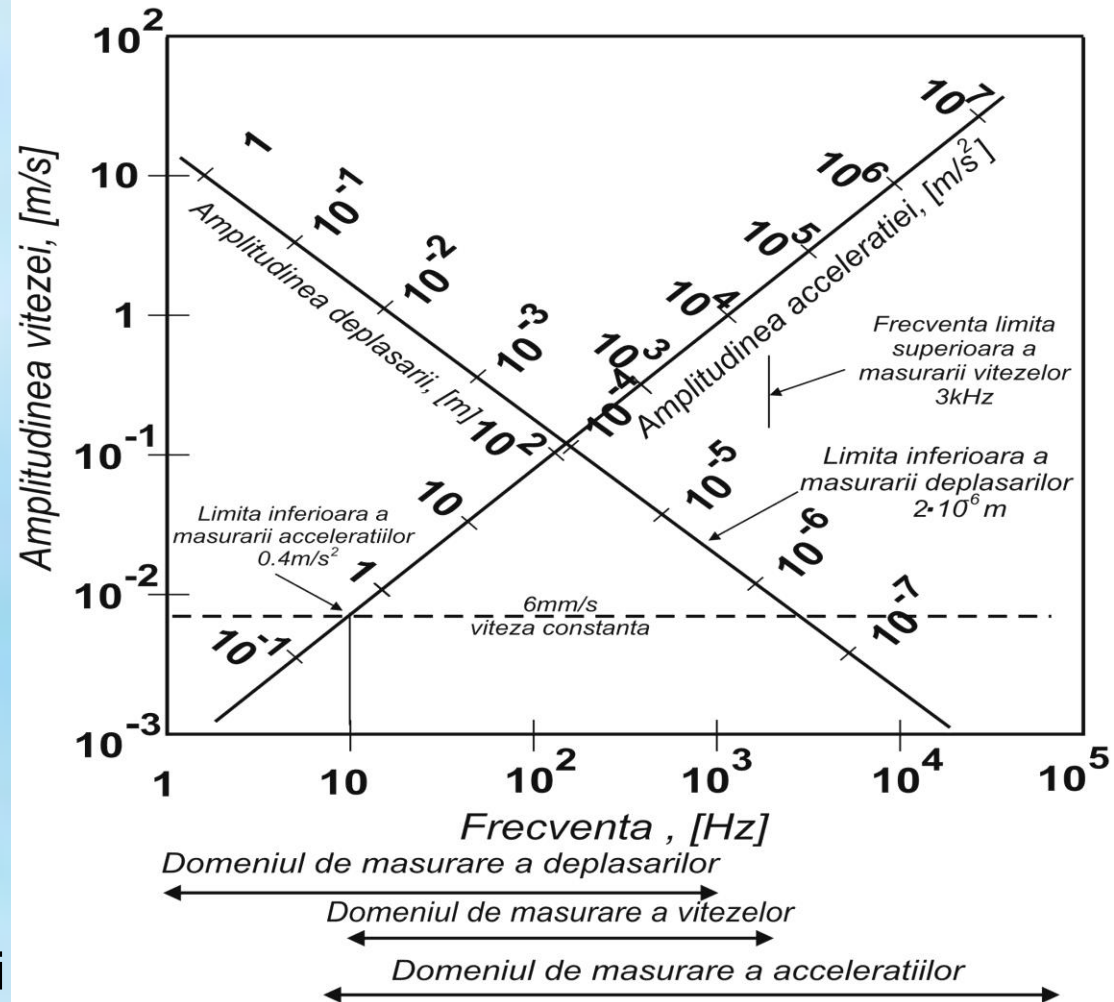
12.1 Noțiuni generale asupra șocurilor și vibrațiilor

<i>VIBRAȚIA</i>	<i>ȘOCUL</i>
<ul style="list-style-type: none">- noțiune care descrie oscilația unui sistem	<ul style="list-style-type: none">- o formă specifică de vibrație- excitația nu este periodică (impuls, vibrație în trepte, vibrație tranzitorie)- definește un fenomen rapid și de intensitate mare
<ul style="list-style-type: none">- caracterizată de frecvență sau amplitudine	<ul style="list-style-type: none">- mișcarea sistemului depinde atât de frecvența șocului, cât și de frecvența proprie a sistemului
<ul style="list-style-type: none">- liberă (rezultatul unei perturbații inițiale)- forțată (sistemul primește încontinuu energie pentru a o compensa amortizarea)	<ul style="list-style-type: none">- șocul mecanic – excitație aperiodică a unui sistem mecanic, caracterizat prin viteză, intensitate mare, produce deplasări în sistem

Principii generale în măsurarea șocurilor și vibrațiilor

Se măsoară:

- deplasare (frecvențe joase)
- viteză
- accelerație (frecvențe înalte)



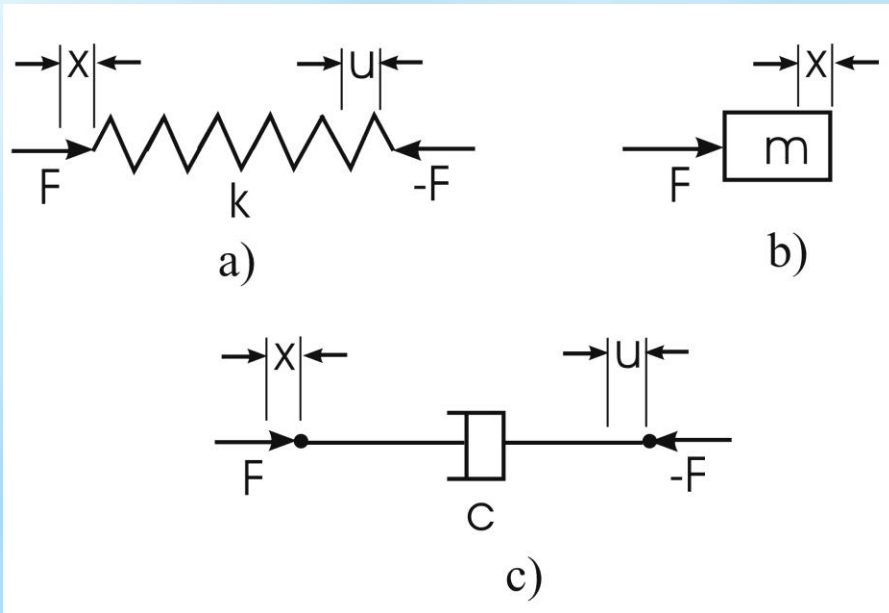
Se urmărește:

- identificarea frecvențelor proprii
- măsurarea caracteristicilor dinamice ale sistemului: amortizări, rigidități, mase echivalente
- compararea valorilor calculate ale răspunsului cu cele măsurate
- stabilirea unui model matematic

Vibrațiile sistemelor cu un singur grad de libertate

Părțile componente ale unui sistem oscilant

- elemente care acumulează energie potențială - element elastic liniar
- elemente care acumulează energie cinetică - masă rigidă
- elemente în care are loc o pierdere continuă de energie - amortizor vâscos



- variația lungimii este proporțională cu forța

$$F = k(x - u)$$

- accelerația este proporțională cu rezultanta forțelor

$$F = m \cdot \ddot{x}$$

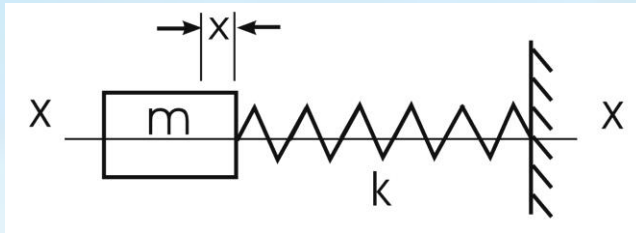
- forța proporțională cu viteza relativă între punctele de fixare

$$F = c(\dot{x} - \dot{u})$$

Vibrația = schimbare periodică a energiei.

Vibrația amortizată - pierdere de energie la fiecare ciclu al mișcării

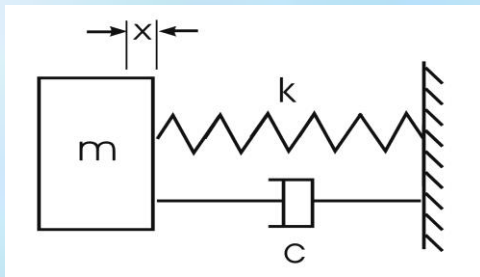
Vibrația liberă fără amortizare



- nu intervin factori exteriori în vibrație

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

Vibrația liberă cu amortizare vâscoasă



$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

- soluția diferă în funcție de ζ - fracțiunea din amortizarea critică

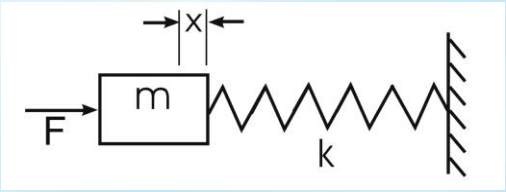
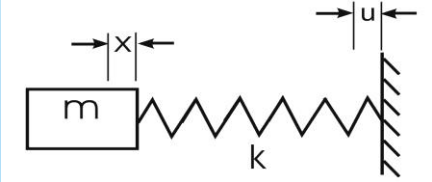
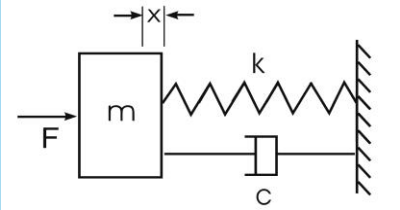
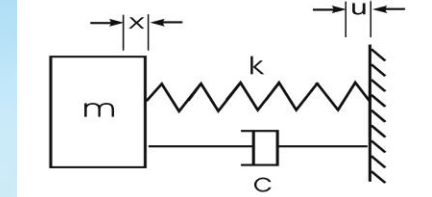
$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$

$c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n$ - coeficientul de amortizare critic

$\zeta < 1$ - amortizare subcritică

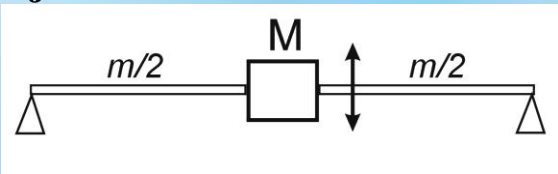
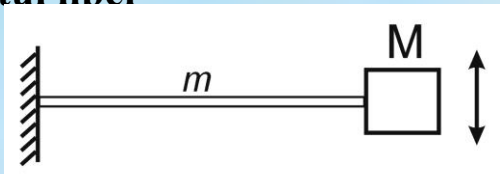
$\zeta = 1$ - amortizare critică

$\zeta > 1$ - amortizare supracritică

Tipul vibrației	Modul de aplicare a forței/mișcării	Forța transmisă	Transmisibilitatea
Fără amortizare	<p>Forța aplicată masei</p> 	$F_t = kx$	$T = F_t / F = \frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_n^2}$
	<p>Mișcarea aplicată suportului</p>  <p>$u = u_0 \sin \omega t$</p>		$T = \frac{x_0}{u_0} = \frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_n^2}$
Cu amortizare vâscoasă	<p>Forța aplicată masei</p> 	$F_T = c\dot{x} + kx$	$\frac{F_T}{F_0} = T \sin(\omega t - \theta)$
	<p>Mișcarea aplicată suportului</p>  <p>$u = u_0 \sin \omega t$</p>		$x / u_0 = T \cdot \sin(\omega t - \theta)$

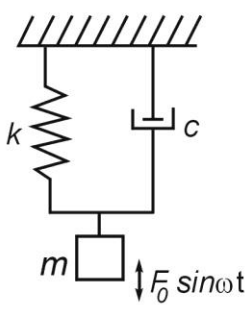
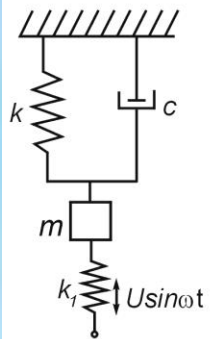
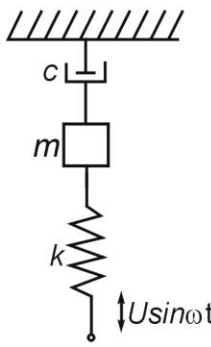
Vibrațiile liniare ale sistemelor cu masă și elasticitate distribuită

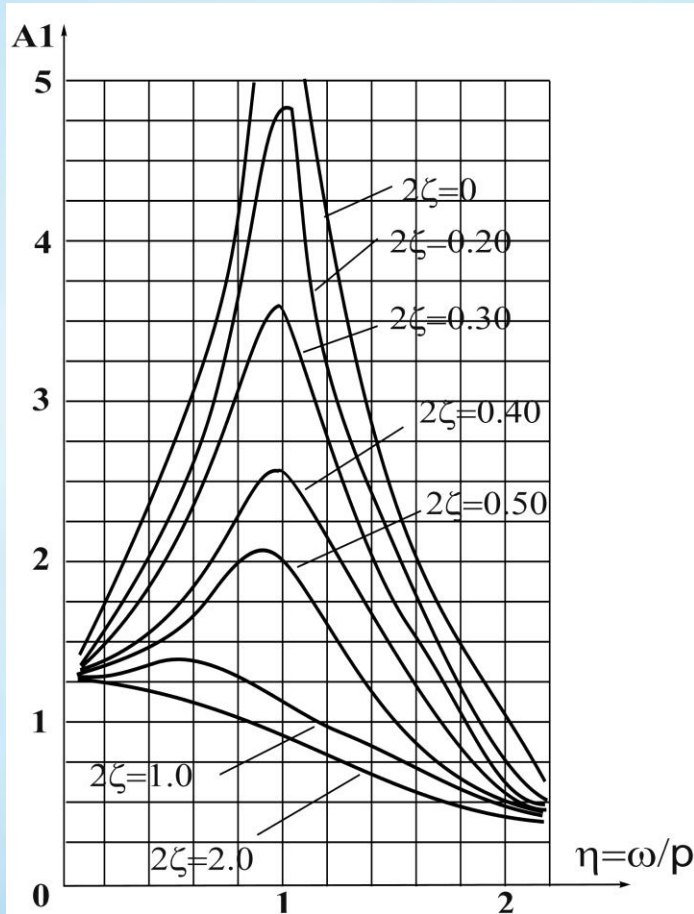
- sistem cu parametri distribuiți ~ număr infinit de grade de libertate
- vibrații longitudinale, de răsucire și transversale
- bare de secțiune constantă, grinzi drepte, grinzi cu mase atașate, plăci
- soluționarea problemei:- teoretic - determinarea frecvențelor proprii de oscilație
- practic - determinarea frecvențelor semnificative

Tipul sistemului	Pulsația proprie fundamentală	Constanta elastică
<p>Grindă simplu rezemată cu o masă la mijloc</p> 	$\sqrt{\frac{k}{M + m/2}}$	$k = \frac{48 \cdot E \cdot I}{l^3}$
<p>Grindă în consolă cu o masă la capătul liber</p> 	$\sqrt{\frac{k}{M + 0.23 \cdot m}}$	$k = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3}$

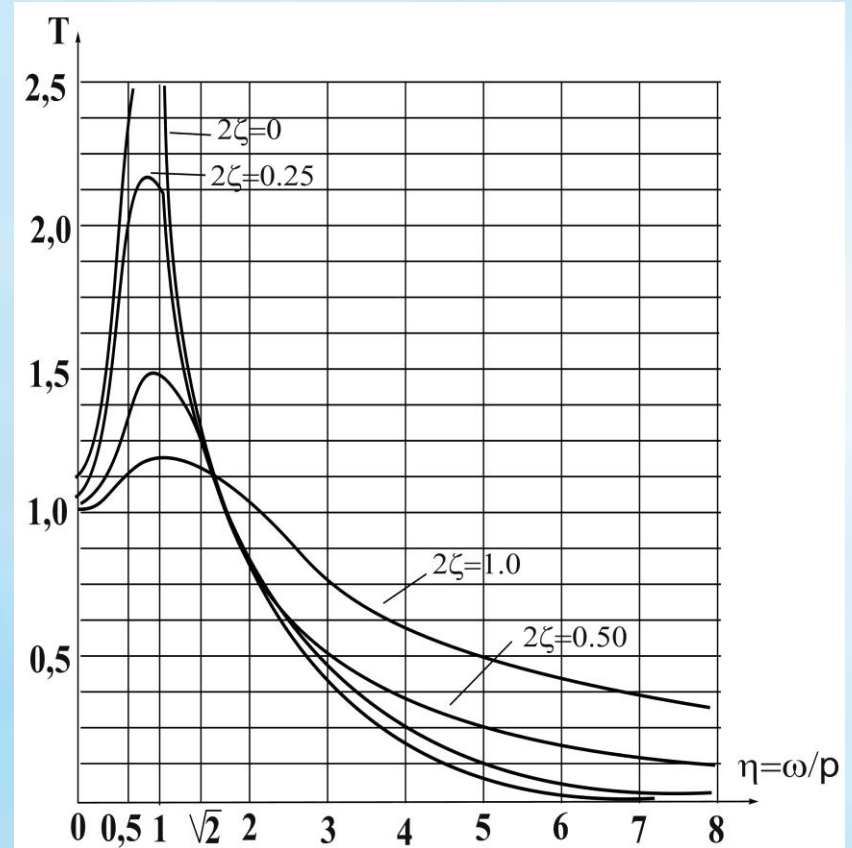
l – lungimea grinzii
 I – momentul de inerție
 E – modulul de elasticitate

Răspunsul sistemelor oscilante la o excitație armonică

Excitația	Schema sistemului oscilant	Amplitudinea de răspuns a sistemului
<p><i>Forță armonică de amplitudine constantă, aplicată masei</i></p>		$X_0 = \frac{F_0}{k} A_1$ <p>- A_1 – factorul de amplificare</p>
<p><i>Deplasare armonică, aplicată prin intermediul arcului secundar k_1</i></p>		$X_0 = \frac{k_1}{k + k_1} UA_1$
<p><i>Deplasare aplicată prin intermediul arcului</i></p>		$X_0 = UA_1$



$$A_1 = \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}}$$



$$T = \frac{F_{T_0}}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\eta)^2}{(1-\eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}}$$

- ζ - fracțiunea din amortizarea critică

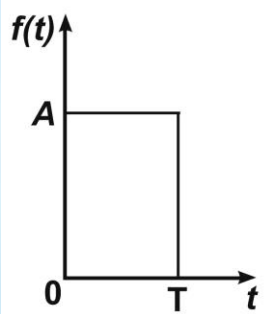
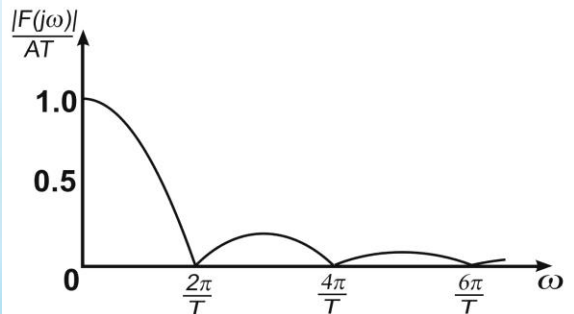
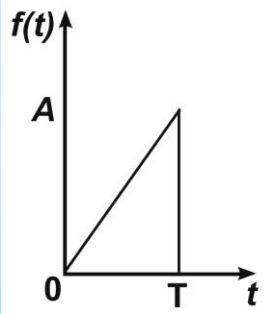
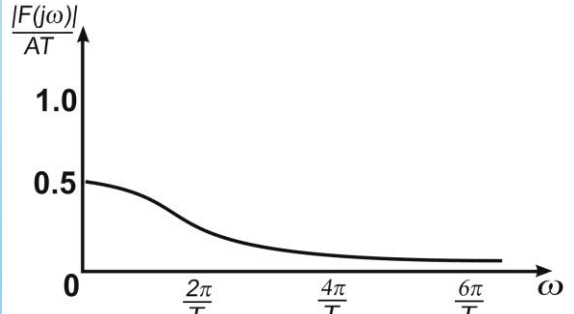
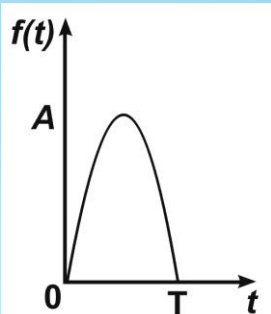
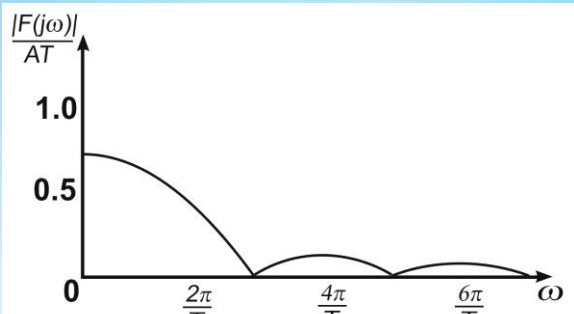
- T – transmisibilitatea

- $\eta = \frac{\omega}{p}$ - unde ω -pulsatia perturbatoaresuportului)
 p -pulsatia proprie

