

CURS 4

Principii generale de alegere a traductoarelor

Este o problemă tehnico-economică. Principalii factori care definesc eficiența economică a utilizării traductorului sunt:

- eficacitatea operațională - măsură a modului în care acesta satisface cerințele impuse de aplicația căreia îi este destinat, se referă la o perioadă de utilizare fixată, din punctul de vedere a:
 - destinației traductorului (natura și domeniul intrării);
 - caracteristici funcționale, statice, dinamice etc.;
 - condițiilor de instalare și ale mediului;
 - realizării constructive;
 - duratei de funcționare;
 - condițiilor de verificare și atestare a performanțelor.

Componenta eficacității care vizează registrul de performanțe inițiale, capabile să asigure cantitativ și calitativ desfășurarea optimă a procesului tehnologic poartă numele de capabilitate.

Componenta care are în vedere aspectul dinamic, evoluția în timp a capabilității în condițiile prevăzute poartă numele de disponibilitate.

Costurile totale de utilizare însumează cheltuielile de:

- achiziție;
- verificare și instalare;
- întreținere pentru menținerea eficacității operaționale.

1 Traductoare pentru deplasări liniare

Data fiind varietatea elementelor sensibile, traductoarele de deplasare se grupează în următoarele categorii:

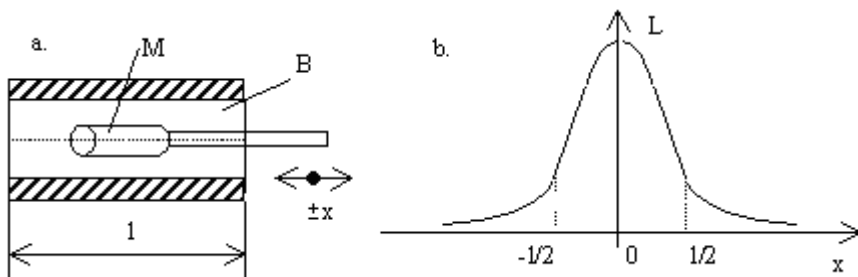
- pentru deplasări liniare mici (max. sute de mm)
- pentru deplasări unghiulare;
- pentru deplasări liniare mari (metri, zeci de metri);
- de proximitate.

1.1 Traductoare pentru deplasări mici

Domeniul acoperit este de ordinul $10^{-2} \dots 10^2$ mm (rareori peste). Cele mai răspândite sunt cele de tip parametric: inductive, capacitive, rezistive.

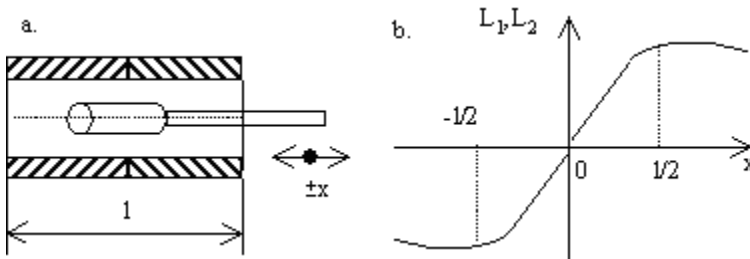
1.1.1 Traductoare inductive

1. Elementele sensibile pot fi:



- cu modificarea inductanțelor mutuale;
- cu modificarea întrefierului.

Elemente sensibile inductive cu miez mobil:

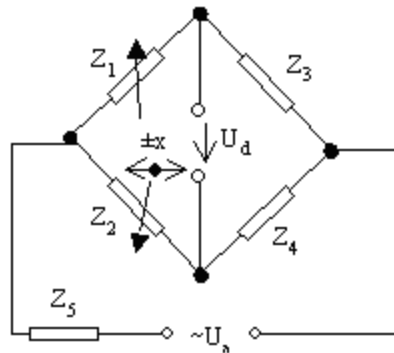


Varianta de bază este constituită dintr-o bobină B, de lungime L, în interiorul căreia se deplasează miezul M, sub acțiunea mărimii de măsurat x, deplasare care provoacă modificarea inductanței proprii L, ca în figură. Curba este pronunțat neliniară, datorită câmpului magnetic neomogen din bobină. De aceea se preferă

a) Varianta diferențială, la care se utilizează două bobine atașate în prelungire, la poziția 0 miezul este introdus egal în fiecare din ele. De asemenea se îmbunătățește și sensibilitatea. Cele două inductanțe sunt:

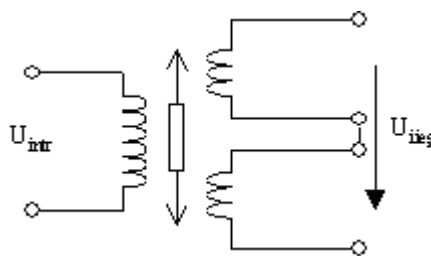
$$L_1 \approx N_1^2 G_1(x)$$

$$L_2 \approx N_2^2 G_2(x)$$



unde:

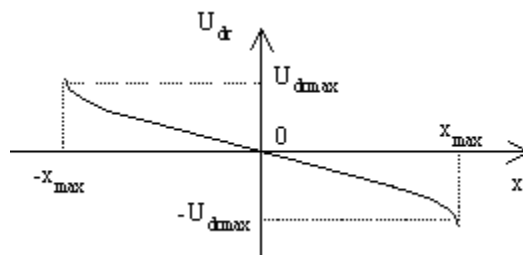
- N_1, N_2 - nr. de spire;
- G_1, G_2 - reluctanțele bobinelor, care de fapt variază neliniar cu x.



La o deplasare a miezului, de exemplu intrând mai mult în L_1 , valoarea inductanței L_1 crește, iar L_2 scade. Raportul de divizare se abate de la 1:2. Punerea în evidență a variației Δz de impedanță se poate face prin conectarea bobinelor în brațele adiacente ale unei punți de impedanțe, alimentată în c.a. de la o sursă de tensiune efectivă U_{ef} și pulsație ω cunoscute și constante. Miezul mobil se continuă cu o tijă din material neferomagnetic și se fixează de piesa în mișcare sau într-un sistem mecanic cu palpator, presat pe suprafața de măsură printr-o forță elastică. De obicei miezul are lungimea 0,2...0,8 din lungimea bobinei, deplasarea maximă de măsurat fiind aprox. 0,1 din lungimea miezului. Tensiunea alternativă de alimentare are frecvența de la sute de Hz la 10..20 kHz (tipic 5 kHz).

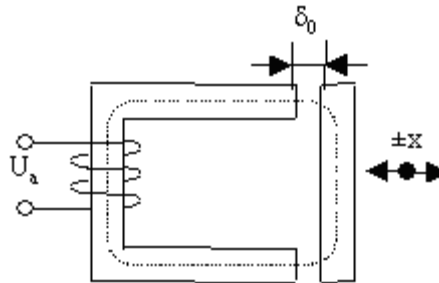
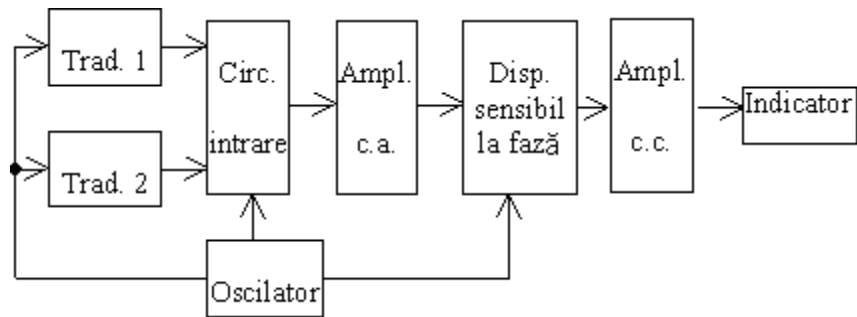
b) Transformatorul diferențial liniar variabil (TDLV) - este o varianta la care bobinele din montajul diferențial constituie secundarul unui transformator. Caracteristica de răspuns se poate observa în figură. Bobina primară este alimentată în c.a., în bobinele secundare se induc tensiuni în opoziție de fază, ele fiind legate în sens contrar. Diferența de tensiuni este nulă în poziția de mijloc a miezului. Performanțe ale acestei variante:

- lipsa frecărilor la deplasarea miezului - rezultă durată de viață mărită, moment de inerție redus, fiabilitate, robustețe;
- rezoluție și reproductibilitate foarte bune;



- insensibilitate la deplasări radiale ale miezului;
- posibilitatea protejării bobinei de mediile corozive;
- asigurarea separării galvanice.

O schemă de adaptor pentru un astfel de traductor se dă în figura următoare.



2) Elemente sensibile cu întrefier variabil. Variante:

a) varianta de bază: cu modificarea grosimii întrefierului prin deplasarea armăturii mobile în dreptul unui miez feromagnetic, uzual din tole bobinate. în alte variante miezurile sunt din ferite, cu armatură feromagnetică. Inductanța elementului este:

$$L = \frac{N^2}{\sum_{k=1}^m \mu_k S_k}$$

unde:

N - nr. de spire;

l_k - lungimea circuitelor magnetice;

S_k - suprafețele de închidere a fluxului magnetic;

μ_k - permeabilități magnetice.

La o variație x a distanței dintre armatura mobilă și cea fixă, inductanța devine:

$$L = \frac{N^2}{\frac{l_m}{\mu_0 \mu_r S_{fe}} + \frac{2(\delta_0 \pm x)}{\mu_0 S_a}} = \frac{k_1}{k_2 + (\delta_0 \pm x)}$$

b) varianta diferențială, care ameliorează dependența neliniară din relația anterioară față de x a inductanței. Tensiunea de dezechilibru este:

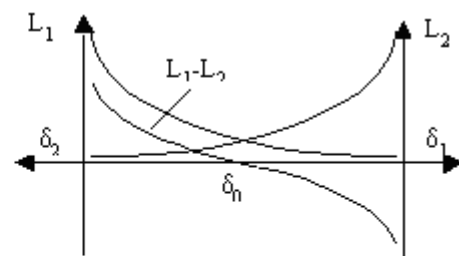
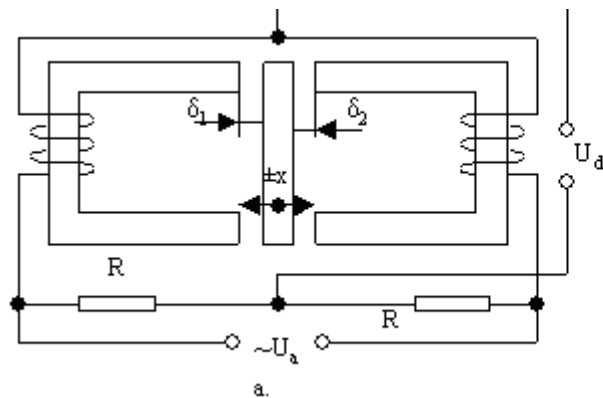
$$U_{dez} \approx K_p U_a R (L_1 - L_2) \omega = k \omega \cdot \Delta L$$