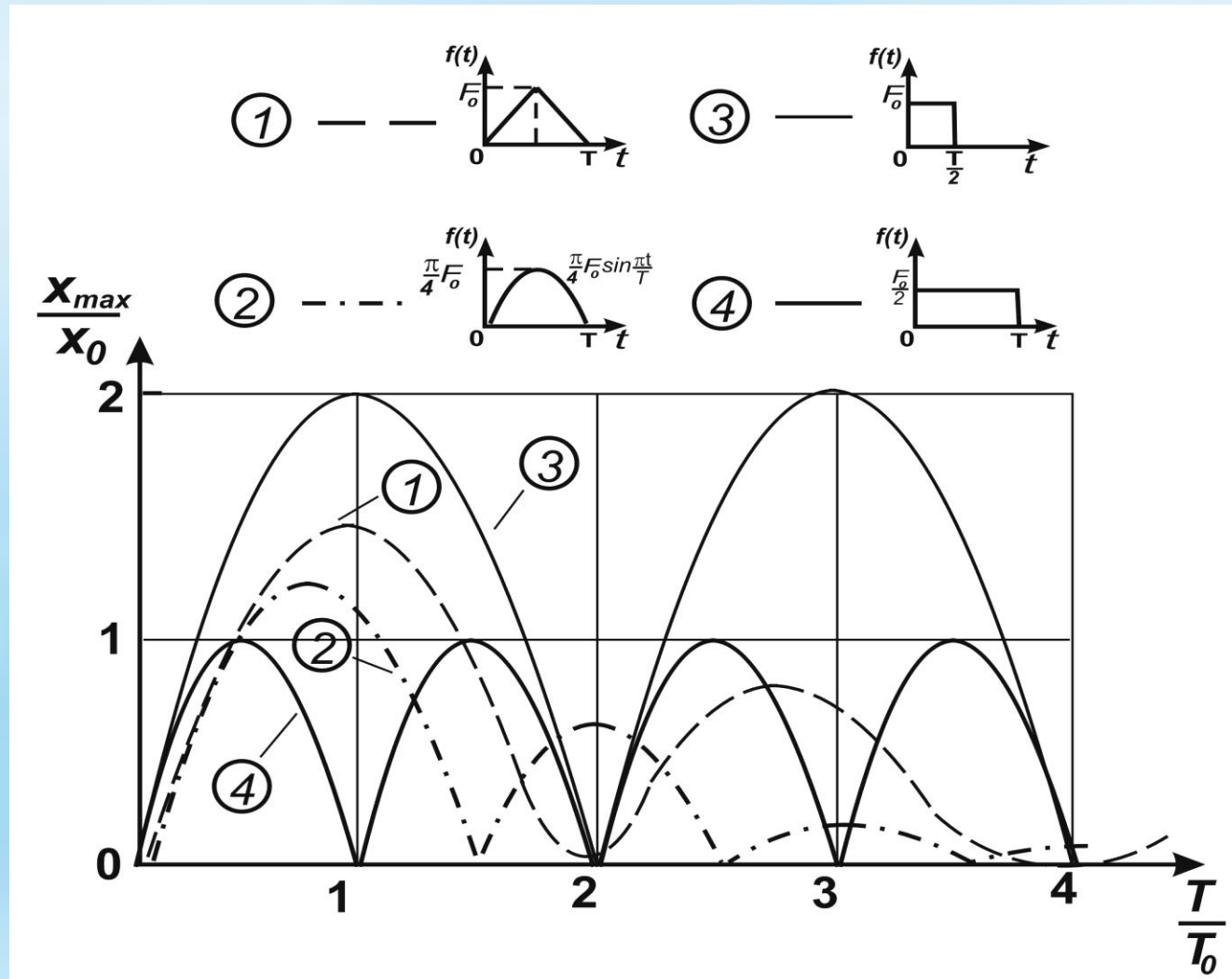
- F_{T_0} – forța de ieșire (transmisă

- F_0 – forța de intrare

Răspunsul sistemelor oscilante la excitație prin șoc

Forma de undă	Spectrul de pulsații	Ecuația spectrului de pulsații al șocului
		$\frac{ F(i\omega) }{AT} = \left \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} \right $
		$\frac{ F(i\omega) }{AT} = \frac{1}{\omega T} \sqrt{1 - \frac{2 \sin \omega T}{\omega T} + \left(\frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} \right)^2}$
		$\frac{ F(i\omega) }{AT} = \frac{2}{\pi} \left \frac{\cos \frac{\omega T}{2}}{1 - \left(\frac{\omega T}{2} \right)^2} \right $

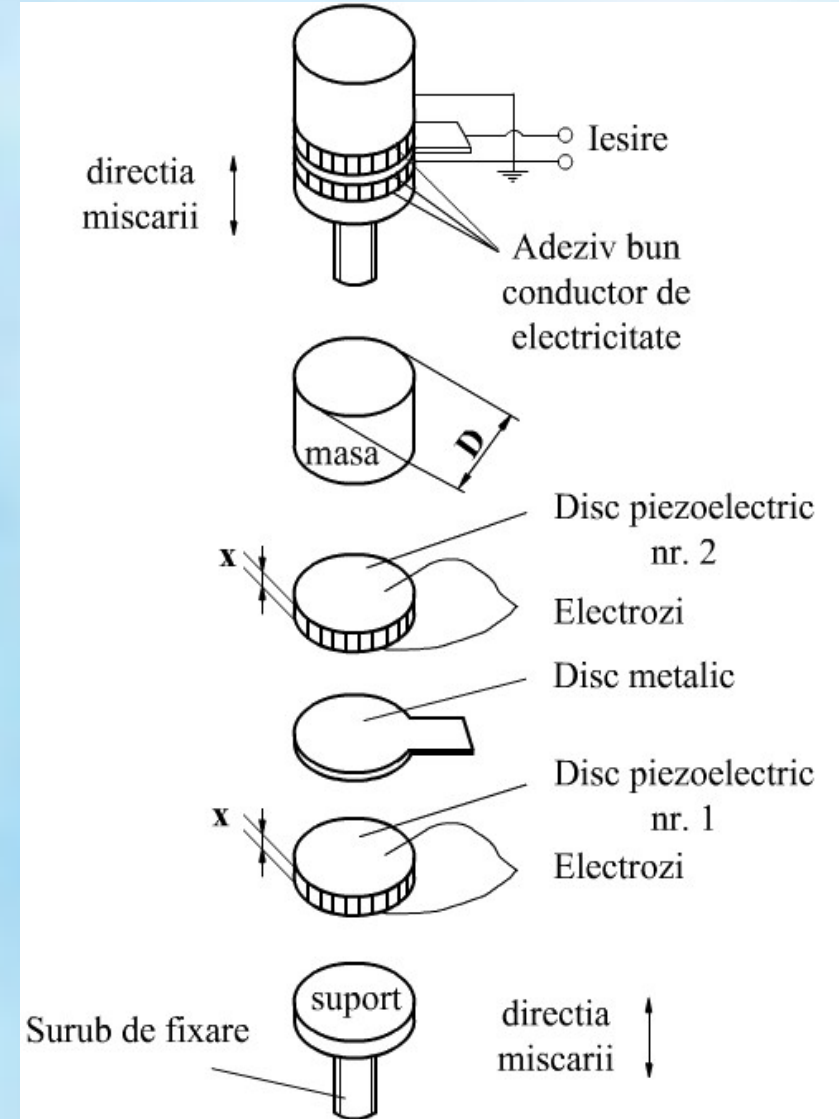
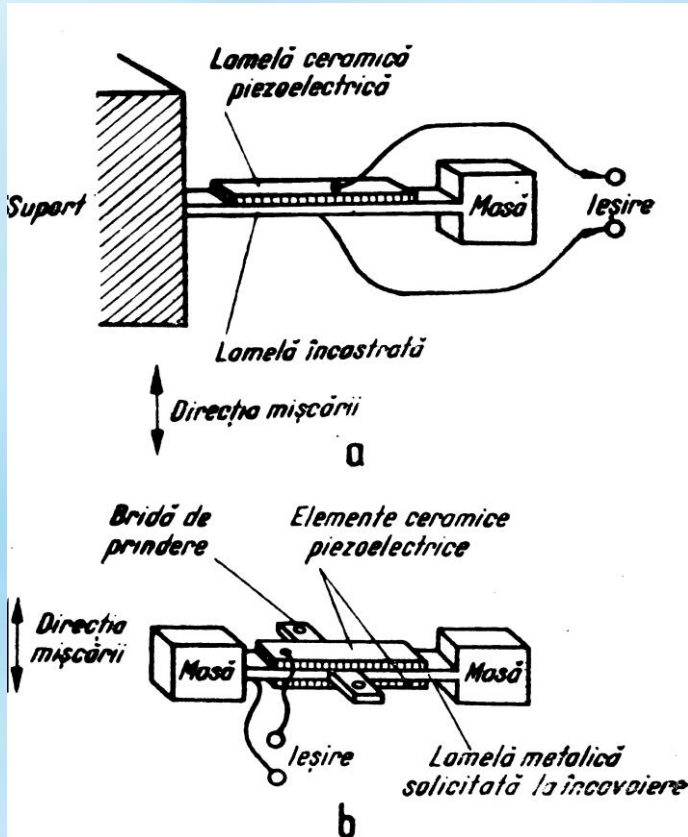
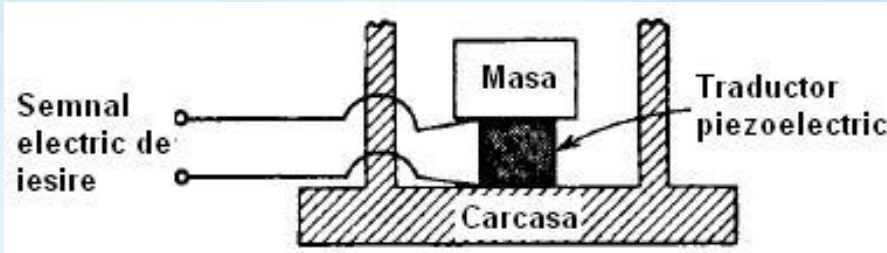
Răspunsul rezidual (șocul rezidual) – faza mișcării ce se desfășoară după încetarea acțiunii impulsului



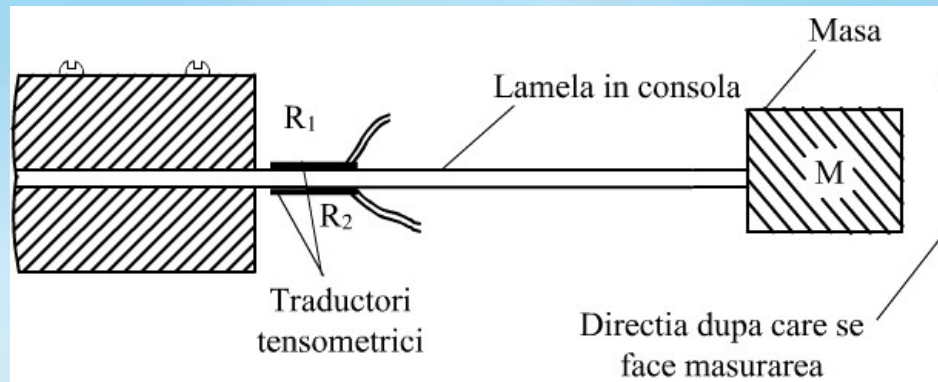
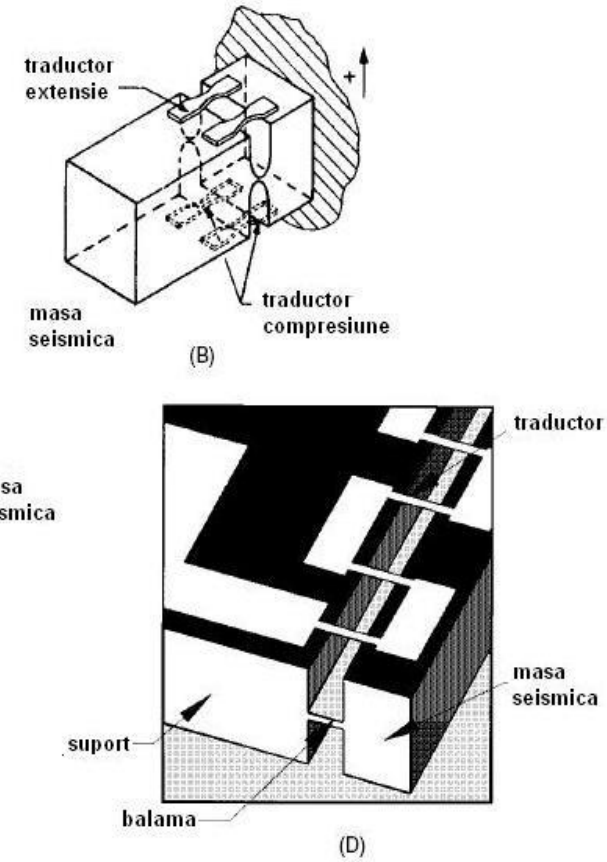
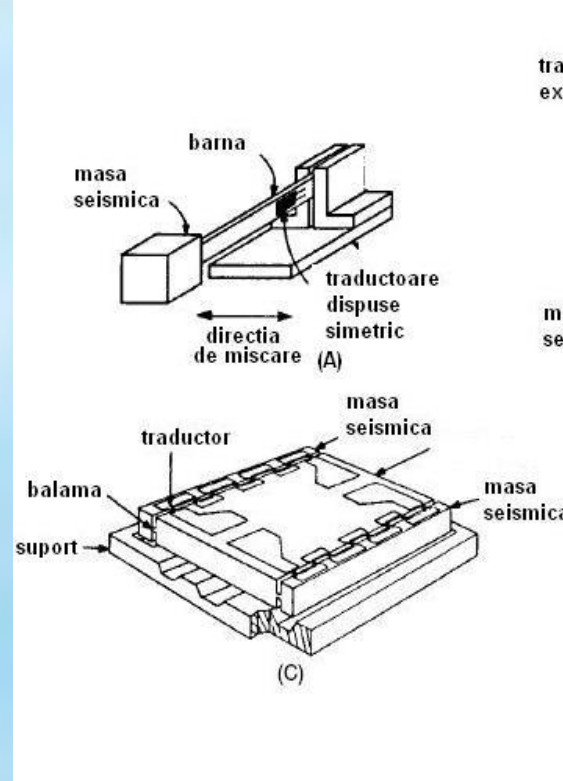
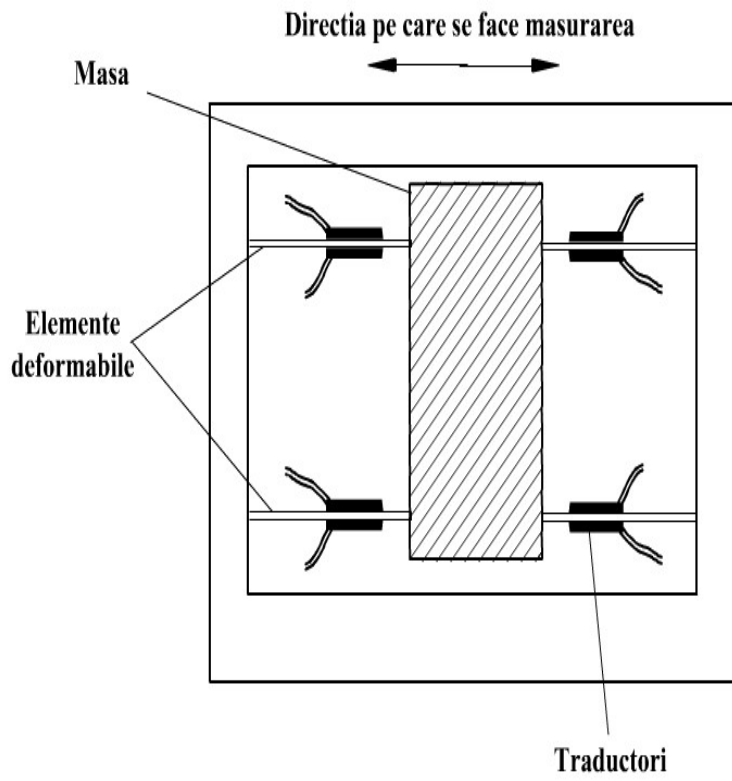
Spectrul de șoc - compară „severitatea” diferitelor șocuri
- compară răspunsul sistemelor diferite la același șoc

12.2 Traductoare și senzori pentru măsurarea șocurilor și vibrațiilor

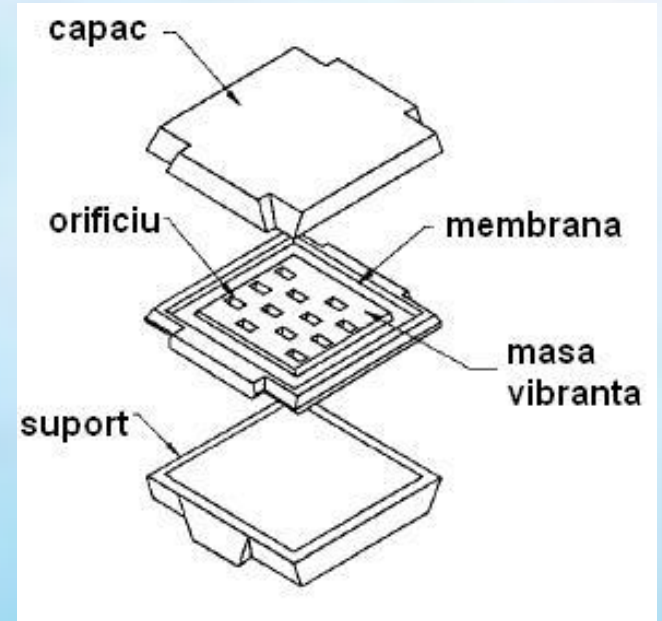
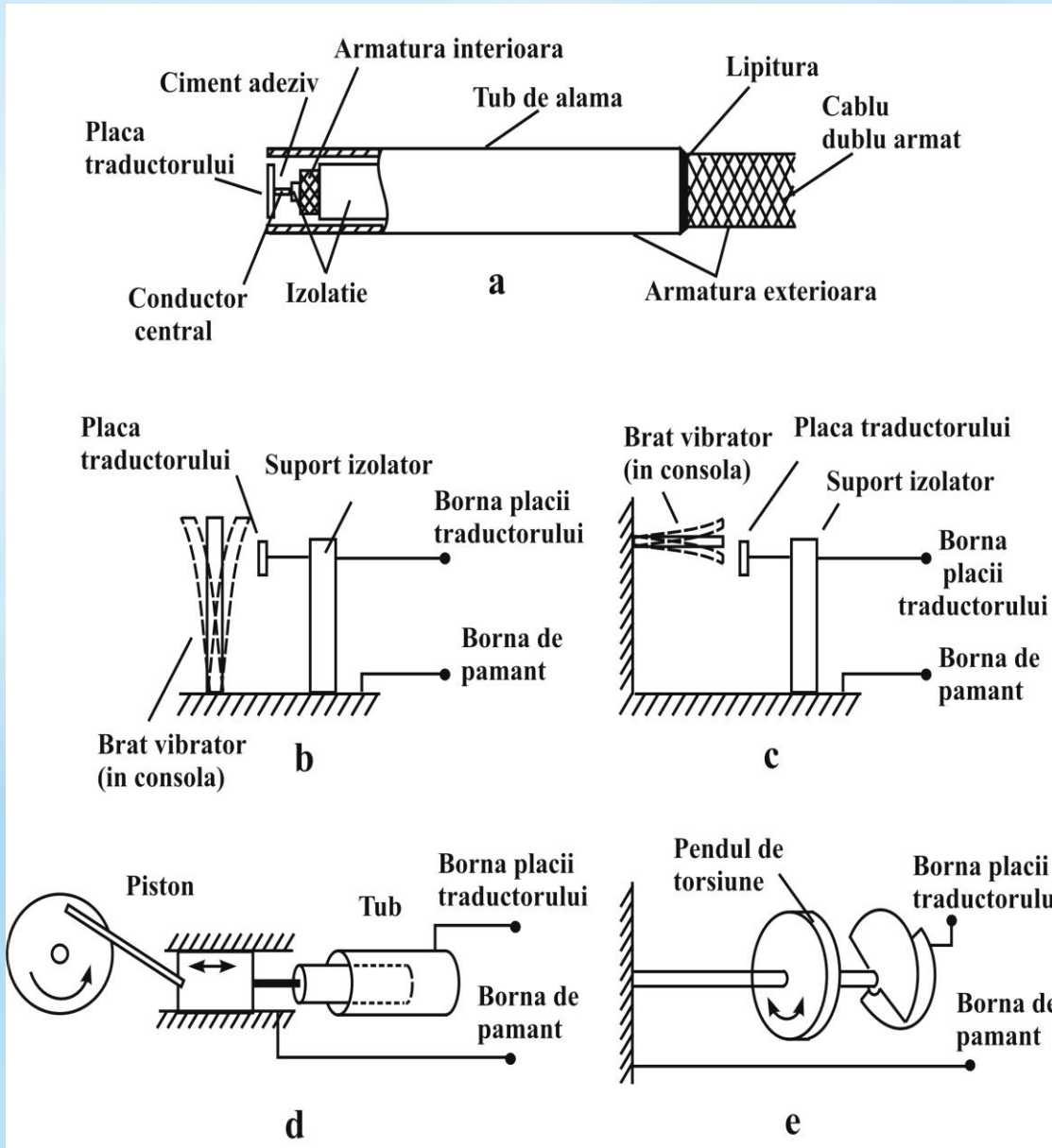
Traductoare piezoelectrice