$$|Z + \Delta Z| = \sqrt{R^2 + (L + \Delta L)^2 \omega^2}$$

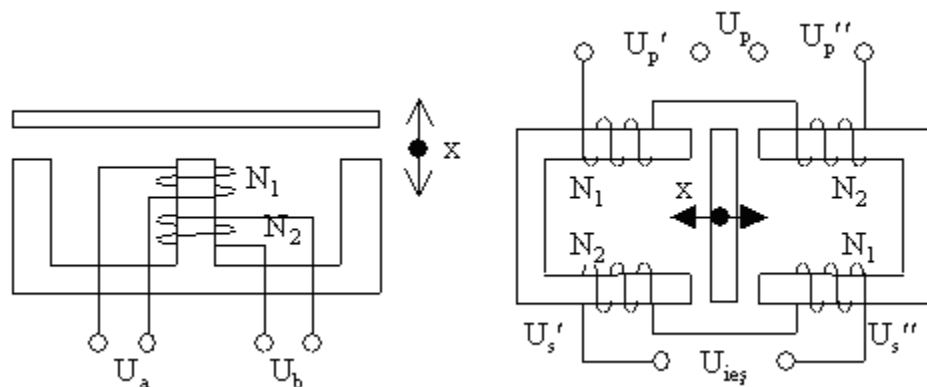
Rezultă că R trebuie să fie mic pentru ca variația de inductanță să determine o variație aproximativ egală de impedanță. Condițiile de liniaritate și de sensibilitate nu pot fi îndeplinite simultan, optimul fiind

$$\frac{\Delta L}{L} = 0,1 \dots 0,3 \quad , \quad \frac{\Delta \delta}{\delta_{max}} = 0,3 \dots 0,4$$

pentru L , cu o variație a întrefierului δ_{max} .



Varianta transformator o întâlnim sub forma:
- simplă; - diferențială.



$$U_b = k(\delta) \frac{N_2}{N_1} U_p$$

$$U_{ie} = 2kx \frac{N_2}{N_1} U_p'$$

Adaptorul pentru transformatorul diferențial cu modificarea întrefierului este realizat din etaje de tip amplificator / redresor și mai frecvent, montaje

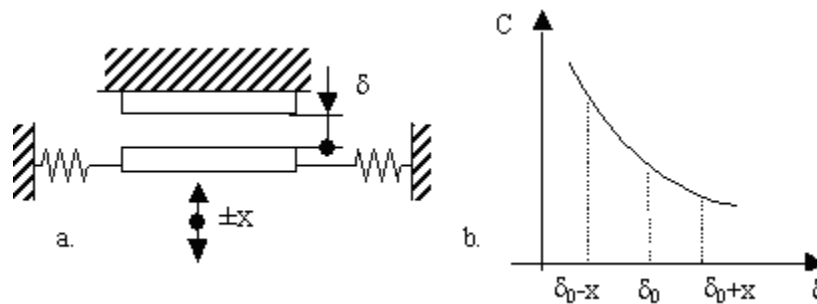
de tip oscilator cu cuplaj magnetic, deci cu amplificator și un cuadripol de reacție de tip circuit oscilant cu reacție.

Aceste elemente sensibile se caracterizează prin:

- gabarit redus;
- rezoluție foarte buna;
- robustețe;
- domenii mici (zeci de μm).

1.1.2 Traductoare capacitive

Se folosesc condensatoare plane, la care se pot modifica:



a) distanța dintre armături.

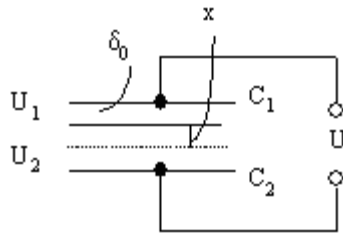
$$C = \frac{\epsilon S}{\delta_0 \pm x}$$

având sensibilitatea:

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta \delta} = -\frac{\epsilon S}{\delta^2}$$

și sensibilitatea relativă:

$$S_r = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\Delta \delta} = -\frac{1}{\delta}$$



Sensibilitatea este sporita la variații mici ale deplasării (μm):
La montajul diferențial:

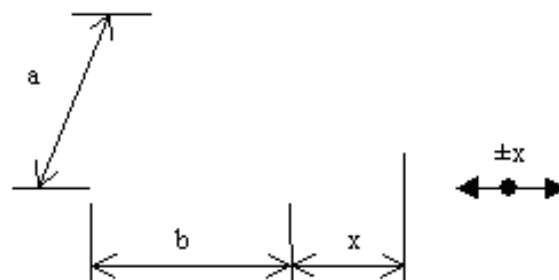
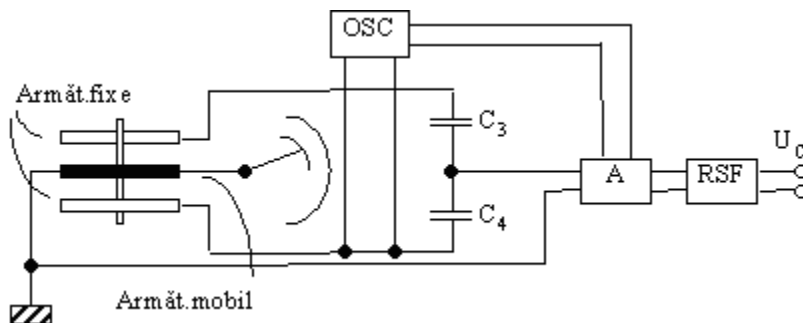
$$U_1 = \frac{\delta_0 + x}{2\delta_0} U$$

$$U_2 = U \frac{\delta_0 - x}{2\delta_0}$$

$$U_1 - U_2 = U_\alpha = \frac{U}{\delta_0} x$$

care depinde liniar de x .

Conversia în semnal util se face cu o punte Sauty, alimentata la 500...5000 Hz, în celelalte brațe având condensatoarele C_3 și C_4 , tensiunea de dezechilibru fiind preluata de un amplificator și un redresor sensibil la fază.



b) suprafața armaturilor.

Sensibilitatea este constantă:

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta x} = - \frac{\epsilon a}{d}$$

unde:

- a,d sunt dimensiunile condensatorului plan;
- x este deplasarea relativă a fețelor una față de alta.

Aceste elemente sensibile se folosesc mai mult pentru măsurarea deplasărilor unghiulare.

c) permitivitatea dielectricului.

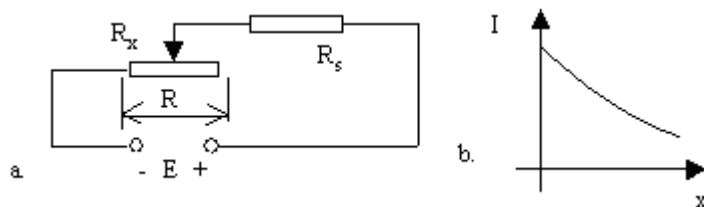
În varianta de bază se realizează din doi cilindri fiți, între care se deplasează un manșon izolator cu o constantă dielectrică diferită de a aerului, alunecând cu frecare cât mai redusă. Se folosesc la măsurarea nivelului unui lichid dielectric sau pulberi dielectrice. Dacă se folosește un condensator plan, a cărui caracteristică este neliniară, elementul sensibil poate servi la măsurarea grosimii unor materiale dielectrice.

Aceste elemente necesită etaje de amplificare cu impedanță mare de intrare, deoarece la modificări de capacități mici (20...200 pf), chiar la frecvențe ridicate (2...20 kHz) impedanțele de ieșire sunt mari, impunând amplificatoare cu $Z_{i \min} = 20 \text{ M}\Omega$. Acest fapt constituie o limitare în folosirea acestor traductoare.

1.1.3 Traductoare rezistive

Deși sunt cele mai simple constructiv, au o folosire mai redusă datorită preciziei și rezoluției relativ scăzute.

Se bazează pe variația rezistenței electrice R a unui conductor cu:



- lungimea l;
- rezistivitatea δ ;
- aria secțiunii S;

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

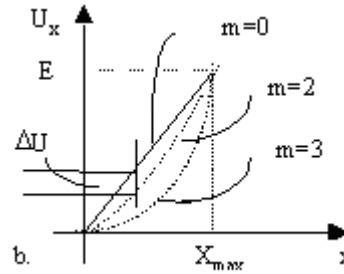
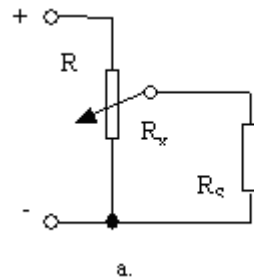
Schemele de conversie folosite sunt:

- în montaj reostatic, cu ieșire în curent:

$$I_x = \frac{E}{R_S + R_x}$$

deci cu dependența liniară

- montaj potențiometric cu ieșirea în tensiune:



$$U_x = \frac{E_x}{mx^* (1 - x^*) + 1}$$

$$x^* = \frac{R_x}{R}; \quad m = \frac{R}{R_S}$$

Caracteristica statică este liniară doar pentru $R_S = \infty$, $m = 0$. Neliniaritatea este cu atât mai mare cu cât R_S este mai mică.

Altă eroare de neliniaritate apare datorită pasului de bobinare, când cursorul calcă pe două spire.

Rezoluția uzuală este de $10^{-3} \dots 10^{-4}$ din mărimea măsurată (0,01 mm la 100 mm). Elementele sensibile se protejează de impurități prin capsulare. Există:

- elemente sensibile realizate prin bobinarea cu pas uniform a unui fir conductor pe un sport izolant; firul este din material cu coeficient de variație al rezistivității cât mai mic: manganin, constantan, nicrom. Pentru cursor se realizează perii din fire de Ag cu grafit; pentru carcasă materiale ceramice cu bună izolație și stabilizate cu temperatura.

- elemente sensibile realizate din materiale conductive, capabile să reziste la un număr mare de curse ale cursorilor (plastic conductiv), permițând obținerea de traductoare liniare suficient de lungi (sute de mm).

2 Traductoare pentru deplasări unghiulare

Se folosesc în cazul:

- unor măsurări unghiulare propriu - zise în domeniul $0^0 \dots 360^0$;
- măsurarea indirectă a unor deplasări liniare convertite în deplasare unghiulară.

2.1 Traductoare rezistive

Cuprind elemente sensibile care funcționează ca și cele liniare, de regulă în montaj potențiomtric, motiv pentru care se mai numesc și servopotențiometre . Relația de funcționare este:

$$U_x = \frac{U_a \alpha}{\alpha_{\max}}$$

Au aceleași dezavantaje în ce privește neliniaritatea și erorile de temperatură.

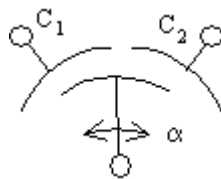
Ele pot fi:

- uniturn, când execută o singură rotație de la 0 la α_{\max} (unghi limitat de zona în care se afla contactele);
- multiturn, care se pot utiliza în domenii peste 360^0 , deoarece au rezistența bobinată pe un suport elicoidal. Variantele standard au 3 sau 10 rotații. Pot fi folosite și pentru măsurarea unor deplasări liniare (5..10 mm) acționate corespunzător prin reductoare mecanice.