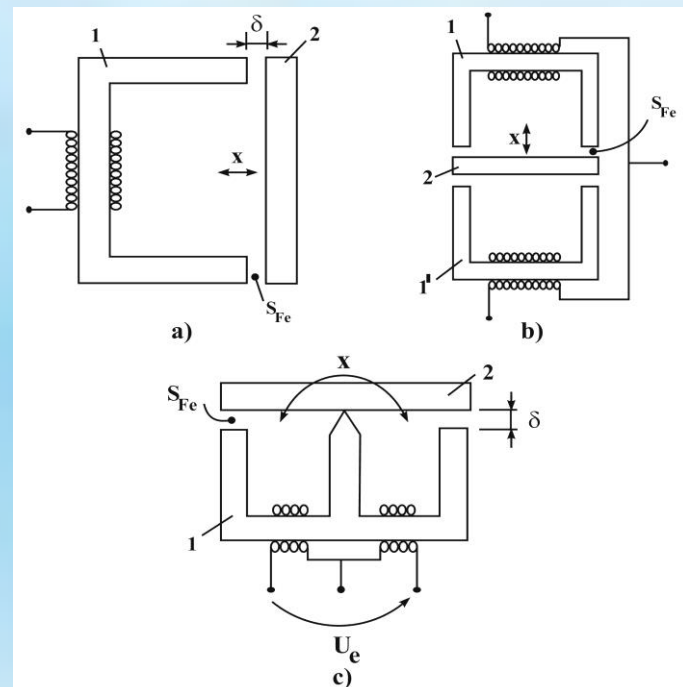
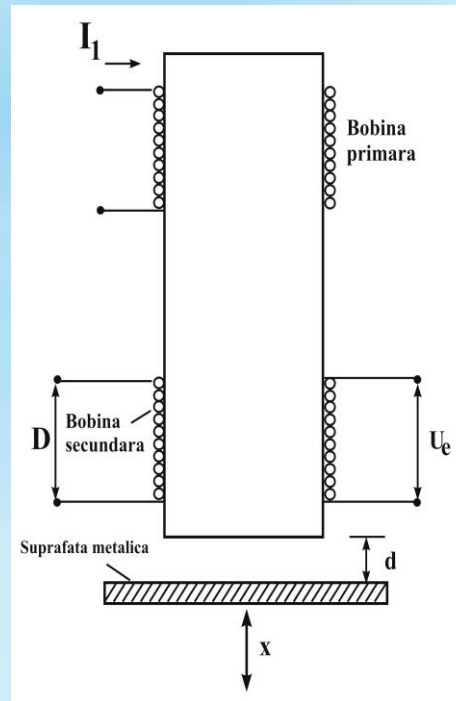
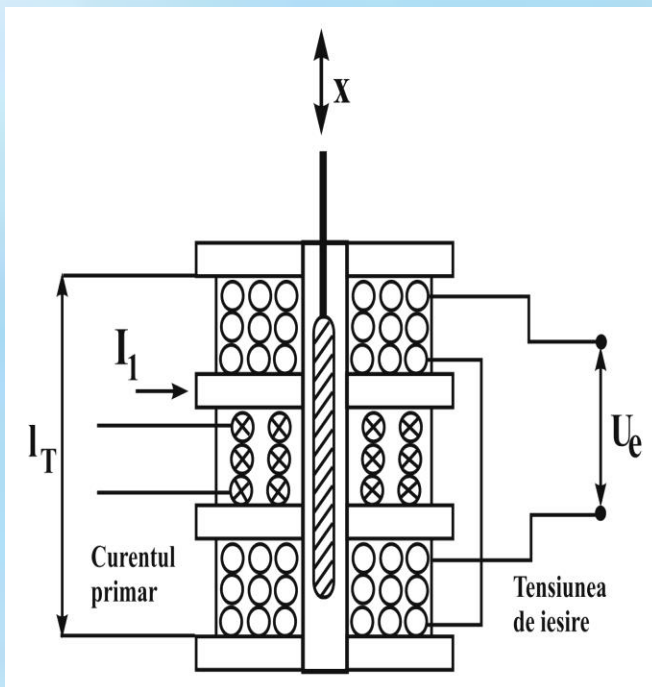
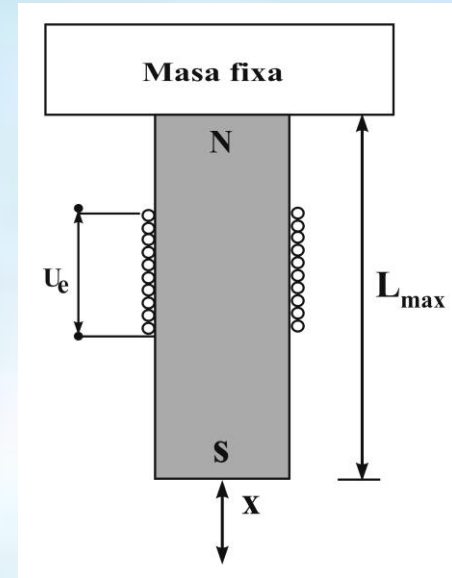
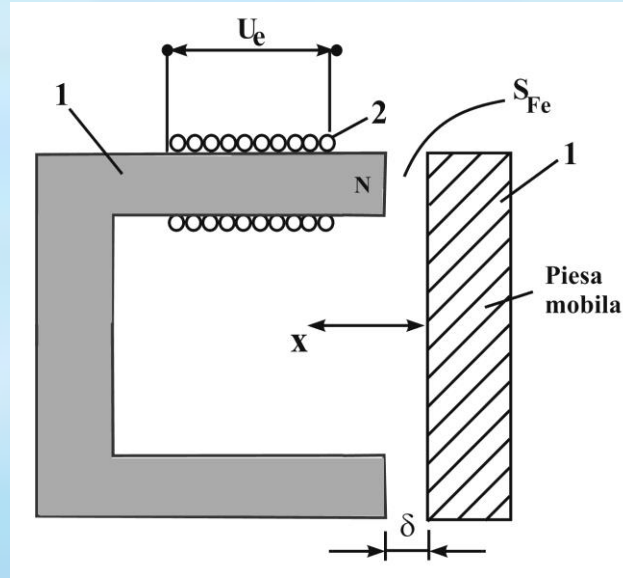
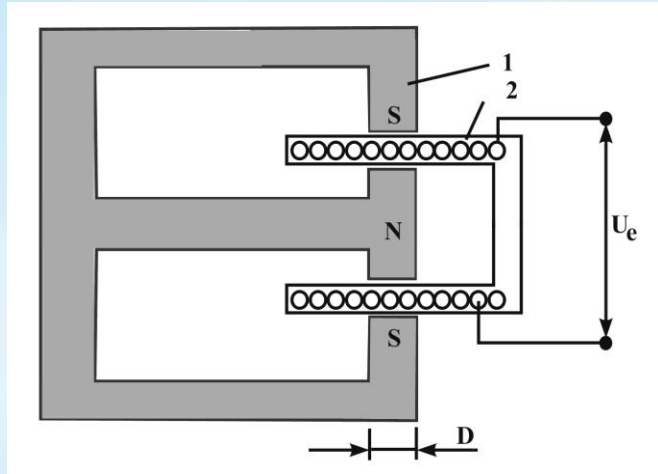
Transectoare piezorezistive



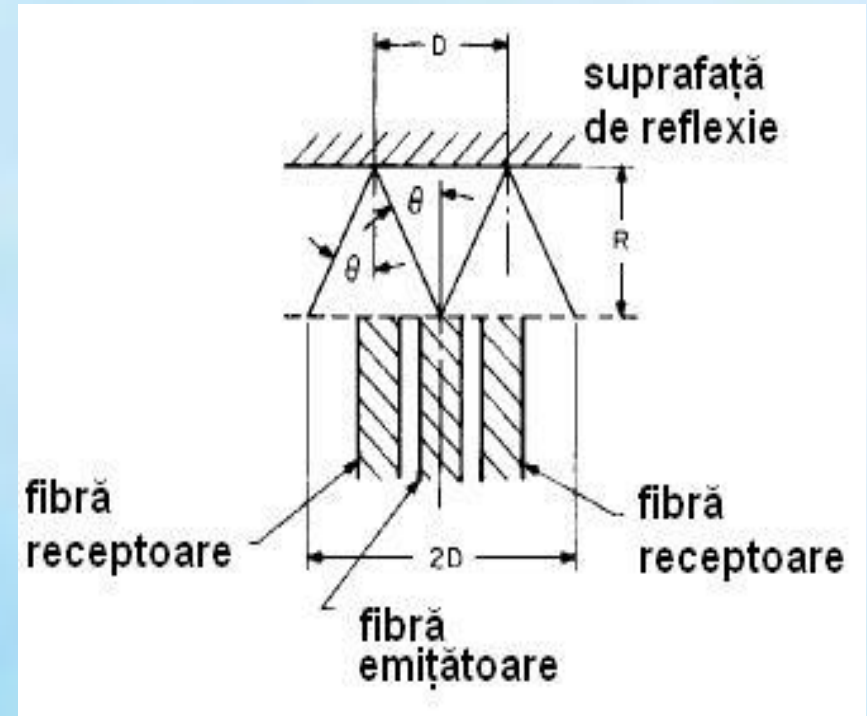
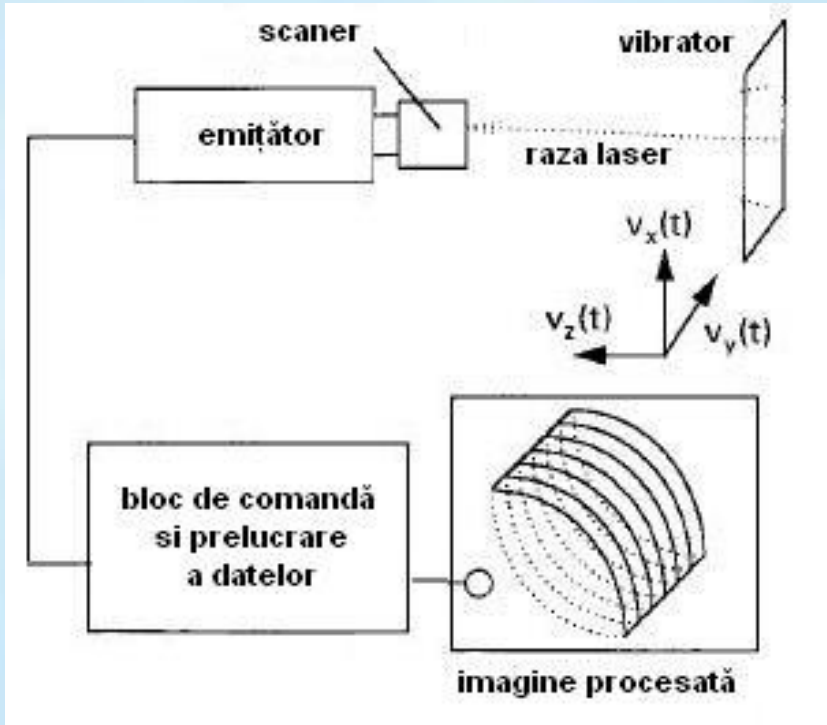
Tructoare capacitive



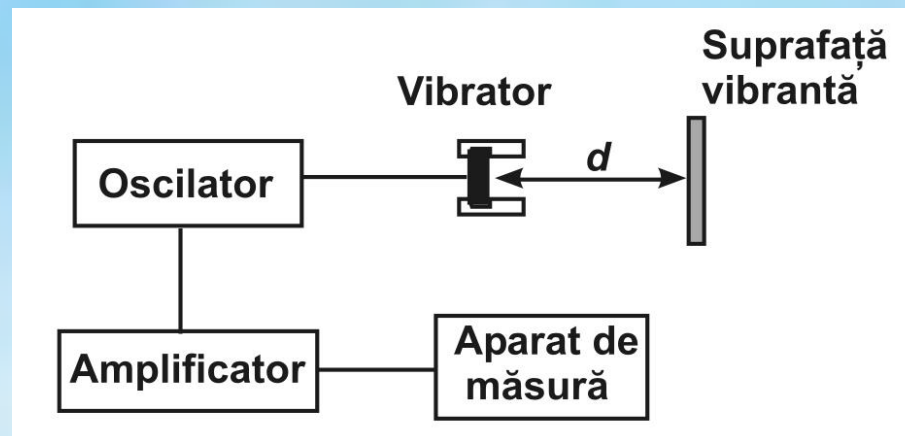
Transectoare inductive



Traductoare bazate pe efecte electro-optice



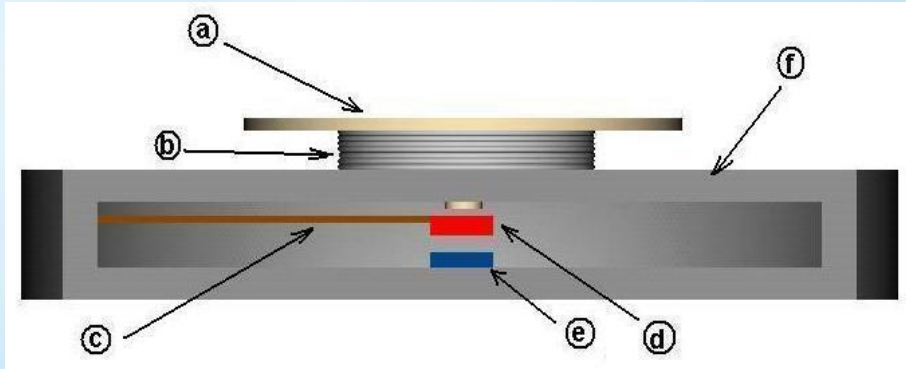
Traductoare ultrasonice



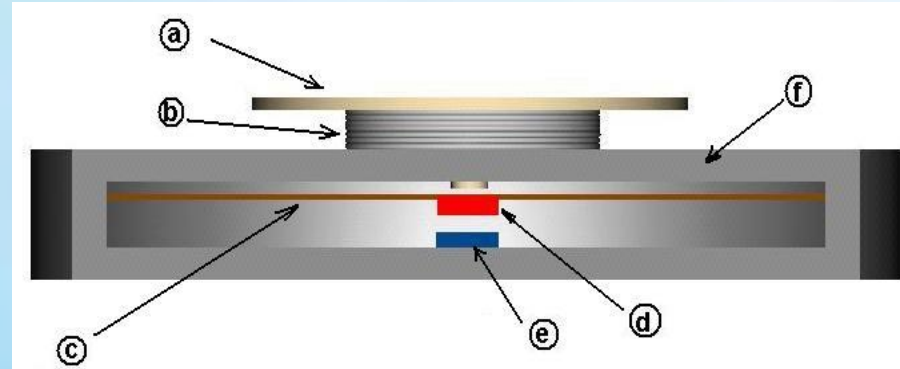
Traductoare pentru șocuri mecanice bazate pe elemente Hall analogice

a. Traductoare la care șocul este aplicat direct elementului elastic

Lamelă simplu încastrată

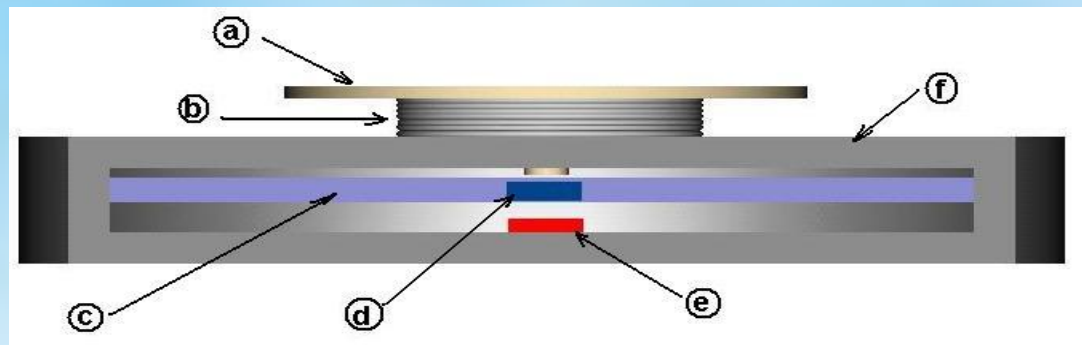


Lamelă dublu încastrată



a) captor; b) arc; c) lamelă elastică; d) magnet permanent; e) traductorul Hall; f) capsula detectorului.

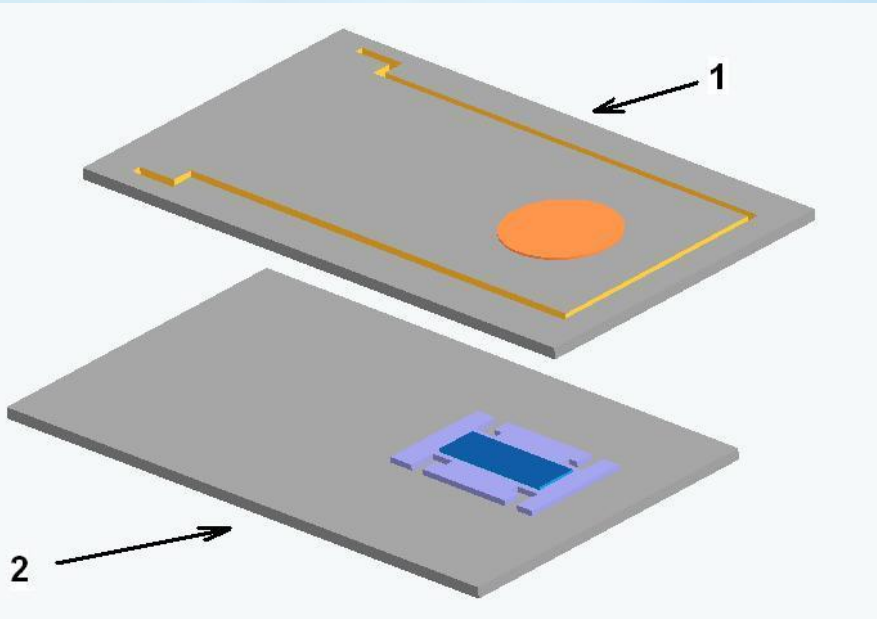
Element Hall inclus în membrană



a) captor; b) arc; c) membrană elastică; d) traductorul Hall; e) magnet permanent; f) capsula detectorului

b. Traductoare la care șocul este aplicat suportului traductorului

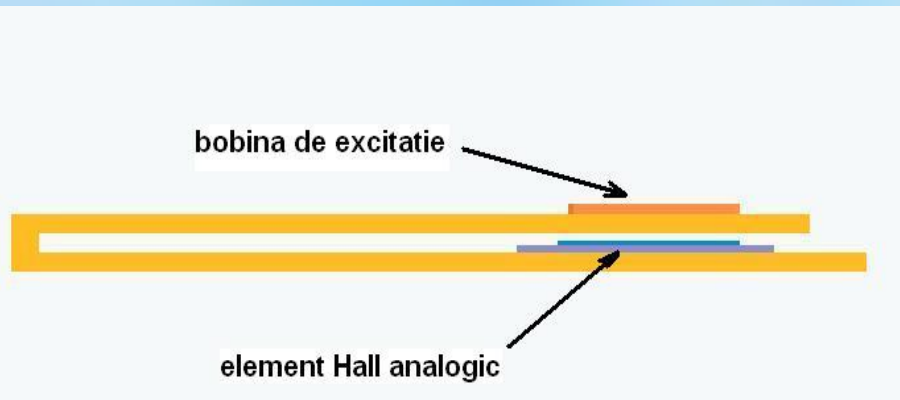
Părțile componente ale detectorului :



Ansamblul mobil (1):

- materiale cu elasticitate bună
- neconductive – pentru a evita erorile datorate contactelor electrice nedorite
- neferomagnetice – pentru a evita influența asupra răspunsului elementului Hall
- magnet permanent sau bobină de excitație

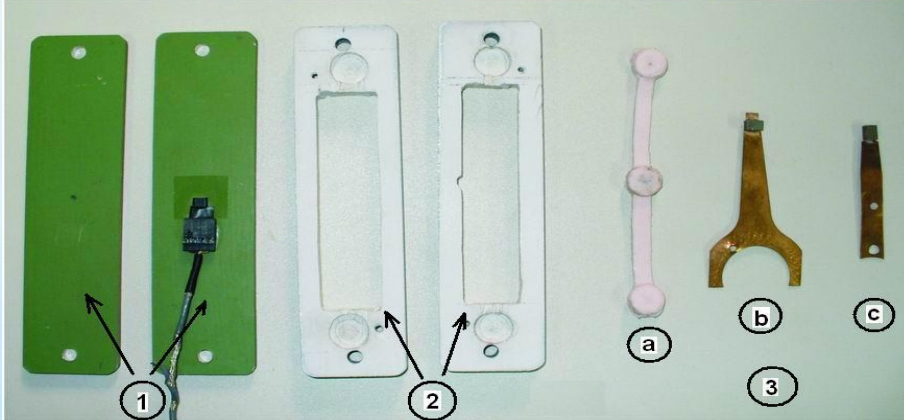
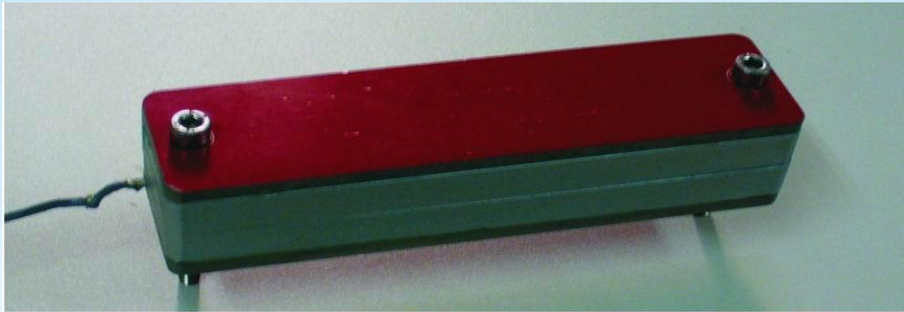
Vedere în secțiune a detectorului:



Ansamblul fix (2):

- elementul Hall analogic – impurificare sau film
- materiale care absorb vibrațiile parazite
- tensiunea Hall – măsurabilă, repetitivă, caracteristică ușor de procesat

Detector de șocuri cu lamelă din cupru, simplu încastrată, cu egală rezistență la încovoiere



Carcasa traductorului:

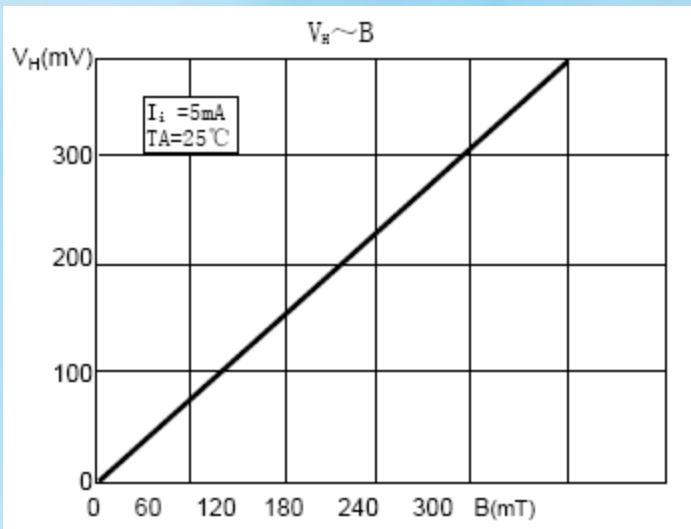
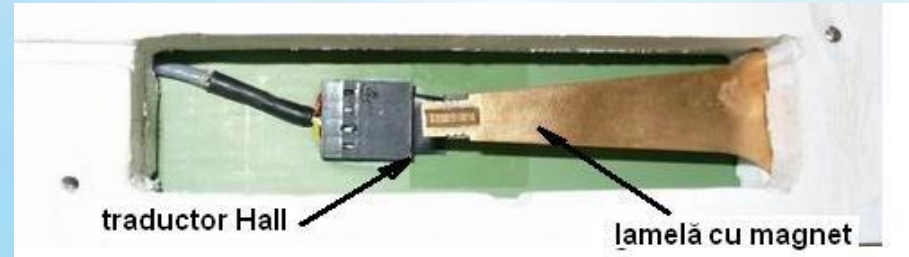
- aliaj bazat pe magneziu
- material neferomagnetic
- rezistență bună la ciocnire

Elemente elastice:

- lamelă de silicon, dublu încastrată (3.a);
- lamelă din cupru, simplu încastrată, cu egală rezistență la încovoiere (3.b);
- lamelă din cupru, simplu încastrată (3.c).

Senzorul Hall:

- monocristal semiconductor - galiu și arsenic



Parametru	Simbol	Condiții de testare	Valoare	Unitate
tensiune Hall de ieșire	V_H	$B=100\text{mT}$ $I_i=5\text{mA}$	120~150	mV
tensiune de offset	V_o/V_H	$I_i=5\text{mA}$ $B=0/B=100\text{mT}$	≤ 12	%
rezistență de intrare	R_i	$I_i=1\text{mA}$	900~1100	Ω
rezistență de ieșire	R_o	$I_i=1\text{mA}$	1800~2200	Ω
deriva cu temperatura a tensiunii Hall	αV_H	$I_i=5\text{mA}$ $B=100\text{mT}$	-0.07	%/°C
deriva cu temperatura a rezistenței	$\alpha_i V_o$	$I_i=1\text{mA}$ $B=0\text{mT}$	0.3	%/°C
liniaritatea	ΔK_H	$I_i=5\text{mA}$ $B=0\sim 300\text{mT}$	< 2	%
curentul maxim de intrare	I_i		10	mA
domeniul de temperatură	T_A		-55~125	°C

12.3 Etalonarea aparatelor pentru măsurarea șocurilor și a vibrațiilor

Sensibilitatea în intervalul util de frecvențe

- raportul dintre mărimea de ieșire și cea de intrare la toate frecvențele de lucru

Sensibilitatea în diferite condiții de lucru

- temperatura, variația tensiunii de alimentare, radiațiile, zgomotul acustic, câmpul electromagnetic, altitudinea și umiditatea

Sensibilitatea în intervalul util de amplificare

- caracteristici bine stabilite atât la amplitudini mari, cât și mici
- efectul zgomotului, precizia și neliniaritatea

Stabilitatea în timp

- dispozitive relativ stabile în timp

12.4 Factori de influență în măsurarea șocurilor și a vibrațiilor

- **temperatura** – sensibilitatea, frecvența proprie, amortizarea
- **umiditatea** – deliorarea materialelor
- **zgomotul acustic** – vibrații suplimentare
- **influența conductoarelor de legătură** – rigiditate, masă inadecvată, deformare mecanică

Cursul XIII

Traductoare galvanomagnetice

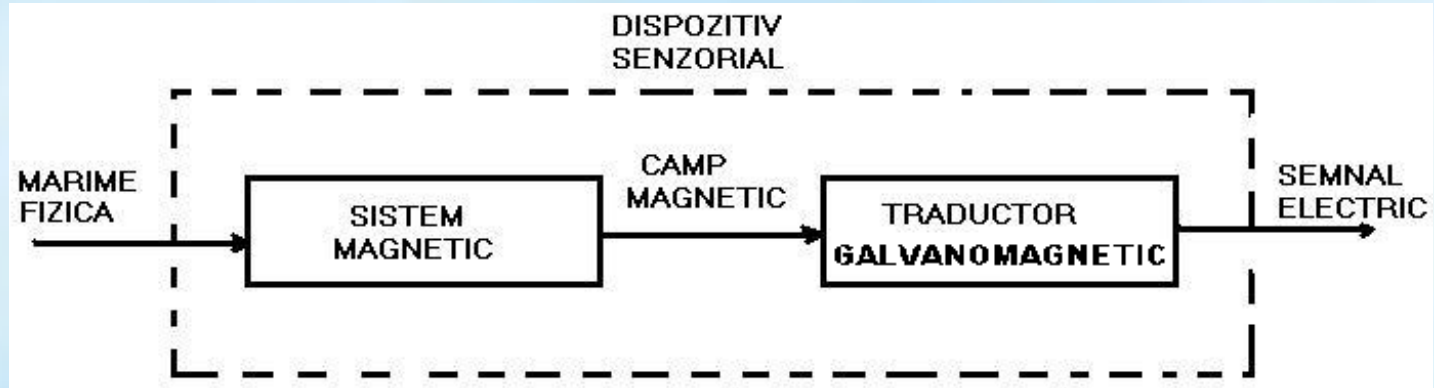
13.1 Prezentare. Probleme specifice măsurării.

13.2 Măsurarea mărimilor electrice cu traductoare galvanomagnetice

13.3 Măsurarea mărimilor neelectrice cu traductoare galvanomagnetice

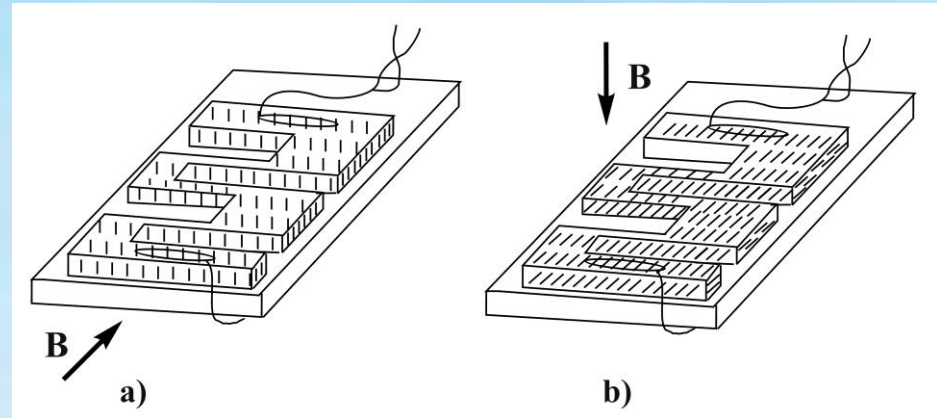
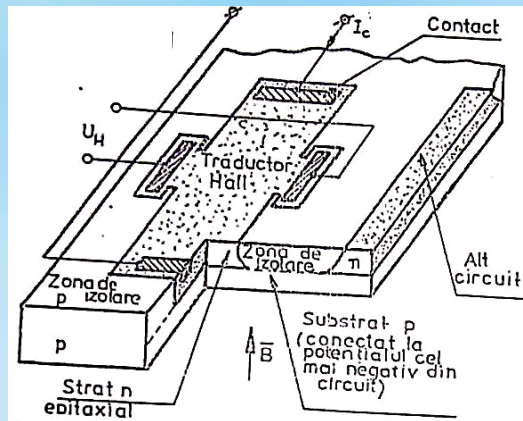
12.1 Prezentare. Probleme specifice măsurării

Conversia mărime fizică externă-semnal electric:

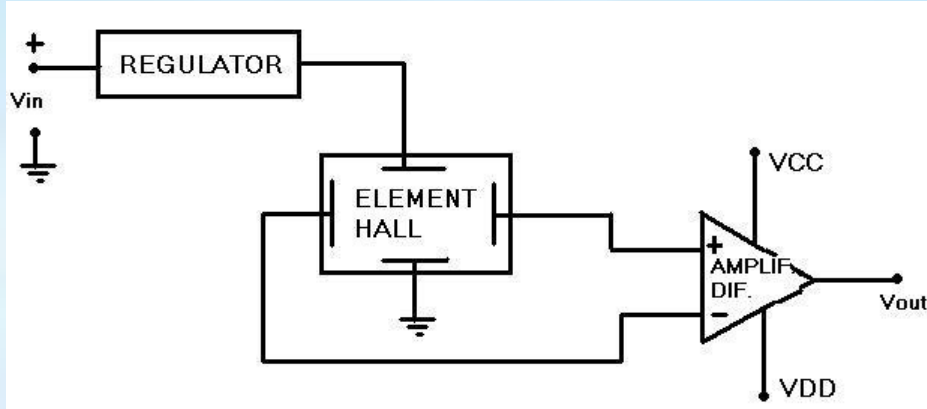


Principalele proprietăți specifice materialelor utilizate:

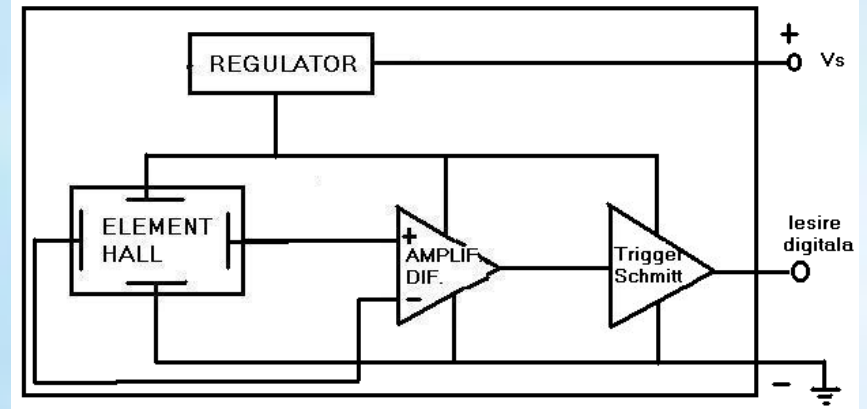
Element Hall	Element magnetorezistiv
<ul style="list-style-type: none"> - tensiunea Hall să fie suficient de mare - constanta Hall să fie cât mai puțin dependentă de inducția magnetică - constanta Hall să varieze slab cu temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> - variația rezistenței să fie suficient de mare - rezistența să prezinte variații mari cu inducția magnetică - rezistivitatea să varieze slab cu temperatura



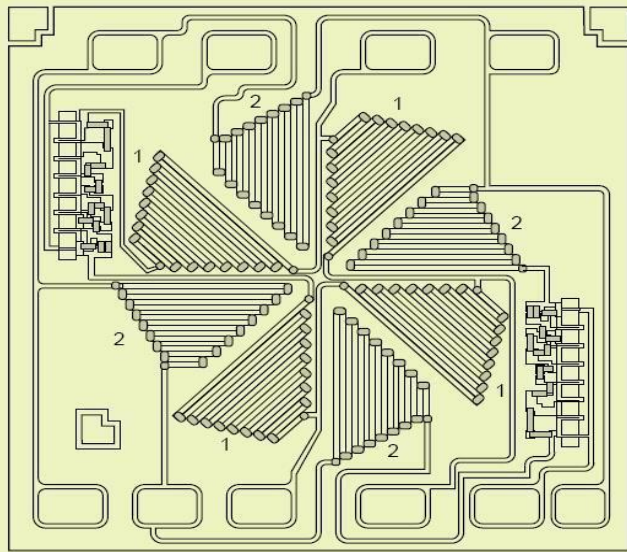
Traductoare galvanomagnetice:



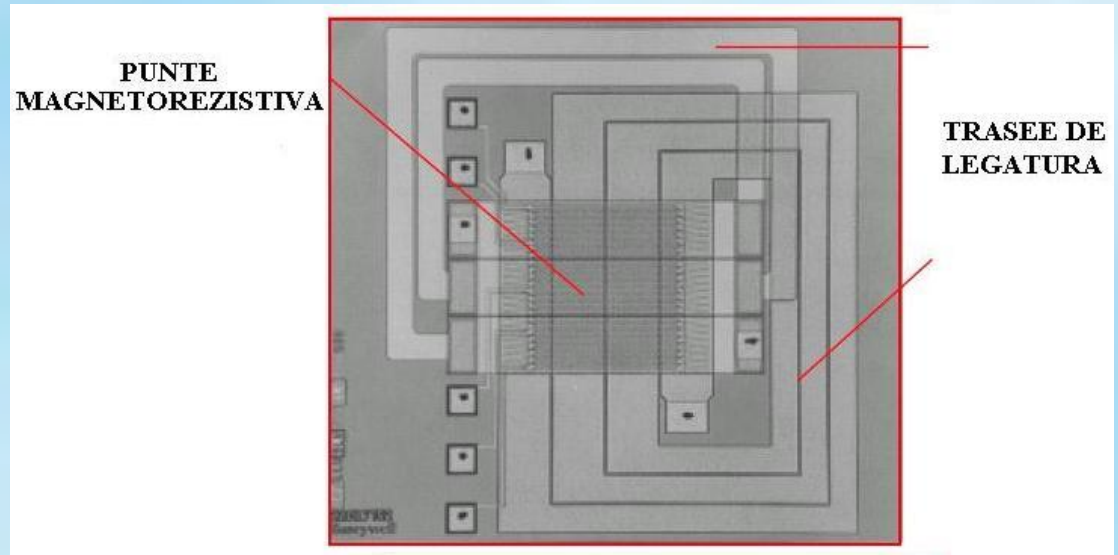
- traductor Hall analogic



- traductor Hall digital

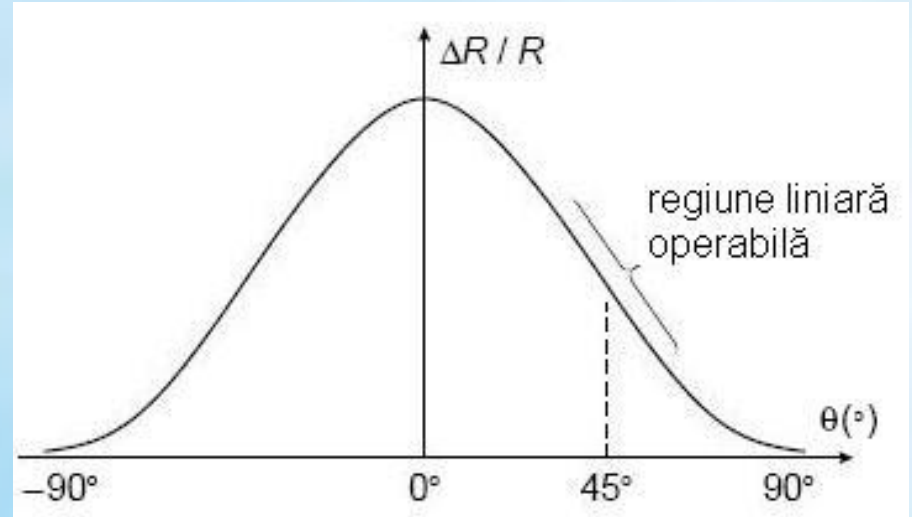
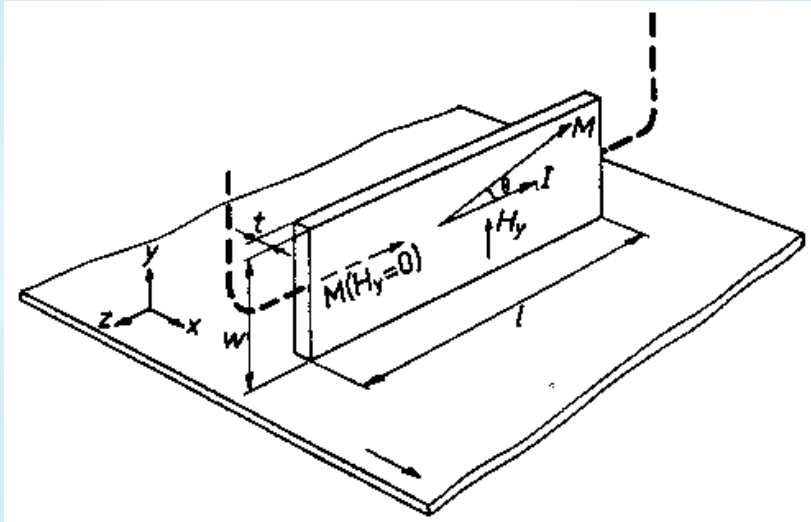


- punte magnetorezistivă

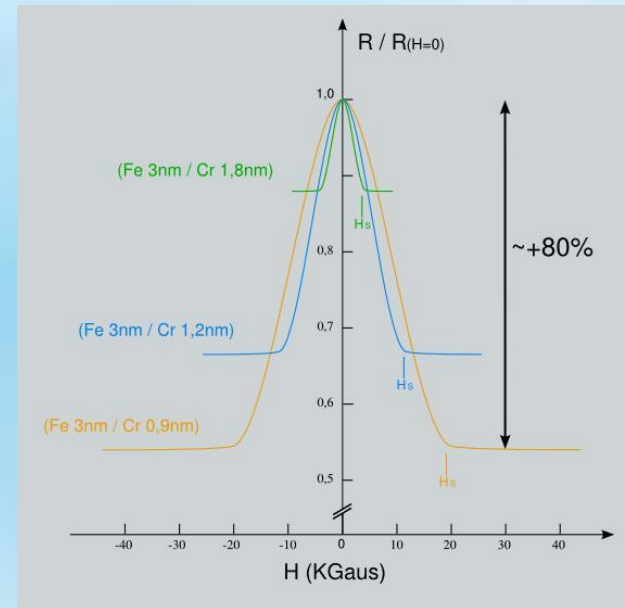
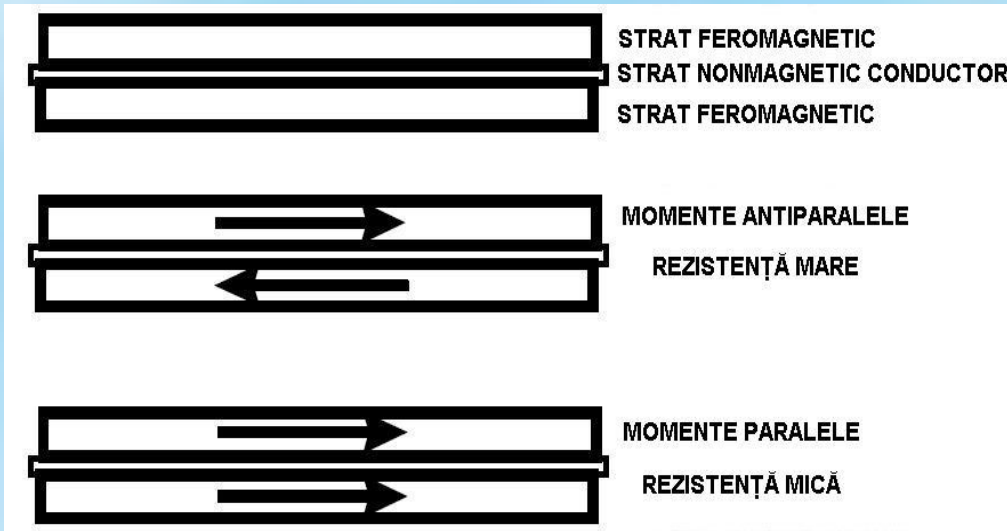


- punte magnetorezistivă pe peliculă de film

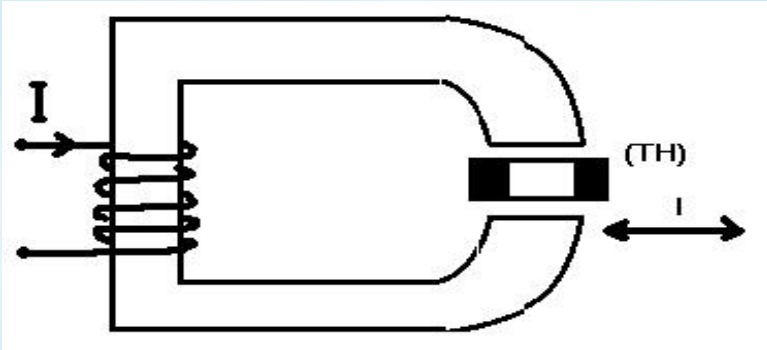
Efectul magnetorezistiv anizotropic:



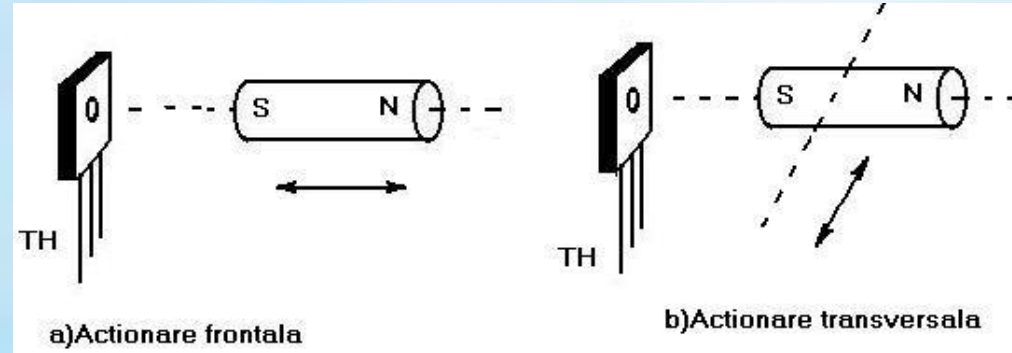
Efectul magnetorezistiv gigant:



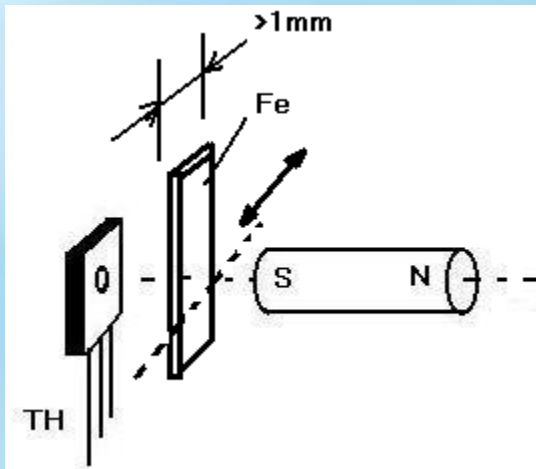
Moduri de acționare ale unui traductor galvanomagnetic



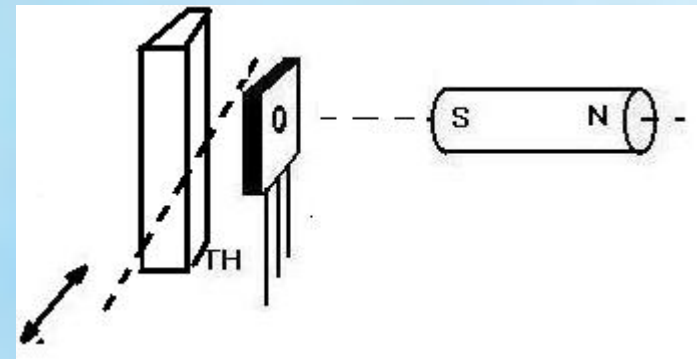
Alimentarea cu curent a unui electromagnet