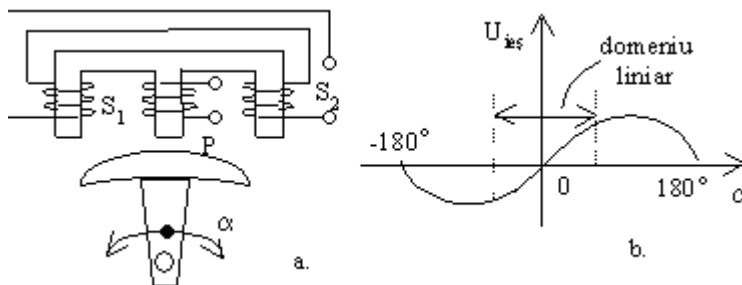
2.2 Traductoare capacitive

Singura variantă este cea cu modificarea suprafeței elementului sensibil, întâlnită sub formă de:

- variantă simplă asemănătoare cu condensatoarele de acord din tehnica radio;
- varianta diferențială.



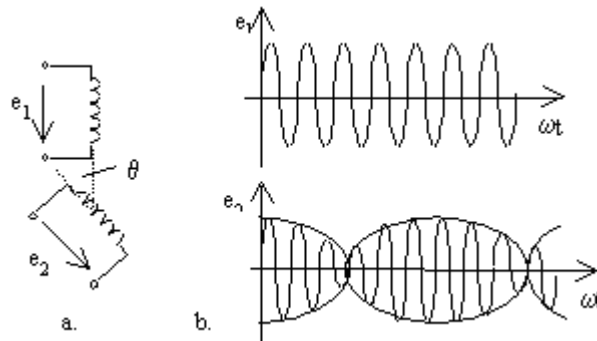
2.3 Traductoare inductive



Principial se aseamăna cu cele pentru deplasări liniare mici, cu adaptarea elementelor sensibile la deplasarea unghiulară. Întâlnim:

- elemente sensibile inductive cu miez feromagnetic mobil. Cel mai utilizat este transformatorul diferențial variabil TRDV. Constă dintr-o bobină primară și două secundare dispuse pe miez feromagnetic (tole E) la care inductanța de cuplaj se modifică datorită deplasării unui rotor feromagnetic închizând astfel diferit fluxul magnetic în cele două bobine secundare. Din cauza neliniarității se folosesc într-un domeniu restrâns: $\pm 40^\circ \dots \pm 60^\circ$. Singura modificare față de varianta liniară, ca performanțe, este apariția unor frecări suplimentare la rotor, dar cuplul fiind mic, acestea pot fi neglijate. Necesită ecranări față de câmpuri magnetice externe. Frecvența de alimentare se alege în gama 400 Hz...2 kHz.

- elemente sensibile inductive de tip selsin.



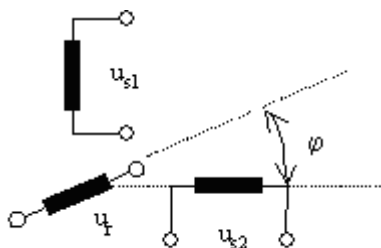
Principiul de funcționare este următorul: statorul inductor este parcurs de o tensiune $e_1 = E_1 \sin \omega t$, care induce în rotor tensiunea $e_2 = E_2 \cos \theta \sin \omega t$. θ este unghiul dintre axele electrice ale celor două înfășurări. La o variație a lui θ între 0° și 360° se obține o tensiune sinusoidală de valoare maximă E_2 , care la fiecare trecere prin zero își schimbă faza. Se pune deci în evidență fiecare semirotăție (prin schimbarea fazei), iar în cadrul unei semirotății ($0^\circ \dots 180^\circ$) amplitudinea tensiunii induse este funcție de unghi.

Se realizează în variantele rezolver și inductosin.

Rezolverul (inductosinul bifazat) conține două înfășurări statorice, decalate electric cu 90° . Rotorul este monofazat. În funcție de modul de alimentare, inductorul poate fi rotorul sau statorul. Dacă rotorul este alimentat cu tensiunea:

$$U_r = U \sin \omega t$$

în stator se induc tensiunile:



$$u_{s1} = U_{s1} \sin \omega t \cos \varphi$$

$$u_{s2} = U_{s2} \sin \omega t \sin \varphi$$

Considerând raportul de transformare între înfășurări 1:

$$U_{s1} = U_{s2} = U$$

deci:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{u_{s1}}{u_{s2}}$$

În cazul alimentării pe stator rezultă două variante de utilizare:
– cu modulație de amplitudine. Înfășurările se alimentează cu tensiunile:

$$u_{s1} = U \sin \alpha \sin \omega t$$

$$u_{s2} = U \cos \alpha \sin \omega t$$

În rotor se induce o tensiune:

$$\begin{aligned} u_r &= U_{s1} \cos \varphi \pm U_{s2} \sin \varphi = U \sin \omega t (\sin \alpha \cos \varphi \pm \sin \varphi \cos \alpha) = \\ &= U \sin \omega t \sin(\alpha \pm \varphi) \end{aligned}$$

unde α este poziția de referință față de care se măsoară poziția relativă a axului. Semnul \pm este determinat de sensul de parcurgere a înfășurărilor s_1 , s_2 . Se obține o tensiune cu amplitudinea modulată cu $\sin(\cos)$ de $\varepsilon = \alpha - \varphi$.

- cu modulație de fază. Statorul se alimentează cu două tensiuni, de aceeași frecvență și amplitudine, decalate cu 90° electrice:

$$u_{s1} = U \sin \omega t$$

$$u_{s2} = U \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U \cos \omega t$$

Tensiunea indusa în rotor va fi:

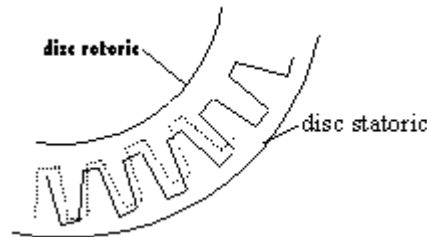
$$u_c = U(\sin \omega t \cos \varphi \pm \cos \omega t \sin \varphi) = U \sin(\omega t \pm \varphi)$$

Faza tensiunii induse este proporțională cu unghiul relativ dintre rotor și stator.