Acționarea prin deplasarea unui magnet permanent



Acționare prin ecranarea câmpului



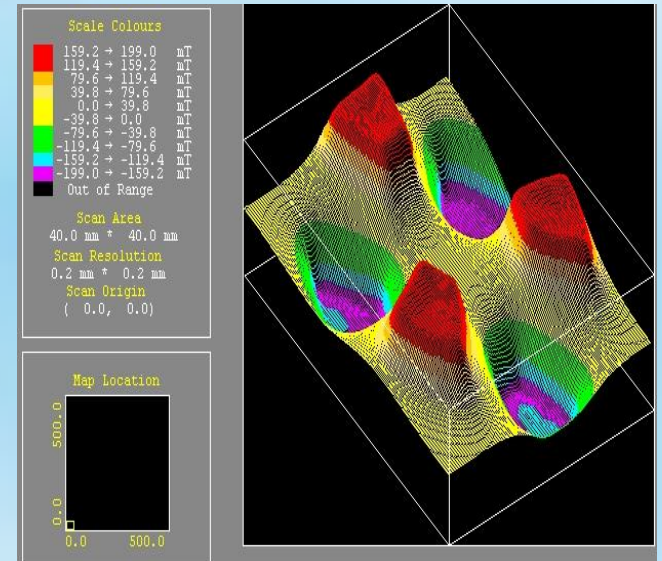
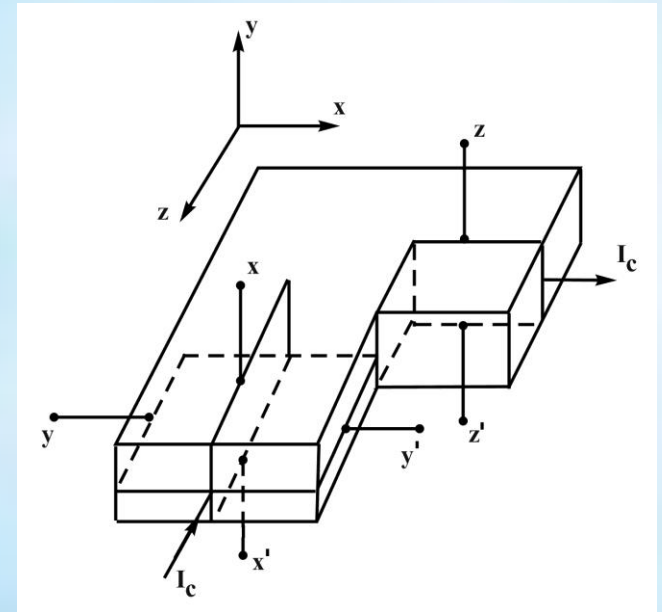
Acționarea prin concentrarea câmpului unui magnet

13.2 Măsurarea mărimilor electrice cu traductoare galvanomagnetice:

1. Măsurarea inducției magnetice:

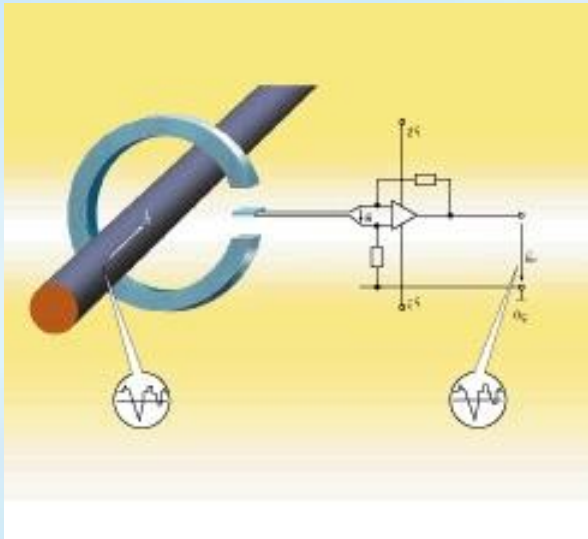
TEHNOLOGIA UTILIZATA	Campul magnetic detectabil (T)			
	10^{-8}	10^{-4}	10^0	10^4
magnetorezistiv anizotrop	Campul magnetic terestru			
magnetorezistiv gigant	Campul magnetic terestru			
efect Hall	Campul magnetic terestru			

- domeniile măsurabile ale inducției magnetice



- sistem de determinare a componentelor inducției magnetice

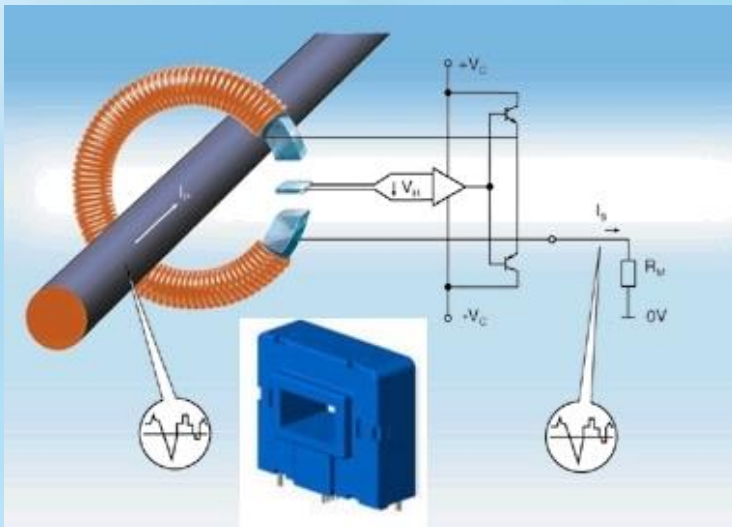
2. Măsurarea tensiunilor și curenților:



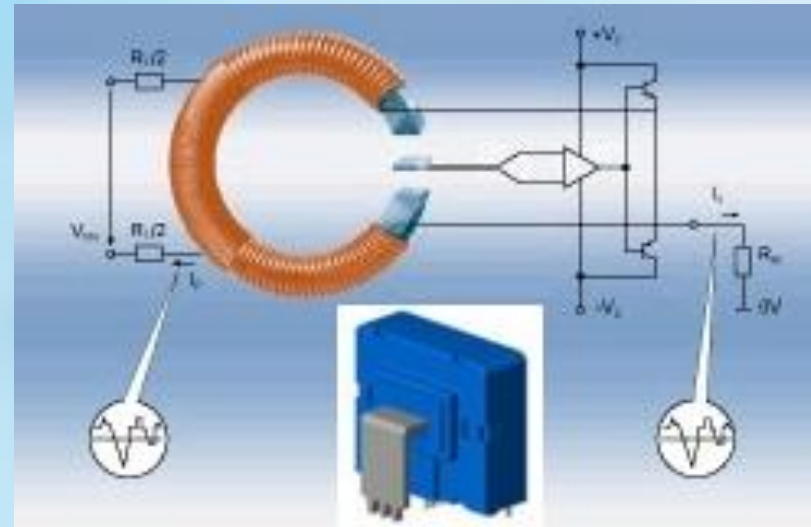
- tensiuni de la zeci de milivolți la mii de volți
- curenți de la miliamperi la sute de amperi.

- se evită șunturile sau transformatoarele de curent
- se realizează o separare galvanică

Traductor de curent în buclă deschisă



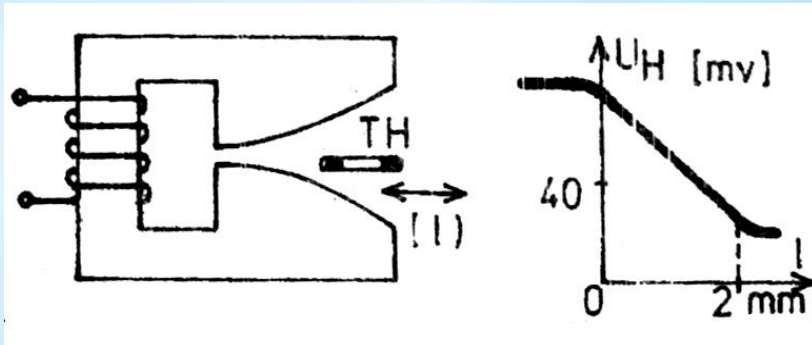
Traductor de curent în buclă închisă



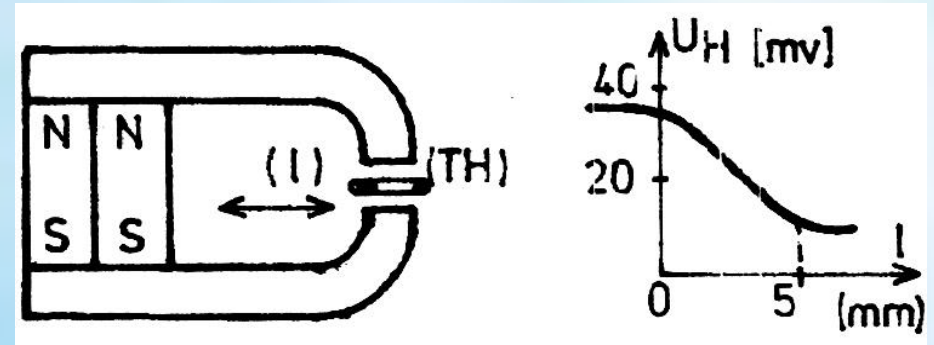
Traductor de tensiune în buclă închisă

13.2 Măsurarea mărimilor neelectrice cu traductoare galvanomagnetice :

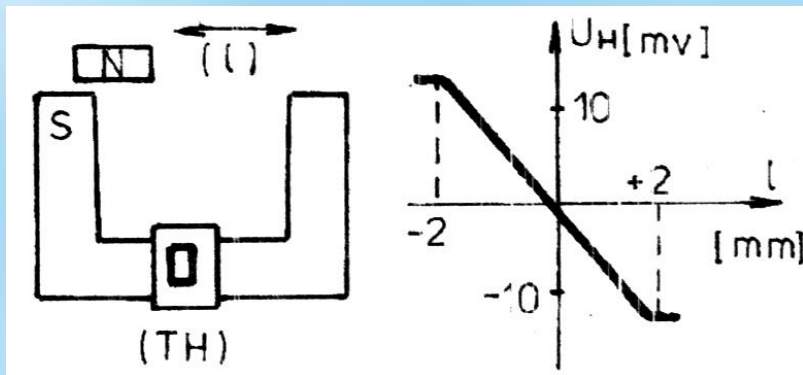
1. Măsurarea deplasărilor:



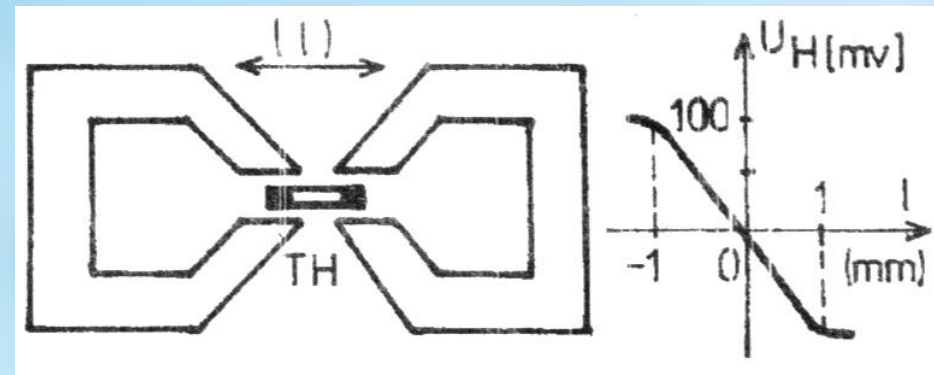
Traductor Hall cu cavitate



Traductor Hall cu doi magneți permanenți de excitație



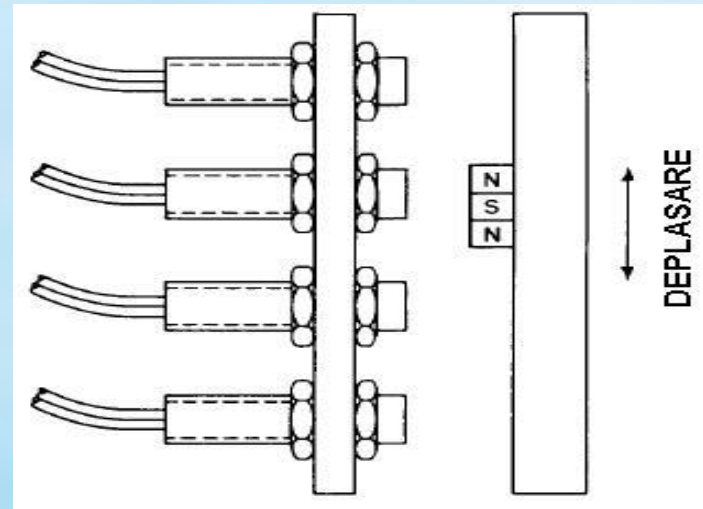
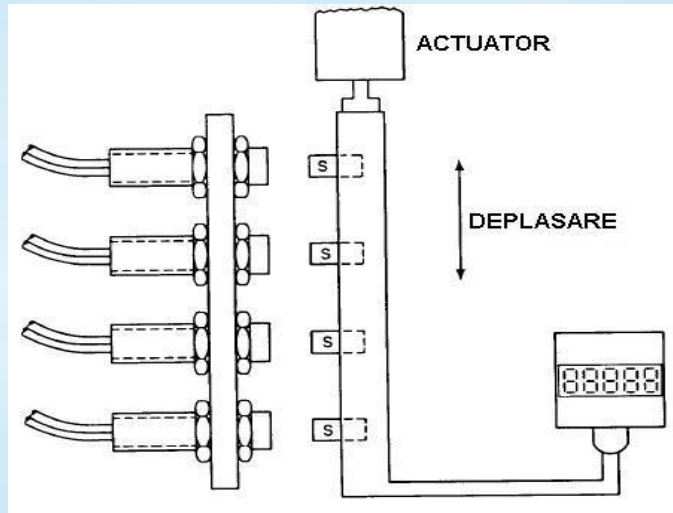
Traductor Hall cu circuit magnetic-magnet permanent cu o parte mobilă



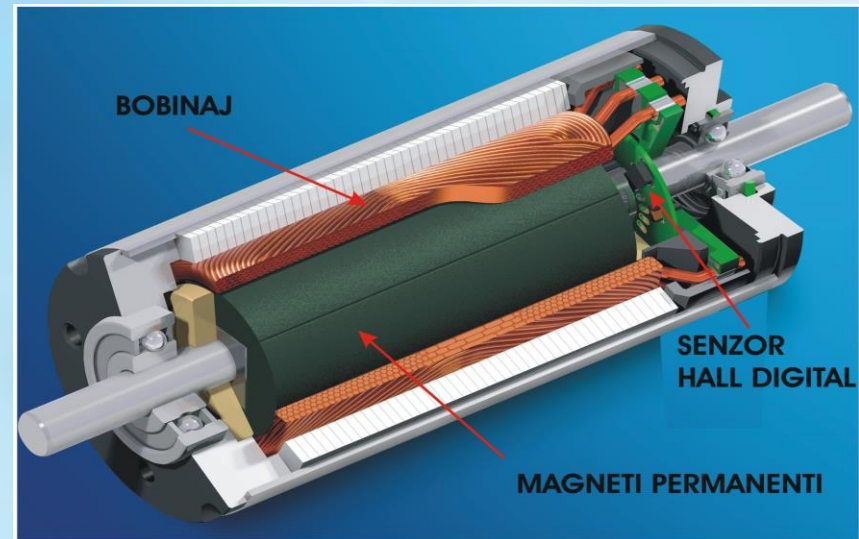
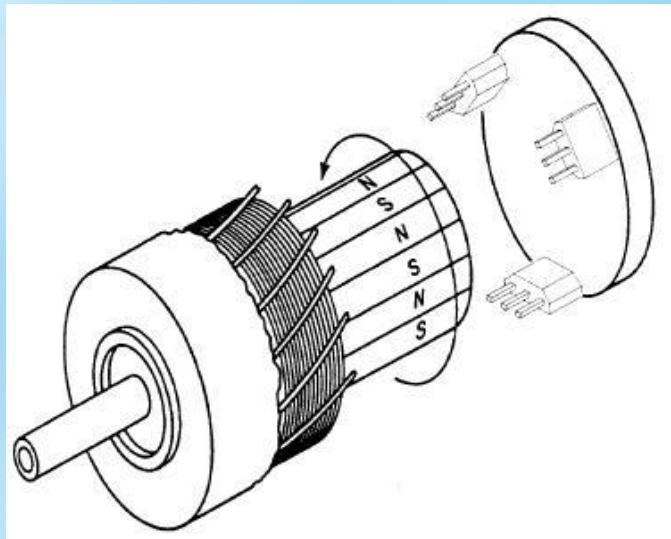
Traductor Hall cu două circuite neomogene magnetice independente diferențiale

2. Sisteme de poziționare:

Determinarea poziției liniare cu traductoare galvanomagnetice



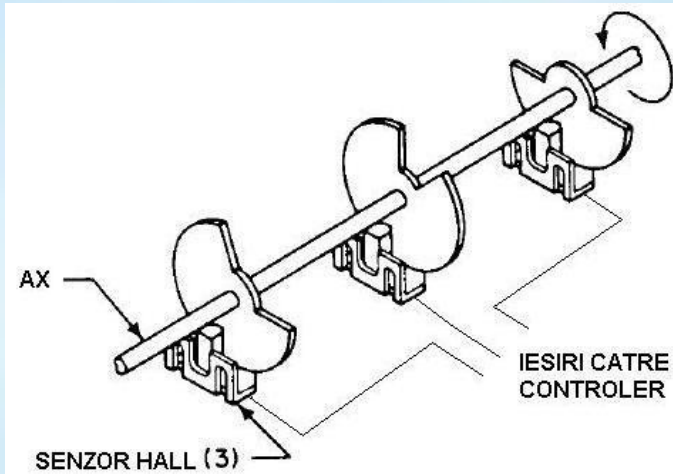
Determinarea poziției unghiulare cu traductoare galvanomagnetice



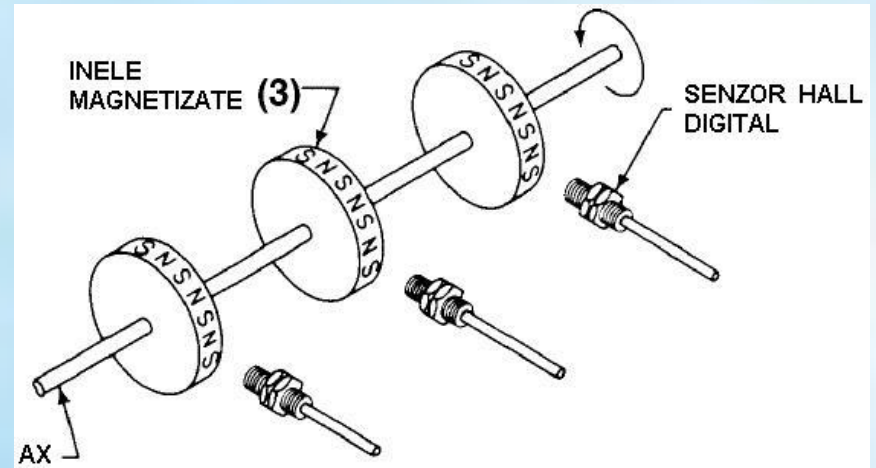
Mașina de curent continuu fără perii

Structura internă a unei mașini electrice fără perii

3. Sisteme pentru comandă secvențială:

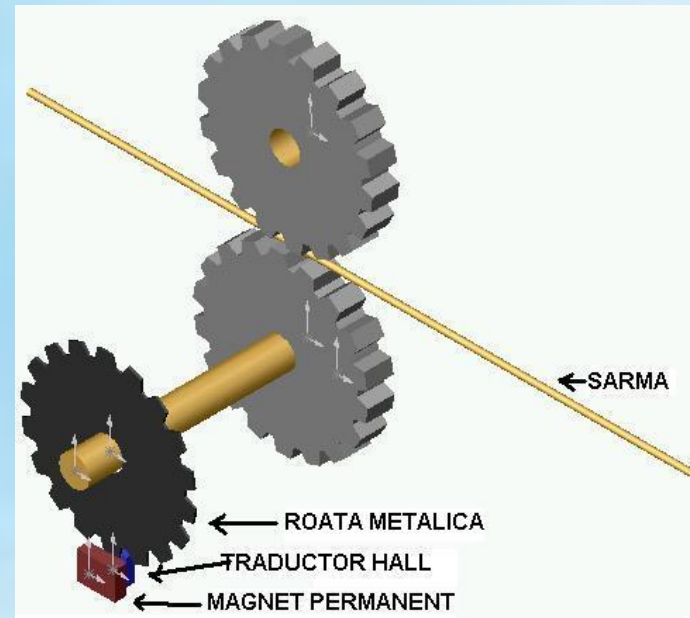
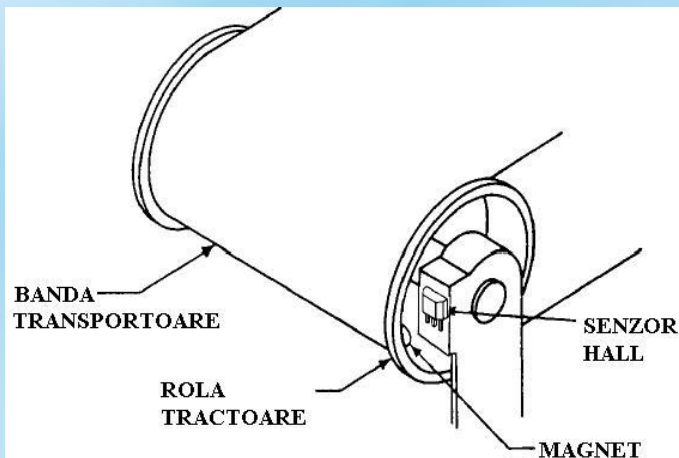