Adaptoare pentru rezolvare. Problema esențială este asigurarea tensiunilor

de alimentare satorice. O soluție constă în utilizarea unui alt rezolver alimentat pe rotor (generare analogică); o altă soluție presupune generarea tensiunilor de alimentare sub formă discretă, prin utilizarea de tensiuni dreptunghiulare dependente de unghiul de referință α , în scopul folosirii acestui gen de traductoare în echipamente numerice de măsurare a poziției.

Selsinele pot fi executate și în varianta multipolară, cu același mod de funcționare, însă corelarea dintre unghiul de rotire și variația fazei sau amplitudinii. Dacă la un selsin bipolar la o rotație completă (360^0 mecanice) corespund 360^0 electrice, la un selsin cu 10 poli la o rotație de 360^0 mecanice corespunde 5×360^0 electrice, sau, pentru a obține o deplasare de 360^\square electrice selsinul trebuie să se rotească cu 72^0 mecanice.



Inductosinul circular. Poate fi echivalat cu un selsin multipolar desfășurat în plan, cu un număr foarte mare de poli. Constructiv, el constă din două discuri plane, separate între ele printr-un interstițiu de aer de $0,1 \dots 0,3$ mm. Unul din discuri este mobil (rotorul), cuplat solidar cu obiectul în mișcare, iar celalalt fix, asociat cu sistemul de referință (statorul). Pe discul fix, de regulă inductor, sunt dispuse două înfășurări multipolare plane, realizate în tehnica cablajelor imprimate. Ele sunt decalate între ele cu 90^0 electrice ($\frac{1}{2}$ din lățimea unei spire). Rotorul, uzual indus, conține o înfășurătură cu același pas. Se constată că pentru $p = 100$ se obține o deplasare de 360^0 electrice la $0,36^0$ mecanice. De regulă pasul de divizare este $\tau = 2^0$ și prin divizare electronică se pot obține precizii de $5''$, chiar $1''$. Precizia ridicată presupune dificultăți constructive: interstițiul paralel perfect dintre stator și rotor, cuplaj inductiv armonice, uniformitatea pasului înfășurărilor, omogenitatea materialului suport. Cu toate acestea, el este unul din cele mai utilizate traductoare în asociere cu echipamentele de comandă numerică.

2.4. Traductoare numerice

Elementul sensibil propriu-zis îl constituie un disc codat, iar prelucrarea informației este specifică modului de codare. Deosebim:

- discuri codate absolut, la care se obține în orice moment informația de poziție în raport cu un punct de referință;
- discuri incrementale, care oferă o succesiune de impulsuri în raport cu ultima poziție atinsă, fiecare impuls constituind un increment de deplasare.



1. Traductoare numerice absolute. La acestea se împarte domeniul de măsurare într-un număr de cuante elementare, a căror mărime determină rezoluția, se alege codul de exprimare a valorilor cuantificate, se înscrie pe disc respectivul cod, care va permite citirea poziției unui cursor față de disc.

Există:

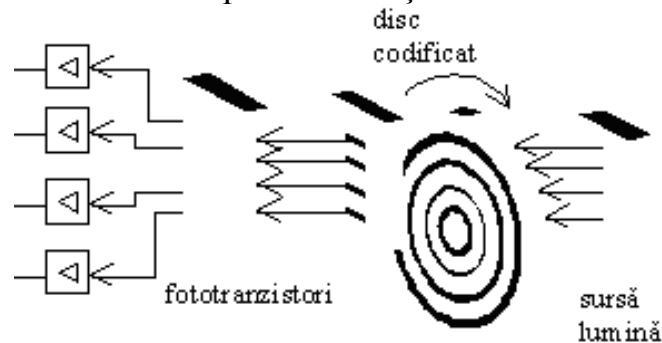
a) Discuri absolute cu contact. Pistele concentrice sunt codificate și formează zone conductoare sau izolate. Suprafețele conductoare sunt legate electric printr-o perie fixată la un inel colector, prin care se alimentează colectorul. Pistele sunt parcurse prin contact de un set de perii, poziționate la distanțe radiale corespunzătoare, fiecare fiind conectată printr-un conductor separat. La rotirea discului periile vor sesiza o zonă conductoare (1 logic) sau izolată (0 logic). Tranzițiile de pe o pistă pe alta trebuie să se facă lin, uzura trebuie să fie aceeași la disc ca și la perii. Un disc cu 10 piste are o rezoluție de $1:2^{10}$ ($1:1024$), dar se pot realiza sisteme cu mai multe discuri cuplate prin reductoare adecvate. Codurile cele mai folosite:

- cod binar natural;
- cod BCD - binar codificat zecimal - folosit când traductorul este cuplat cu echipamente lucrând în același cod;
- cod Gray, care are avantajul că două combinații succesive diferă printr-un singur bit (cod monotonic).

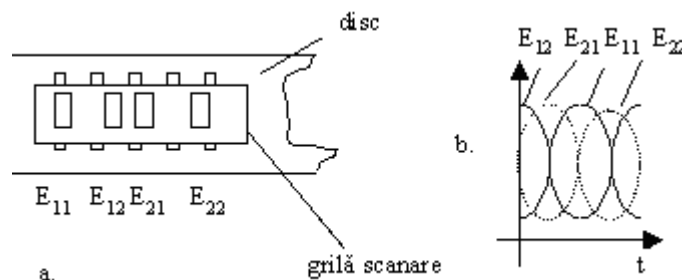
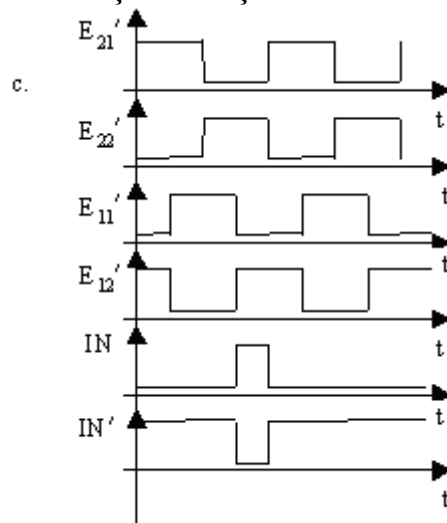
b) Discuri absolute magnetice. Sunt discuri acoperite cu material magnetic folosite în tehnica înregistrărilor magnetice. O zonă magnetizată reprezintă un 0 logic, iar una nemagnetizată un 1 logic. Ele sunt mai complexe decât cele cu contact dar au o durată de viață mult sporită. Nu pot fi folosite în medii industriale, datorită câmpurilor magnetice perturbatoare.

c) Discuri absolute optice. Stau la baza majorității traductoarelor numerice actuale. Discul optic este realizat din sticla specială pe care sunt trasate spații transparente și opace, corespunzătoare zonelor conductoare și izolate de la varianta cu contact. La disc se asociază o sursă de lumină cuplată cu un sistem optic și o matrice de fotoelemente dispuse radial. La realizarea discurilor se folosesc tehnici foto de înaltă precizie (linii radiale distanțate la 0,067 sec, deci rezoluție de $1:10^8$). Coduri folosite: Gray, binar natural, binar codificat zecimal, coduri care simulează funcții sin, cos, log. Ca sursa de

lumină pot fi folosite diode Ga As cu durată mare de viață (mai mare de 10^5 ore). Receptorul este realizat din fotoelemente, eventual celule fotovoltaice, fiind asociate cu amplificatoare și formatoare adecvate.



Ca și traductoarele selsin, discurile codate se pot folosi la măsurarea indirectă a deplasărilor liniare, prin cuplarea de dispozitive mecanice de transformare a mișcării de rotație în mișcare liniară.



2. Traductoare numerice incrementale - generează un număr fix de impulsuri la fiecare unitate de rotație unghiulară a discului codat. Procedul de sesizare a incrementurilor de mișcare poate fi magnetic sau optic, cel optic fiind în

prezent cel mai răspândit, datorită unei simplități relative constructive și a unor facilități în prelucrarea semnalelor.

Circuitele asociate discului trebuie să conțină un numărator care să ofere o ieșire numerică, într-un anume cod, în funcție de incrementuri generați de disc. De asemenea este necesar să indice sensul de rotație, care nu apare în informația dată la numărător. Discurile codate pot fi realizate fie prin transparență (procedeu diasopic) fie prin reflexie (procedeu episcopic).

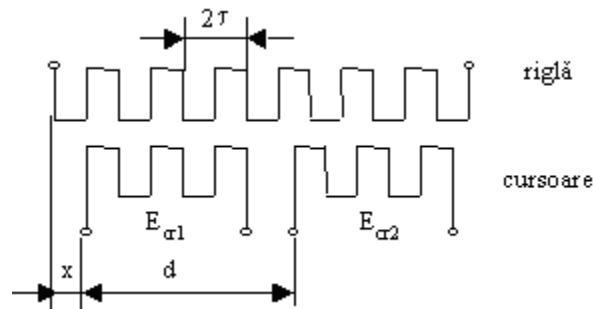
Indiferent de procedeu de iluminare, circuitele de prelucrare realizează aceleași funcții. Cel mai răspândit mod este obținerea prin grila de scanare a patru semnale sinusoidale decalate fiecare cu 90^0 . Cele patru fotoelemente sunt astfel asociate perechi, în montaj diferențial, încât se obține câte o sinusoidă, decalate între ele cu 90^0 . Se generează și un semnal de zero 1N, pentru reproducerea unei poziții de referință. Semnalele astfel obținute sunt prelucrate, amplificate și adaptate pentru tipul de logică în care se va lucra.

Datorită robusteții, simplității constructive, costului scăzut, rezoluției ridicate (până la 360.000 imp / rotație) traductoarele incrementale rotative sunt din cele mai utilizate și în măsurarea indirectă a deplasării liniare, cu precauțiile corespunzătoare pentru compensarea jocurilor mecanice.

2.5 Traductoare pentru deplasări liniare mari

Sunt de tip:

- rigla;
- inductosin;
- optica
- interferometru cu laser.



1. Inductosinul liniar. Ca și cel circular, inductosinul liniar poate fi asimilat cu un selsin multipolar desfășurat în plan, la care rotorul este o riglă a cărei lungime trebuie să acopere domeniul maxim de măsurare, iar statorul este un cursor ce se deplasează deasupra riglei. Pe rigla și pe cursor sunt realizate înfășurări din folie de cupru, imprimate prin metode serigrafice. Rigla are o singură înfășurare, iar cursorul două, toate realizate cu același pas $p = 2\tau_p$.