- cu discuri metalice

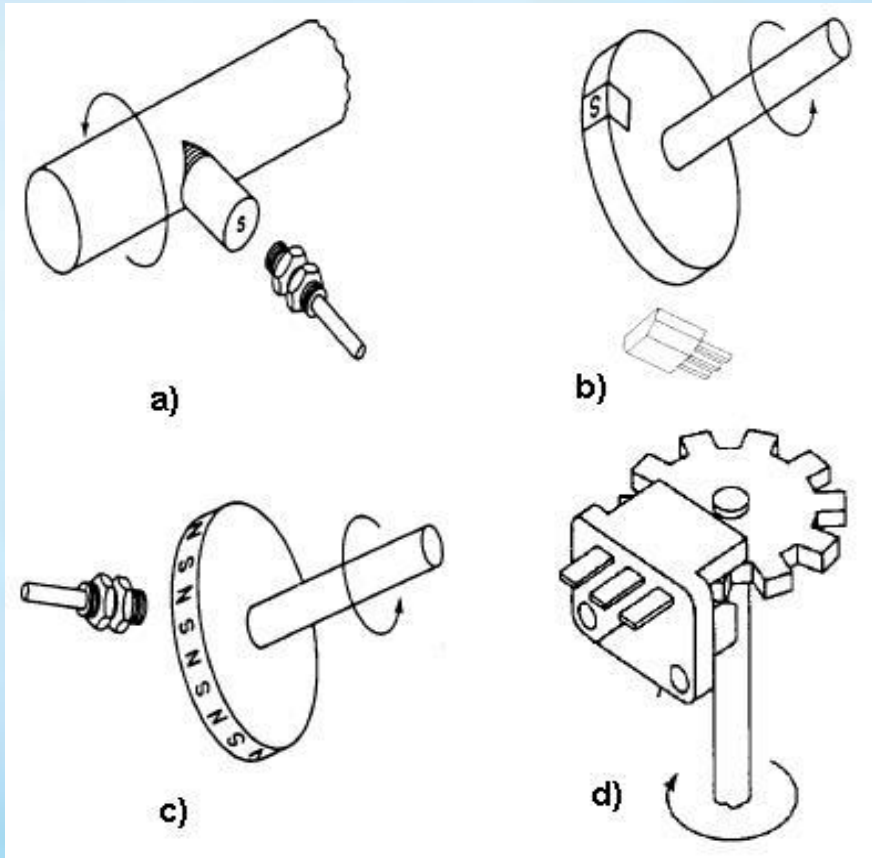


- cu inele magnetizate

4. Măsurarea lungimilor:

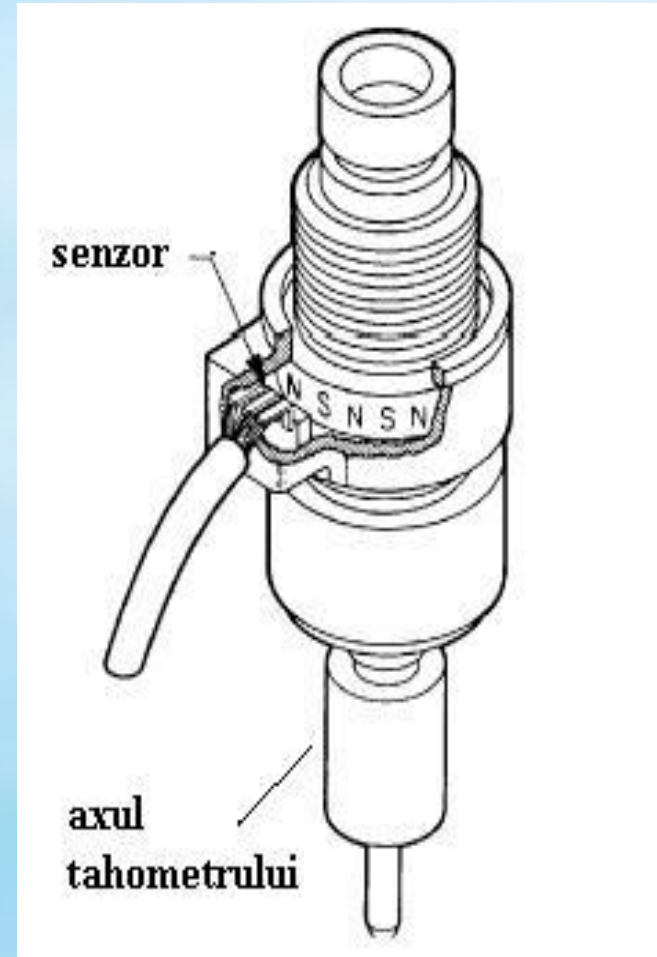


5. Măsurarea vitezei unghiulare:



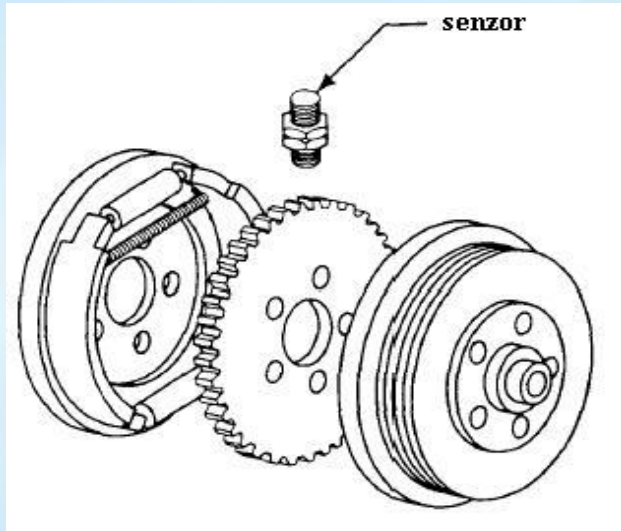
Metode de măsurare:

- a) *cu magnet permanent dispus pe ax*
- b) *cu magnet permanent încadrat*
- c) *cu disc magnetizat*
- d) *cu roată dințată*

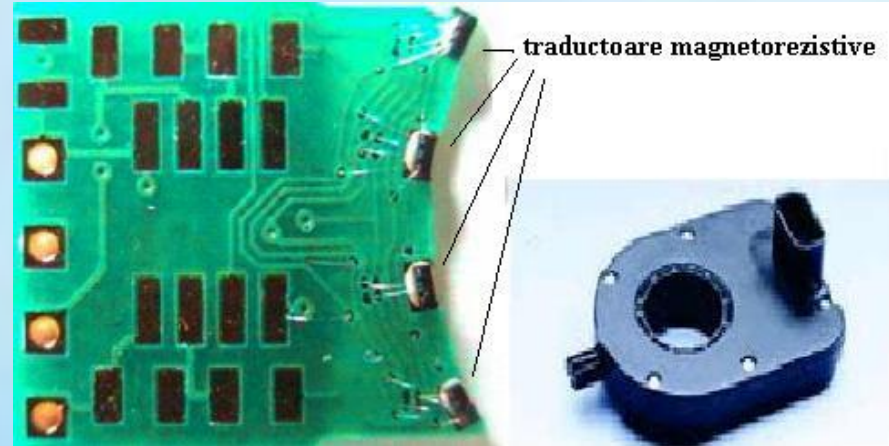


Senzor de viteză pe transmisie

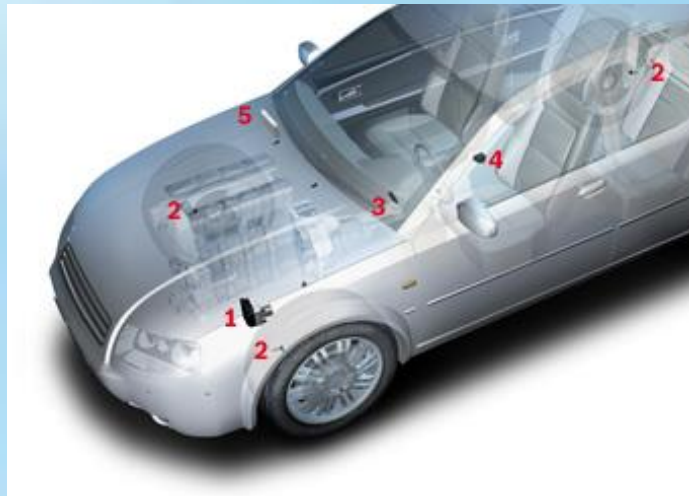
6. Sisteme active de siguranță și optimizare a ținutei de drum (ABS, TCS, ESP)



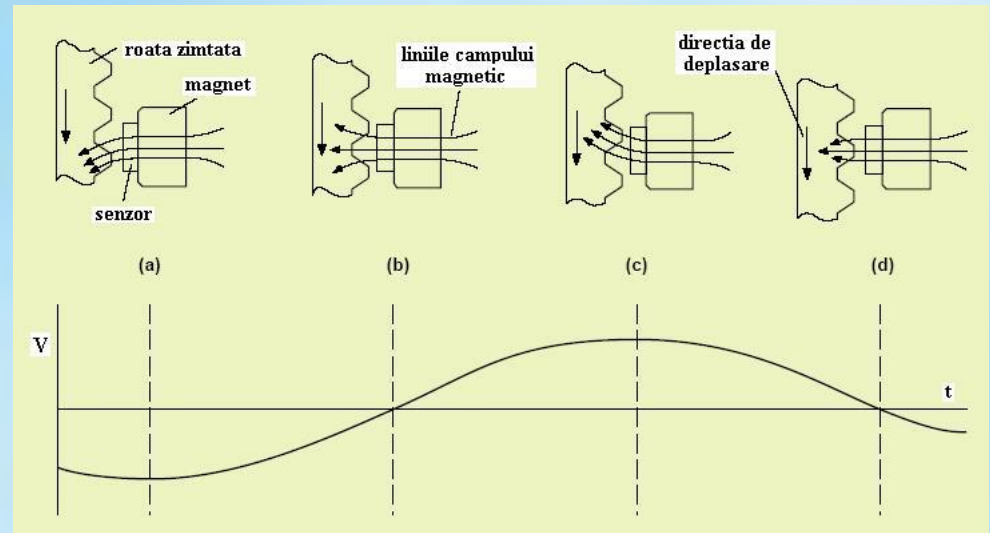
Senzor magnetorezistiv pentru ABS



Traductor pentru determinarea deplasărilor unghiulare

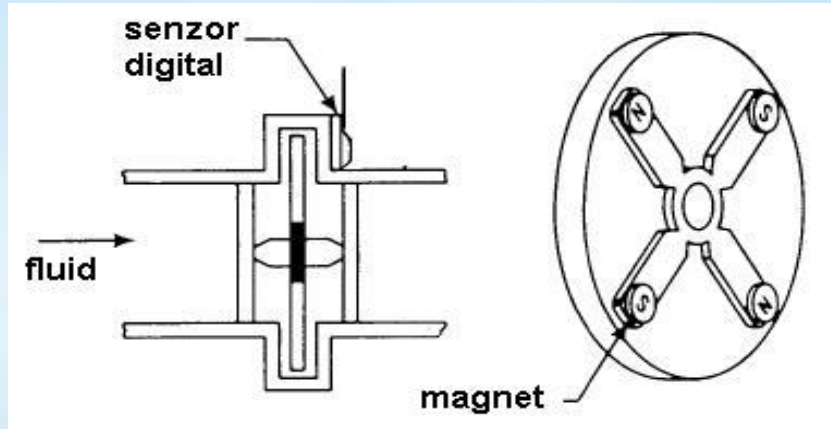


Disponerea componentelor ABS și ESP

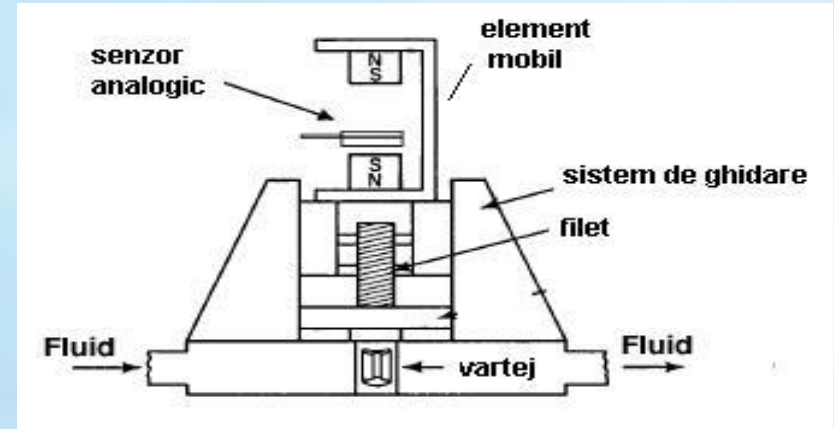


Semnalul receptat de computerul de bord

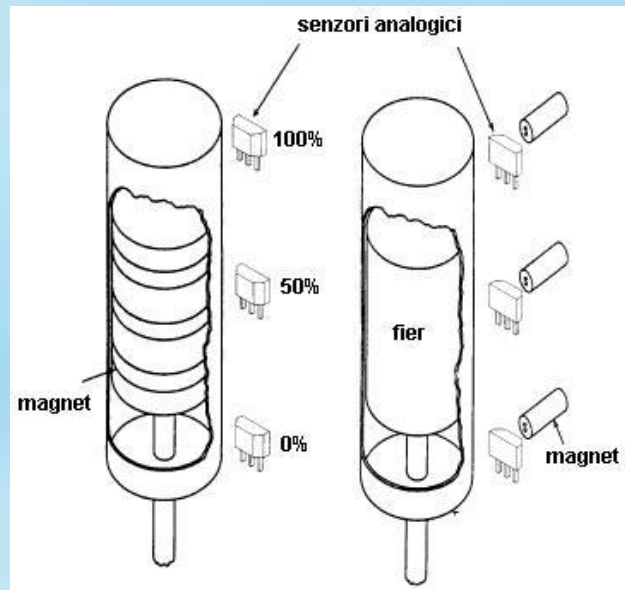
7. Măsurarea debitului și a nivelului



Debitmetru cu senzor digital



Debitmetru cu senzor analogic

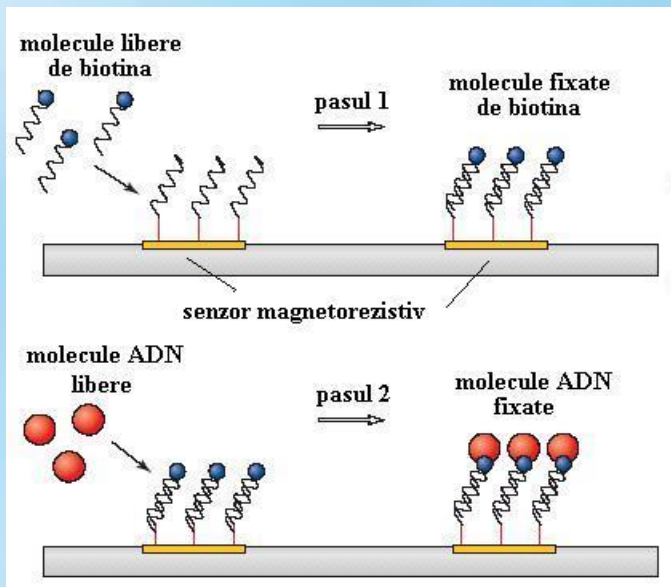
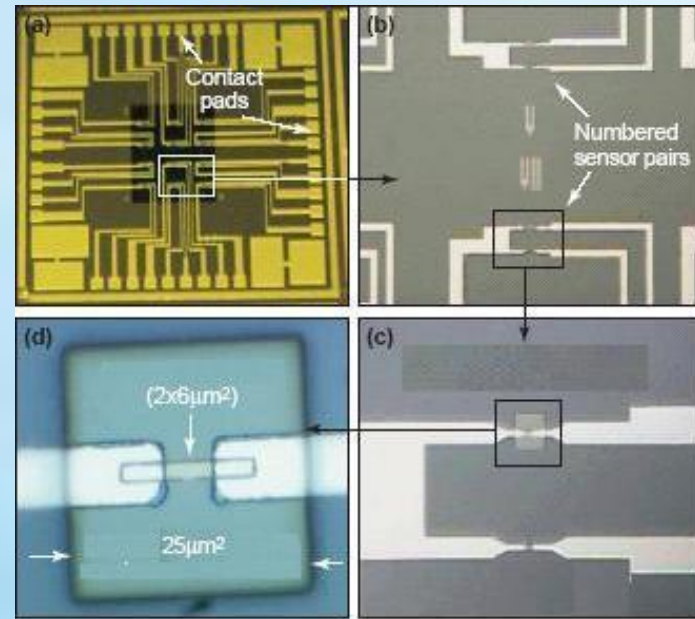
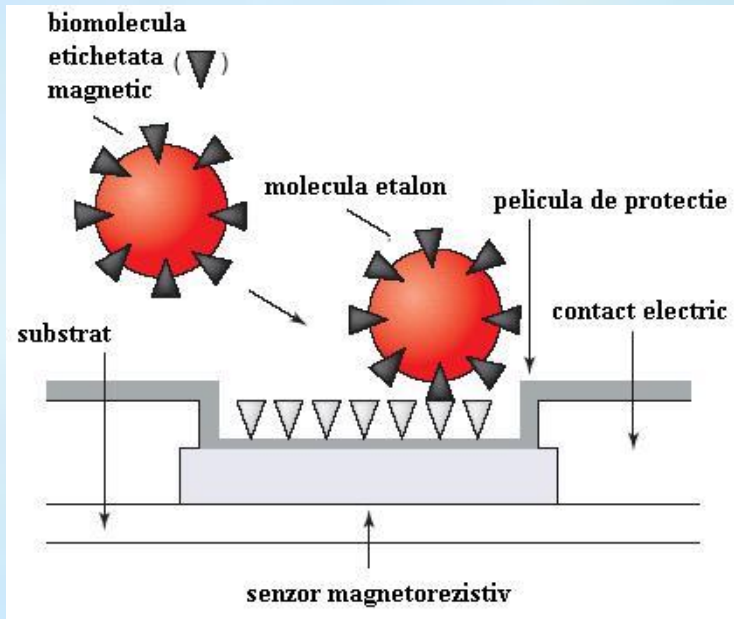


Nivelmetru cu senzorii dispusi pe exterior



Nivelmetru cu senzorii dispusi pe interior

8. Senzori biomedicali



Microsenzorii galvanomagnetici:

- dimensiunile senzorilor de ordinul micrometrilor
- particule de la ordinul sutelor de nanometrii

Cursul XIV

Măsurarea mărimilor de material

14.1 Măsurarea pH-ului

14.2 Măsurarea conductibilității electroliților

14.3 Măsurarea umidității

14.1 Măsurarea pH-ului

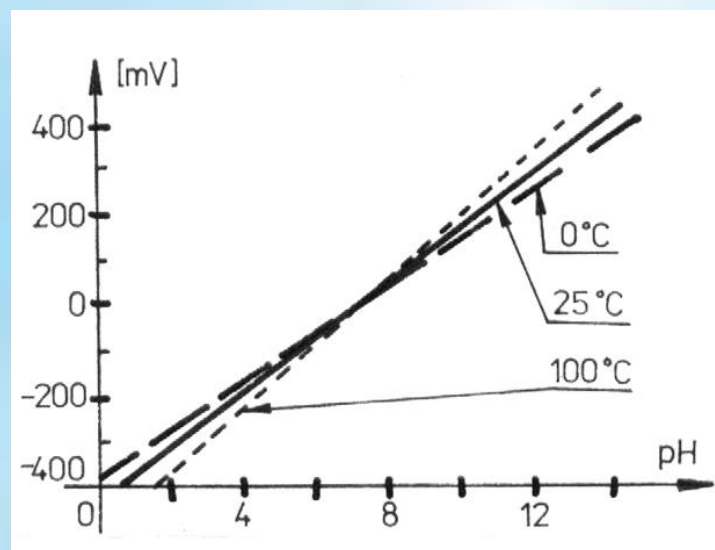
Notiunea de **pH** este prescurtarea de la "pondus hydrogenii". Termenul a fost introdus de catre omul de stiinta danez S.P.L. Sorensen, in anul 1909, pentru a exprima concentratii mici de ioni de hidrogen si a fost definita ca logaritmul zecimal cu semn schimbat al concentratiei ionilor de hidrogen:

$$pH = -\log_{10} C_{H^+}$$

Gama uzuala de valori este 1...14, valorile 1...7 corespund solutiilor acide, iar valorile 7...14 corespund solutiilor bazice. Pentru apa pura, la temperatura de 25°C, $pH=7$. La concentratii mari a ionilor de hidrogen, solutia are proprietatile acidului, iar la concentratii mici solutia are proprietati alcaline.