Între cele două înfășurări ale cursorului exista un decalaj spațial de 90^0 electrice:

$$d = n \cdot 2 \cdot \tau_p \pm \frac{\tau_p}{2}$$

Câteva din caracteristicile unui astfel de sistem sunt:

- lungime rigla: 250 mm;
- pas polar: 2mm;
- rezistența înfășurări riglă $5 \pm 1 \Omega$; cursor $1,5 \Omega$;
- interstițiu riglă - cursor: 0,05... 0,25 mm;
- nr. poli pe rigleta standard: 64...96;
- frecvența tensiunii de alimentare: 2...10 kHz;
- raportul dintre tensiunea inductoare și cea indusă: 150...200.

În domeniul unui pas (semiperioadă) de 2 mm inductosinul este traductor absolut și poate fi folosit ca traductor ciclic absolut într-o schemă care contorizează numeric numărul de semipași (tregeri prin zero ale tensiunii proporționale cu defazajul).

Poate fi conectat în doua feluri:

- cu alimentare pe riglă, culegând două semnale din înfășurările cursorului;
- alimentând cu două tensiuni cursorul și prelucrând un singur semnal de ieșire, soluție mult mai răspândită, în doua variante:
 - cu modulație de faza;
 - cu modulație de amplitudine;

Are o rezoluție foarte bună - $1 \mu\text{m}$. Pentru măsurarea unor lungimi mari se înseriază mai multe rigle.

Erorile cele mai însemnate provin din dilatarea cu temperatura a riglelor și influența câmpurilor magnetice perturbatoare. Schemele electronice de prelucrare a semnalelor folosite la inductosinul liniar sunt asemănătoare cu cele folosite la inductosinul rotativ.

2. Rigle optice. Se realizează și funcționează după principii asemănătoare cu discurile fotoelectrice codate. Se pot realiza ca rigle absolute sau rigle incrementale.

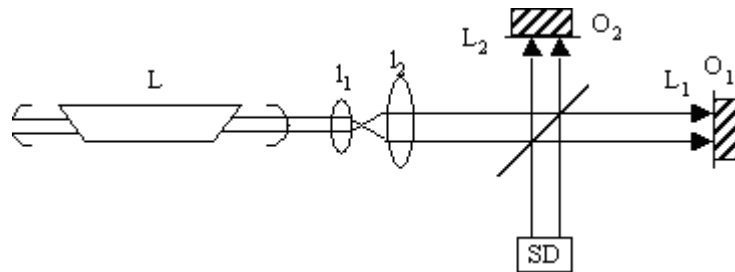
Riglele absolute se pot realiza pentru domenii de cca 1 m, cu precizii de $1 \mu\text{m}$, fiind cele mai precise traductoare industriale de deplasare. Costul este mai ridicat și problemele legate de montaj limitează folosirea lor pentru domenii mari.

Soluțiile de prelucrare a semnalelor sunt aceleași ca și la traductoarele incrementale rotative.

Riglele optice se folosesc cu succes până la lungimi de 3m. Peste aceste lungimi se folosesc rigle din otel, cu procedeu de citire episcopice. Pentru

mărirea preciziei se pot folosi tehnici de multiplicare electronica a numărului de impulsuri (interpolare în cadrul unui pas).

3. Traductoare de deplasare cu laser. Din tehnicile laser, cea mai folosită la măsurarea distanțelor este interferometria. Datorită complexității lor, ele sunt denumite sisteme laser. Principiul metodei interferometrice de măsurare se bazează pe compararea distanței de măsurat cu lungimea de undă a sursei de referință și exprimarea acestei distanțe printr-un număr proporțional cu numărul de franje de interferență sesizate într-un anumit punct.



Un interferometru Michelson se compune din laserul cu HE - Ne L, sistemul de lentile l_1 , l_2 , oglinda semitransparentă S, oglinzile reflectoare O_1 , O_2 și sistemul de detecție a franjelor de interferență SD.

Fasciculul provenit din laserul L este trecut prin sistemul de lentile pentru a-i reduce divergența, apoi este divizat de oglinda semitransparentă S. Cele două fascicule obținute sunt reflectate de oglinzile O_1 și O_2 , dând naștere prin suprapunere fenomenului de interferență, observabil prin sistemul de franje care apare.

Considerând inițial $L_1 = L_2$ și $\Delta\Phi = 0$, o anumită lungime orientată de-a lungul unuia din brațele interferometrului va fi măsurată prin deplasarea corespunzătoare a oglinzii respective. În acest caz defazajul care apare este o măsură directă a raportului dintre $l = L_1 - L_2$ și lungimea de undă a radiației de referință. Sistemul de franje este sesizat cu două fotomultiplicatoare așezate astfel încât să primească simultan lumina de la o zonă de lumină maximă și respectiv de la una de lumină minimă (această situație corespunde unui defazaj de $\pi/2$). Această diferență de fază este independentă de valoarea absorbită a lui \square și permite determinarea sensului mișcării. Un circuit logic cuplat la un numărător reversibil primește semnalele de la cele două fotomultiplicatoare, adăugând o unitate pentru o deplasare similară în sens contrar. Rezultă deci o precizie de măsurare de $\lambda/2$ care poate fi crescută prin prelucrarea numerică a defazajului pentru deplasări mai mici de $\lambda/2$.

Performante ale unui interferometru cu laser:

- eroarea riglei interferometrice: $< 0,1 \mu\text{m/m}$;

- neliniaritatea indicațiilor: $< 0,5 \mu\text{m/m}$;
- sensibilitatea pentru interferometrele curențe: $0,1 \mu\text{m/m}$;
- reproductibilitate mare a unității de măsură: $10^{-8} \dots 10^{-10}$;
- robustețe mare;
- fiabilitate metrologică ridicată;
- ușurință în montarea aparatului, fără necesitatea unor prelucrări speciale;
- efectuarea de măsurători fără contact și în locuri greu accesibile.

<http://electrokits.ro/>