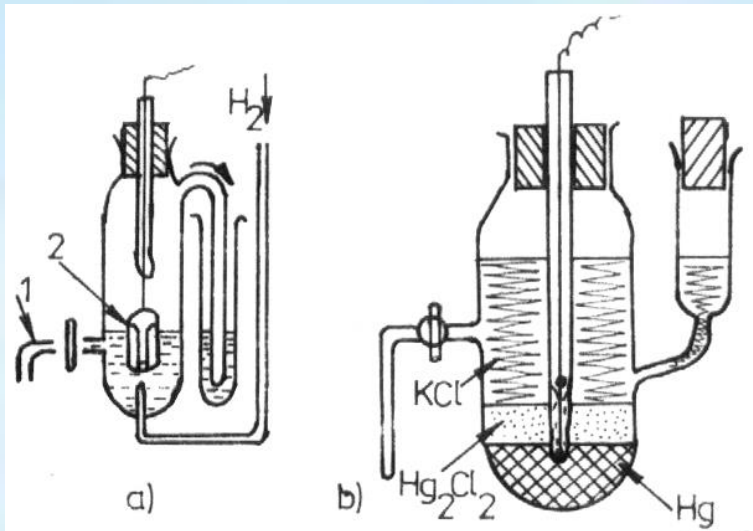
Valori reprezentative ale pH-ului

Tipuri de substanțe	pH
Acid clorhidric - HCl, 1M	0.1
Acid de baterie	0.5
Acidul gastric	1.5 – 2.0
Suc de lămâie	2.4
Cola	2.5
Oțet - CH ₃ COOH	2.9
Suc de portocală sau de măr	3.5
Bere	4.5
Ploaie acidă	<5.0
Cafea	5.0
Ceai	5.5
Lapte	6.5
Suc intestinal	6-7
Apă pură / distilată - H ₂ O	7.0
Saliva omului sănătos	6.5 – 7.4
Sânge	7.34 – 7.45
Apă de mare	8.0
Săpun de toaletă	9.0 – 10.0
Amoniac - NH ₃	11.5
Înălbitor	12.5
Leșie	13.5
Sodă caustică - NaOH	13.9



Este însă necesar a se sublinia importanța compensării temperaturii mediului ambiant înainte de măsurare, întrucât valoarea potențialului pH variază relativ mult în condiții de variație a temperaturii

1. Traductoare pentru măsurarea pH-ului cu electrod de hidrogen



Acest electrod constă de fapt dintr-un fir sau o placă de platină (2) saturată prin spălare cu hidrogen, introdus într-un vas printr-un tub lateral înaintea fiecărei măsurări. În aceste condiții, electrodul posedă în întregime proprietățile hidrogenului gazos. Dacă un asemenea electrod este introdus într-o soluție care conține ioni de hidrogen, se obține între electrod și soluție, după stabilirea echilibrului privind schimbul de ioni, o diferență de potențial:

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln a_{H^+}$$

în care:

- a_{H^+} este activitatea ionilor de hidrogen;
- R - constanta gazelor;
- T - temperatura absolută la care se efectuează măsurarea (exprimată în K);
- F - constanta lui Faraday = 96500 C/mol;
- E_0 - potențialul normal de electrod, adică diferența de potențial care se stabilește între electrod și o soluție cu o activitate ionică egală cu unitatea.

$$a_{H^+} = 1 \text{ ion g/l}$$

Pentru electrodul de hidrogen se consideră:

$$E_0 = 0$$

T.e.m. a unei pile, realizate din acest electrod și electrodul de calomel, ca electrod de compensare, este:

$$E = E_{calomel} - \frac{RT}{F} \ln a_{H^+}, \quad [V]$$

Introducând în relația de mai sus valorile constantelor și considerând:

$$E_{calomel} = 0,2458 \quad [V]$$

- pentru exponentul de hidrogen rezultă expresia:

$$pH = \frac{E - 0,2458}{0,05818} \quad [V]$$

2. Traductoare pentru măsurarea pH-ului cu electrod de calomel

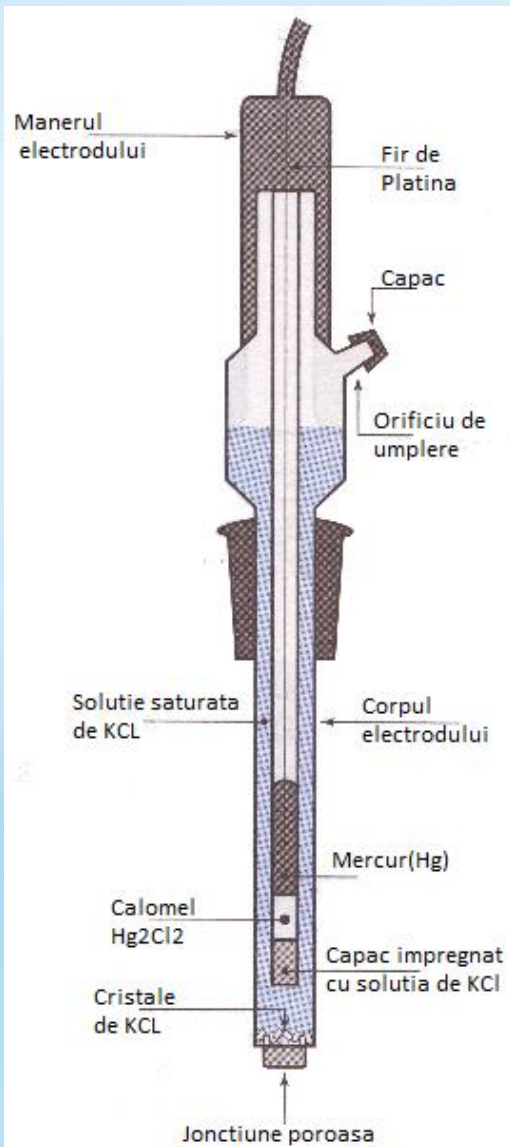
Acesta este format dintr-un electrod de mercur în contact cu o soluție de clorură de potasiu în concentrație procentuală din valoarea de saturație, sau saturată, astfel încât potențialul electrodului variază între limitele:

$$E_{calomel} = 0,2415...0,3355 \quad [V]$$

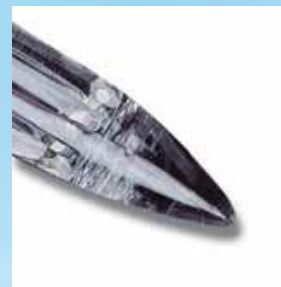
- în general, datorită coeficientului redus de temperatură, pentru o soluție nesaturată, (0,1 %), valoarea potențialului este ($E_{cal}=0,2458 \text{ V}$); de asemenea, tot datorită slabei dependențe de temperatură, se utilizează majoritar electrozii de calomel cu soluție saturată de clorură de potasiu.

$$E = E_{mas} - E_{ref} = \frac{R \cdot T}{F \cdot \ln C_{H^+}}$$

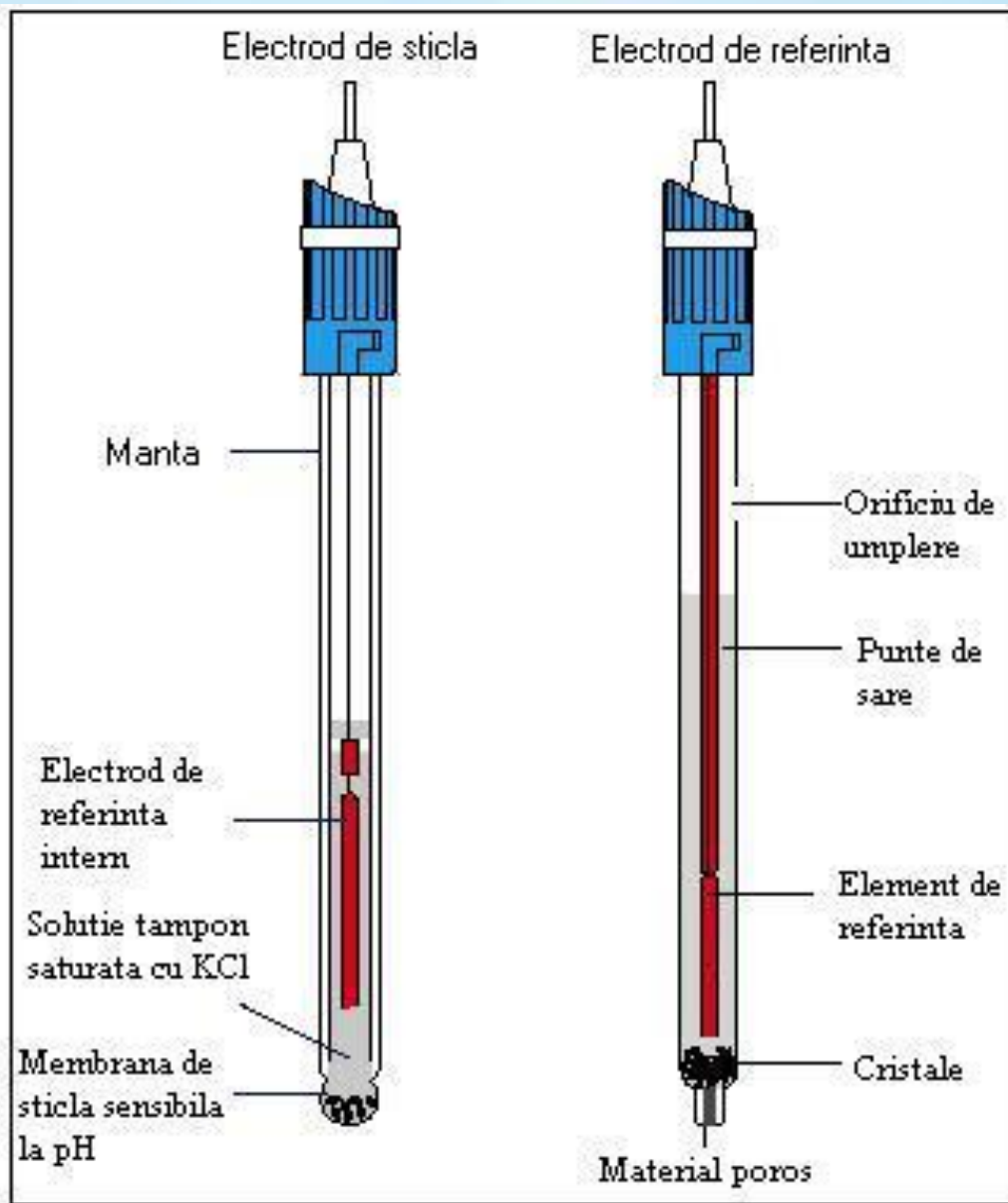
- E - potențialul măsurat (mV);
- E_{mas} - potențialul electrodului de masura (mV);
- E_{ref} - potențialul electrodului de referinta (mV);
- E'_T - constanta dependenta de temperatura (mV);
- R - constanta universală a gazelor (8.3145 J/K);
- T - temperatura absolută (K);
- F - constanta lui Faraday ($9,6487 \cdot 10^4 \text{ } ^\circ\text{C mol}^{-1}$).



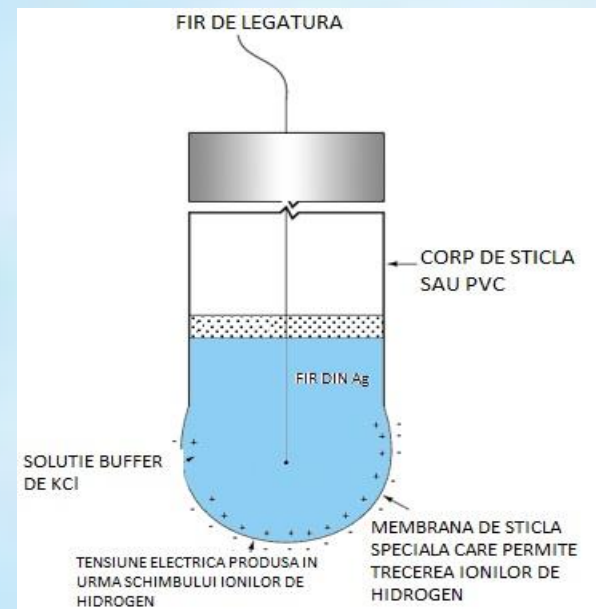
Tipuri de varfuri de electrozi



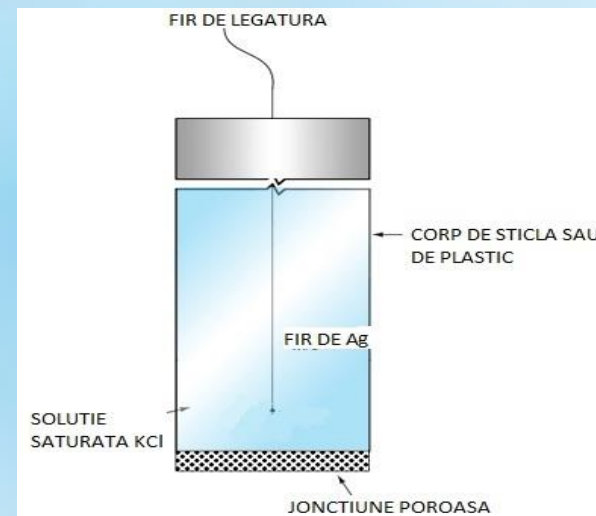
3. Traductoare pentru măsurarea pH-ului cu electrod Ag/AgCl



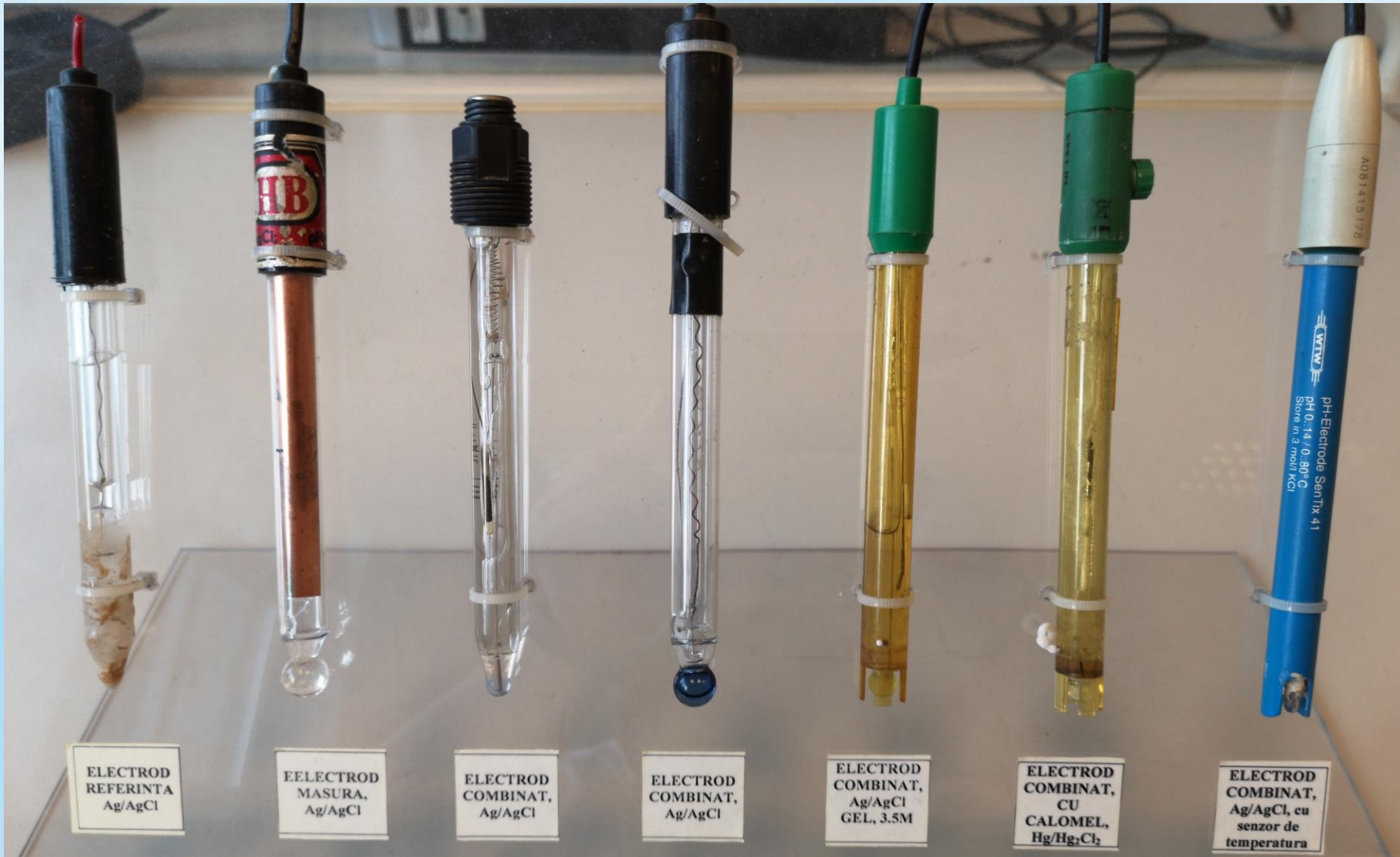
Electrodul de măsură



Electrodul de referință



4. Exemple de electrozi simplii și combinați pentru măsurarea pH-ului



14.2 Măsurarea conductibilității electroliților

Circulația curentului printr-o substanță este realizată prin deplasarea purtătorilor de sarcină, care în cazul electroliților sunt ioni pozitivi, respectiv negativi. Intensitatea acestui curent depinde de o serie de factori, cum de exemplu: câmpul electric între electrozi, numărul, sarcina și mobilitatea electronilor. Numărul de ioni depinde de concentrație, temperatură, presiune și natura soluției. Mobilitatea acestora depinde de natura soluției, vâscozitatea și temperatura acesteia. Variațiile de temperatură determină schimbări importante ale conductibilității.

Pentru măsurarea corectă a conductibilității trebuie prin urmare asigurate următoarele condiții:

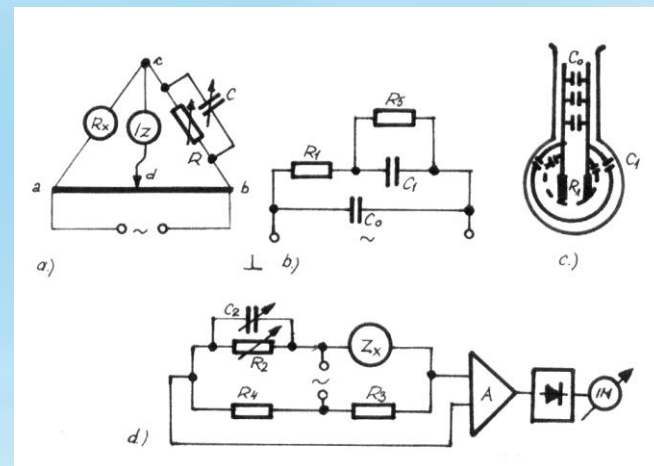
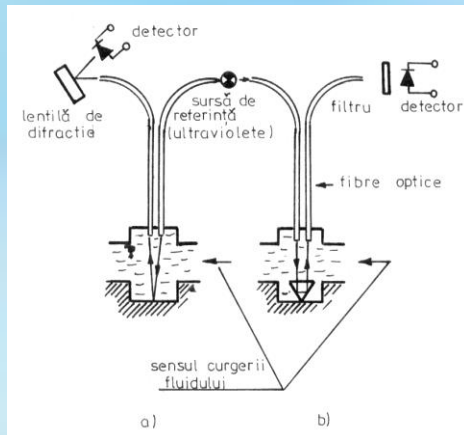
- controlul exact (prin termostatare) al temperaturii de măsurare;
- reducerea la minimum a polarizării electrozilor (alimentarea celulei în c.a. sinusoidal, iar electrozii executați din platină);
- alegerea unei scheme de măsurare care să asigure precizia dorită (în general scheme în punte, recunoscute prin performanțele realizate: precizie, sensibilitate).

În aceste condiții, legea lui Ohm se scrie:

$$R = \rho \frac{l}{s} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{l}{s} \quad \Omega$$

- în care, R , este rezistența celulei de măsurare a conductibilității, ρ , este rezistivitatea, în $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ sau rezistența specifică a lichidului din celula de măsurare, în Ω/m , l , lungimea, m, și s , secțiunea [mm^2 sau m^2] a conductorului lichid, γ , conductibilitatea (conductivitatea) specifică. Notând constanta celulei: $C = l / s$ expresia conductivității este:

$$\gamma = C / R$$



14.3 Măsurarea umidității

Noțiunea de umiditate se referă la conținutul de apă într-un material solid, lichid sau gazos. Pentru materialele solide și lichide, cantitatea de apă reținută fizic se exprimă prin noțiunile de umiditate absolută (U_a) și relativă (U_r), conform:

$$U_a = \frac{m_a}{m_u} \quad U_r = \frac{m_a}{m_u + m_a} \quad 100 \text{ (\%)}$$

- în care m_a , reprezintă masa apei din probă, iar m_u , masa materialului uscat (anhidru). Utilizarea umidității absolute sau relative se face potrivit unor necesități practice sau uzanțe experimentale. Pentru cereale, de exemplu, umiditatea absolută se determină cu relația:

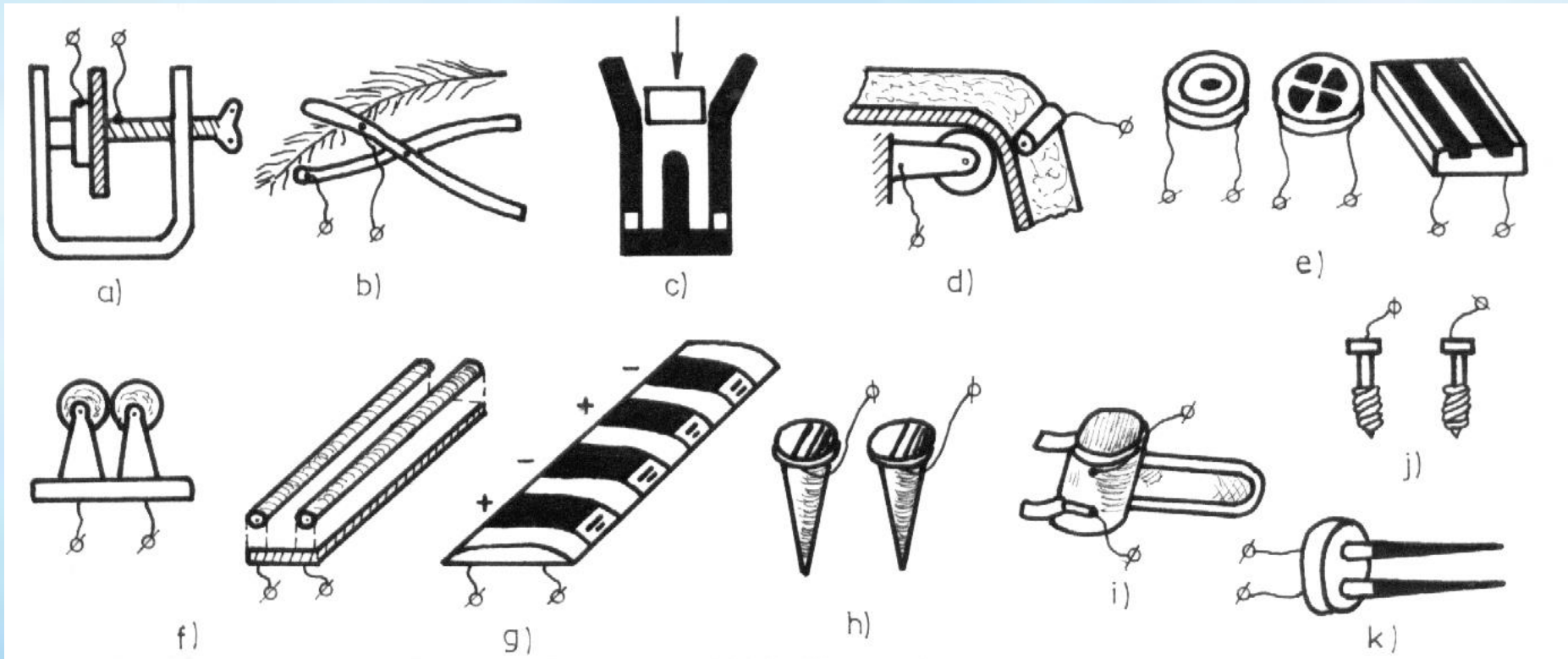
$$U_{ac} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad 100 \text{ (\%)}$$

- în care m_1 și m_2 , reprezintă masele probelor umede, respectiv uscate. Pentru sol, exprimată tot sub forma unei umidități maxime și prin introducerea parametrului U_{ab} („grad de umiditate” sau de „saturație”) umiditatea se calculează cu relația:

$$U_{as} = \frac{U_{ef}}{U_{max}} \quad \text{unde:} \quad U_{max} = \frac{n\gamma}{1-n}$$

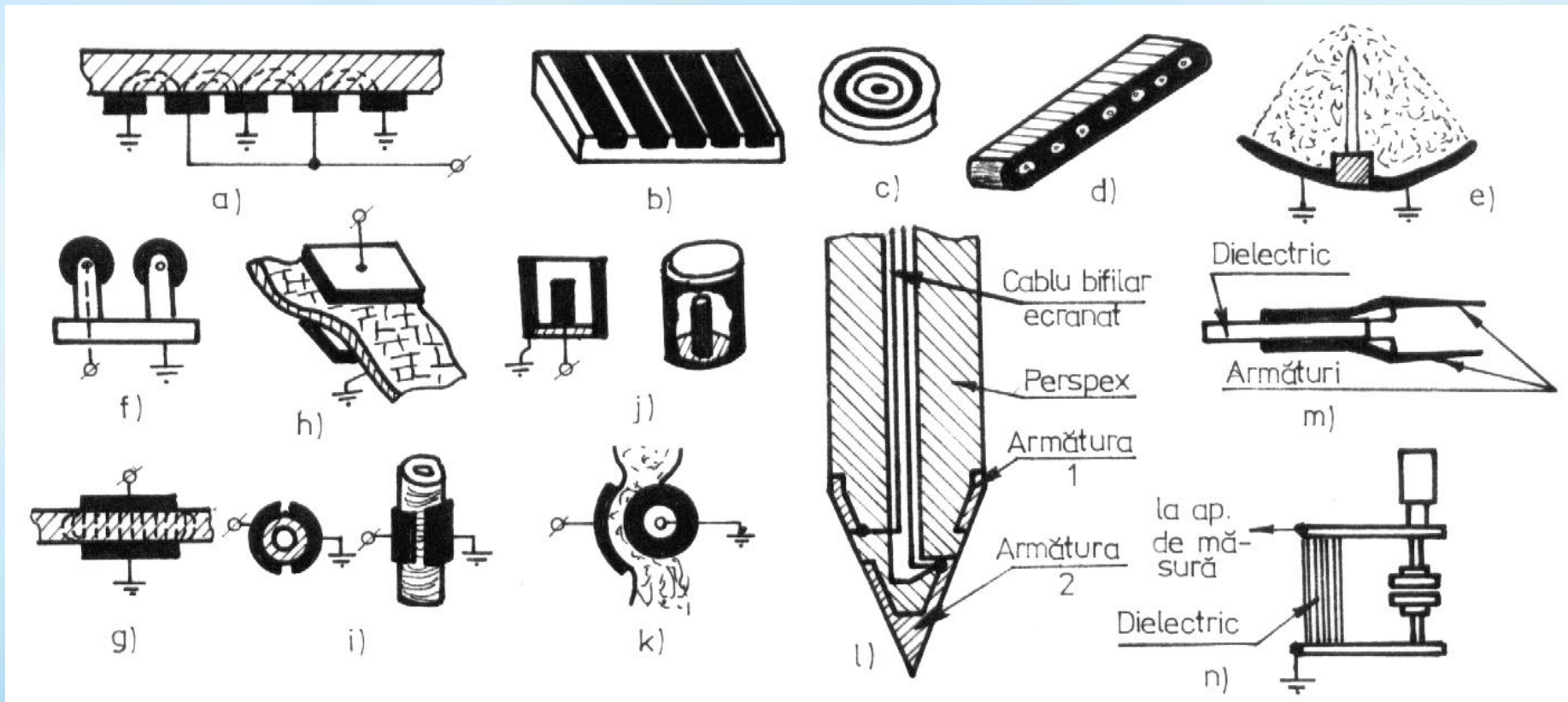
iar U_{ef} și U_{max} reprezintă umiditatea (efectivă), respectiv maximă, n și γ , porozitatea solului, respectiv greutatea specifică a acestuia.

1. Traductoare rezistive pentru măsurarea umidității



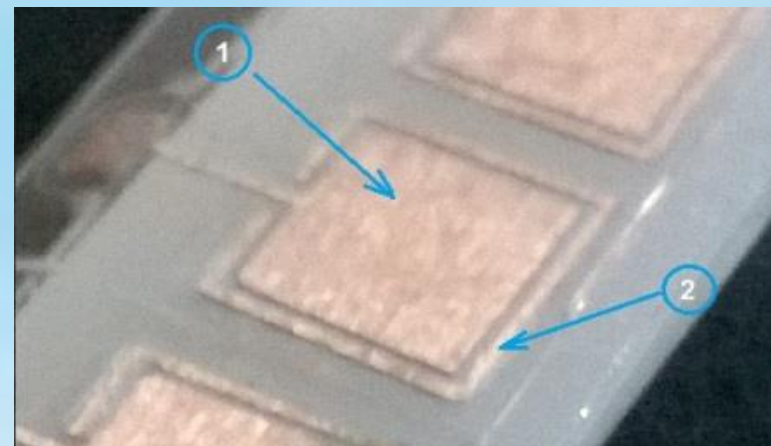
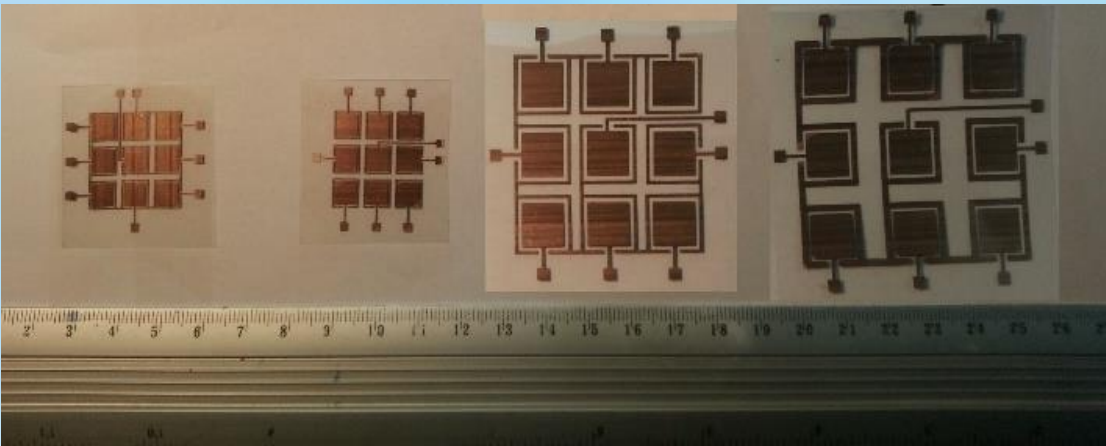
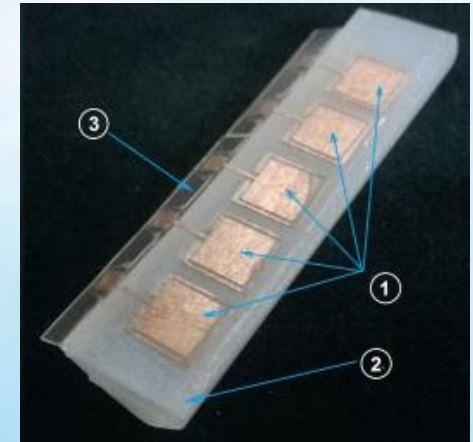
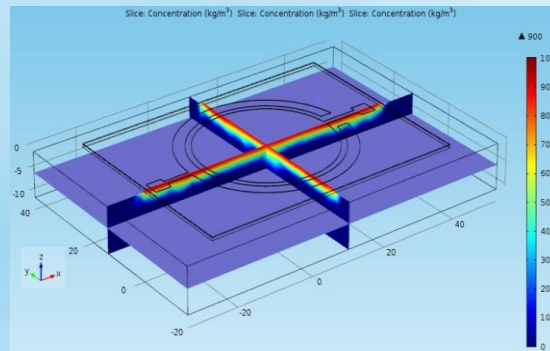
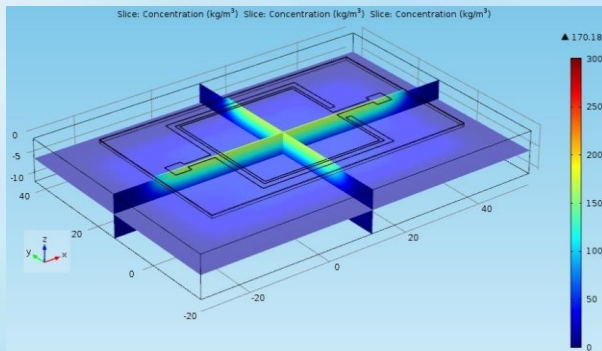
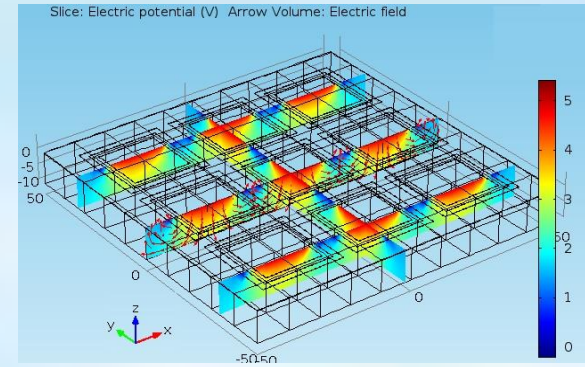
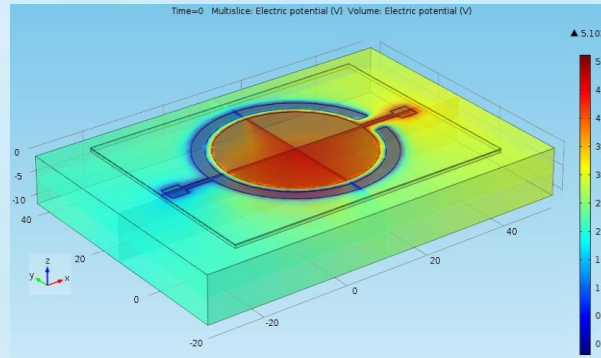
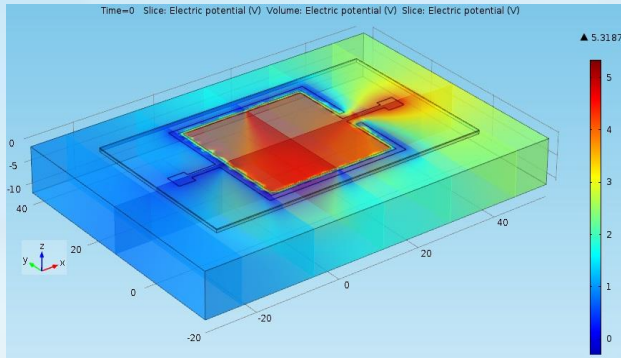
a – traductor menghină pentru materiale sub formă de plăci cu grosimi variabile; b – traductor clește pentru frunze și spice; c – traductor recipient pentru materiale granulare sau pulverulente, d – traductor cu valțuri pentru măsurare continuă la materiale sub formă de bandă (hârtie, produse textile, etc.); e și f – traductor cu role pentru materiale în formă de bandă sau placă; g – traductor cu lame paralele pentru materiale pulverulente; h – traductor cu știfturi pentru materiale în plăci groase; i – traductor ciocan pentru materiale în plăci groase; j – traductor șurub pentru plăci de lemn; k – traductor cu ace pentru materiale afânate în saci, vrac sau baloturi.

2. Traductoare capacitive pentru măsurarea umidității



a, b – traductor cu electrozi multipli coplanari pentru materiale în foi și plăci aflate în mișcare; c – traductor cu electrozi concentrici pentru materiale în foi și plăci; d – traductor cu electrozi multipli pentru materiale afânate; e – traductor cupă pentru materiale în pungi; f – traductor rolă pentru materiale în foi; g – traductor cu electrozi paraleli aplicabili pe probă, pentru materiale în plăci, ce nu se deplasează; h – idem, g, pentru materiale ce se deplasează; i – traductor cu electrozi semicilindrici pentru lichide; j – traductor recipient pentru materiale granulare sau pulverulente; k – traductor valț pentru materiale granulare sau pulverulente în mișcare; l – traductor sondă pentru sol; m – traductor sondă pentru materiale solide; n – traductor cu electrozi plăți pentru materiale solide în plăci de diferite grosimi.

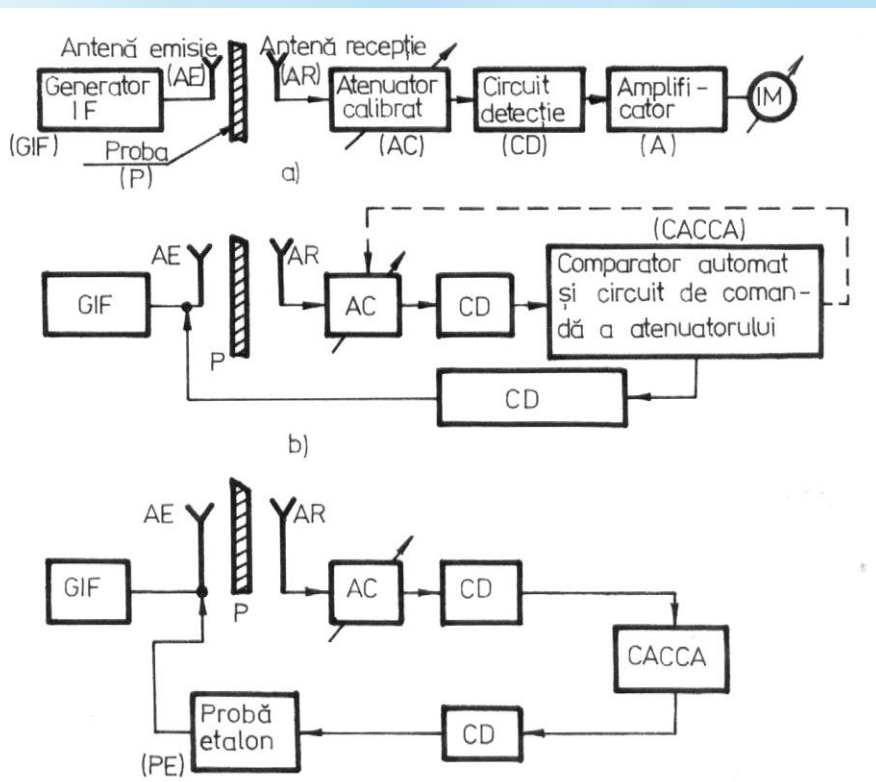
Traductoare capacitiv coplanare pentru măsurarea umidității



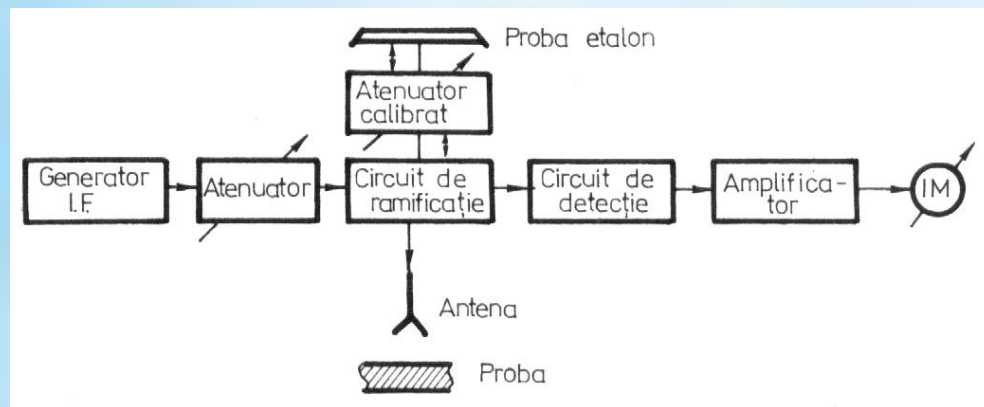
3. Principii ale umidometrelor de frecvențe ultraînalte

Utilizarea frecvențelor ultraînalte pentru măsurarea umidității se bazează pe observarea influenței pe care o are apa liberă din material asupra parametrilor undelor electromagnetice de frecvență ultraînaltă, în special asupra atenuării și defazării lor la străbaterea unui corp umed, prin modificarea în funcție de frecvență a conductivității sale

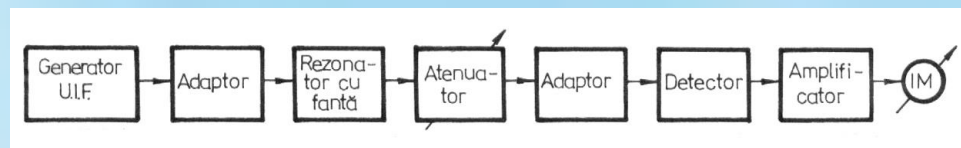
Metoda variației la străbaterea probei



Metoda variației atenuării și defazării prin reflexie

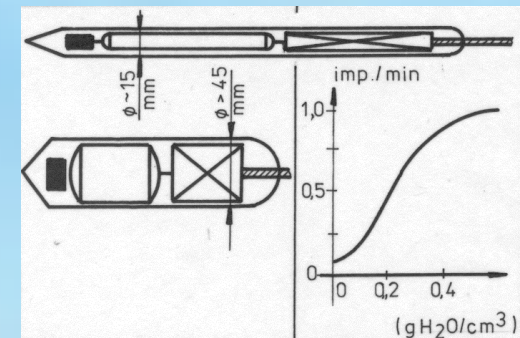
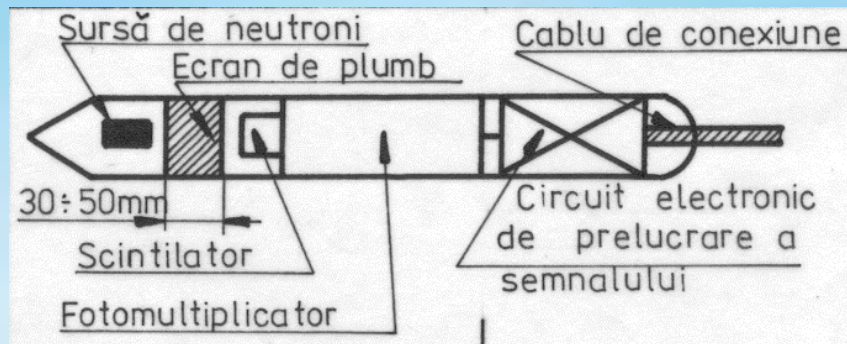
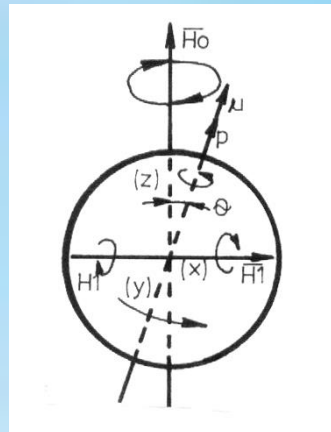
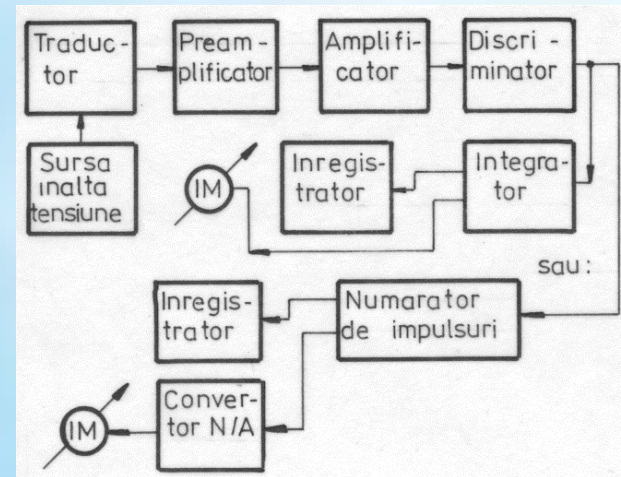
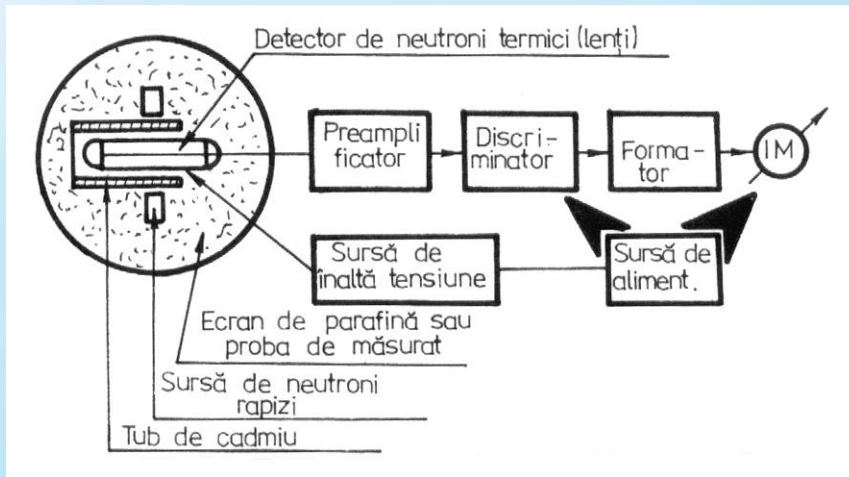


Metoda variației frecvenței și a factorului de calitate



4. Principii ale umidometrelor bazate pe efecte nucleare

Umidometrele bazate pe efecte nucleare majoritar utilizate sunt cele care folosesc surse de neutroni cu energie ridicată (de ordinul MeV) și care prin ciocniri succesive cu moleculele substanței pe care o străbat își cedează o bună parte din această energie inițială, intrând în categoria neutronilor termici (neutroni cu energie slabă). Detectarea numărului acestor neutroni, la un anumit material dă o indicație asupra nucleelor H^+ conținute în materialul respectiv, deci asupra conținutului de apă al acestuia. Ca detectoare de neutroni pot fi folosite camerele de ionizare, contoarele cu descărcare în gaz sau scintilatorii.



BIBLIOGRAFIE

- * Crișan T. E. – *Tehnici non-contact pentru determinarea parametrilor suprafețelor – principii, metode, aplicații*. UTPRES Cluj-Napoca 2006
- * Crișan S. și col. – *Senzori integrați – îndrumător de laborator*. Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2017
- * Dragomir N.D., și col. – *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Vol.1: Măsurarea mărimilor geometrice*. Editura Mediamira Cluj-Napoca, 1998
- * Dragomir N.D., și col. – *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Vol.2: Măsurarea mărimilor termice și fotometrice*. Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2002
- * Dragomir N.D., și col. – *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Vol.3: Măsurarea mărimilor mecanice*. Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2005
- * Dragomir N.D., și col. – *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Vol.4: Măsurarea vibrațiilor și a mărimilor de material*. Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006
- * Tarnovan I.G. – *Metrologie electrică și instrumentație* – Editura Mediamira, Cluj-Napoca 2003
- * Țebrean B. – *Utilizarea senzorilor cu efect Hall în măsurarea șocurilor mecanice*. UTPRES Cluj-Napoca 2018
- * Țebrean B. – *Utilizarea structurilor capacitive în măsurări biomedicale*. UTPRES Cluj-Napoca 2019