

Prelegerea nr. 3

TRADUCTOARE ELECTRONICE

Introducere

Traductoarele au rolul de a transforma mărimea fizică de măsurat într-o mărime fizică de altă natură care să fie mai ușor măsurabilă.

Transformarea mărimii fizice de măsurat se poate face direct, într-un singur element fizic, sau indirect, prin câteva transformări succesive de mărimi fizice.

Funcționarea traductoarelor electrice directe, adică a traductoarelor ce transformă direct mărimile neelectrice în mărimi electrice, se bazează pe faptul că o mărime electrică ce caracterizează un corp solid sau lichid este influențată de o mărime neelectrică sau că o tensiune electromotoare poate fi generată ca rezultat al acțiunii mărimii neelectrice de măsurat. De cele mai multe ori mărimea electrică ce este modificată sau generată în traductor nu depinde numai de mărimea neelectrică de măsurat ci și de alte proprietăți fizice ale obiectului supus măsurării și de proprietățile fizice ale mediului înconjurător.

Nu pentru toate mărimile neelectrice există principii sau metode adecvate care să permită transformarea directă în mărime electrică. În aceste cazuri se realizează traductoare complexe care să elimine influențele mărimilor ce nu sunt supuse măsurării, să îmbunătățească sub diferite aspecte calitățile traductorului sau să efectueze transformările succesive de mărimi necesare pentru a realiza, cu sensibilitatea prescrisă, transformarea mărimii de măsurat în semnal electric.

În dezvoltarea traductoarelor, calea firească de abordare este aceea de a utiliza ca material de bază siliciul, obținându-se traductoare integrate. Evoluția logică și economică este de a realiza simultan, pe același substrat, și traductorul și elementele de condiționare și prelucrare, parțial sau integral. Se obțin astfel traductoare integrate inteligente. Funcțiile realizate de traductoarele integrate inteligente pot fi: transformări de impedanțe, amplificare, filtrare, compensarea efectelor variațiilor cu temperatura și tensiunea de alimentare, corectarea neliniarităților, codare, modulare, asigurarea redundanței, autotestare, semnalizare, recunoaștere de semnale, etc. În acest fel se obțin raporturi ridicate performanțe / costuri ce duc la pătrunderea traductoarelor pe piața bunurilor de larg consum și la creșterea performanțelor și scăderea costurilor sistemelor de măsură.

Clasificarea traductoarelor electronice

Clasificarea traductoarelor pentru mărimi neelectrice se poate face după patru criterii.

a. După **natura mărimii fizice de intrare**, traductoarele sunt pentru **semnale radiante, termice, mecanice, magnetice și chimice**.

b. După **modul în care are loc transformarea semnalului**, traductoarele sunt **directe și complexe**. Exemple de traductoare complexe: traductoare diferențiale, traductoare cu compensare, etc.

c. După **principiul de funcționare** traductoarele pot fi **parametrice (modulatoare)** și **generatoare (energetice)**.

Traductoarele parametrice sau **modulatoare** transformă variația mărimii neelectrice ce influențează proprietățile electrice ale unui corp într-o variație a unui parametru electric (rezistență, inductanță mutuală, capacitate, etc.) pentru a cărui măsurare este necesară o sursă de energie auxiliară. **Exemple:** termorezistența, transformatorul diferențial, micrometrul inductiv, fotorezistența, piezorezistența, fotodiada, etc. **Traductoarele generatoare** sau **energetice** transformă mărimea neelectrică într-o tensiune electromotoare. **Exemple:** traductoare piezoelectrice, termocuplul, elementul fotovoltaic, etc. Traductoarele parametrice sunt, în general, mai precise decât cele generatoare, consumă mai puțină energie din fenomenul de măsurat și, deci, îl perturbă mai puțin; necesită însă tensiune de alimentare. Traductoarele generatoare au avantajul că dau la ieșire direct o tensiune ce poate fi ușor afișată; nu **necesită tensiune de alimentare**.

d. După **forma semnalului electric de la ieșirea traductorului** acestea sunt **analogice și numerice**.

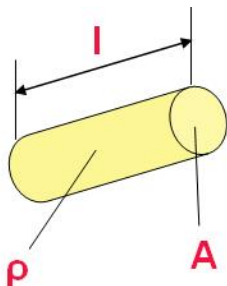
Principiile generale ale traductoarelor

Traductoare analogice directe parametrice

Traductoare rezistive

Variația rezistenței electrice R a unui element ohmic de circuit poate fi obținută prin variația unuia din parametrii ce intervin în relația (2.1):

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

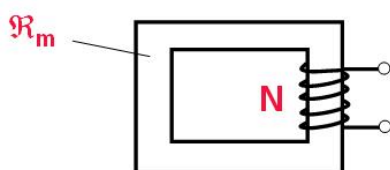


unde:

- ρ - rezistivitatea materialului măsurată în $[\Omega \cdot m]$;
- l - lungimea în $[m]$;
- A - secțiunea în $[m^2]$.

Traductoarele rezistive pot măsura mărimi neelectrice ce produc variația rezistivității (fotorezistențe, piezorezistențe, termistoare, etc.), lungimii (traductoare reostatice, tensometrice) sau secțiunii unui conductor sau semiconductor. De multe ori variațiile celor trei mărimi ρ , l , A nu sunt independente (traductoare tensometrice): alungirea unui fir face să varieze și secțiunea prin stricțiune precum și rezistivitatea prin variația coeziunii microcristalelor materialului. De asemenea rezistența firului nu depinde numai de deformație ci și de temperatura mediului. Dacă se folosește dependența rezistenței electrice a firului de deformație, trebuie redusă la minimum sau compensată variația rezistenței cu temperatura.

Traductoare inductive



Dacă se înfășoară N spire pe un miez magnetic având o reluctanță magnetică \mathcal{R}_m (măsurată în $[H^{-1}]$), se obține o bobină a cărei inductanță este (2.2):

$$L = \frac{N^2}{\mathcal{R}_m} \quad [H] \quad (2.2)$$

Inductanța poate varia dacă se modifică unul din parametrii reluctanței circuitului magnetic \mathfrak{R}_m (2.3):

$$\mathfrak{R}_m = \frac{l}{\mu A} \quad [\text{H}^{-1}] \quad (2.3)$$

unde:

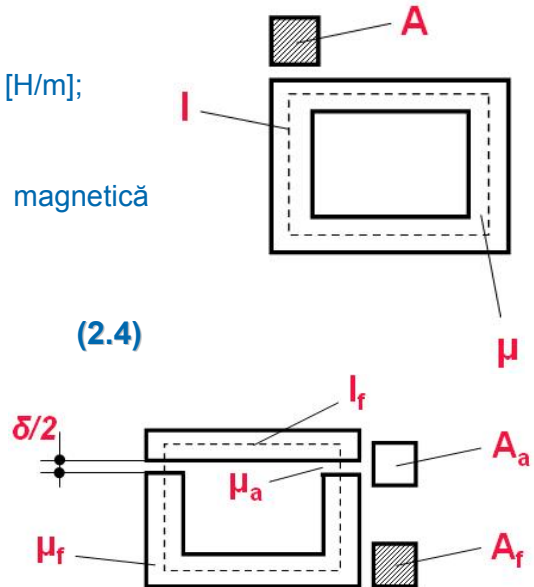
- l - lungimea circuitului magnetic [m];
- μ - permeabilitatea magnetică a materialului [H/m];
- A - secțiunea miezului magnetic în [m²].

Când circuitul magnetic are și întrefier, reluctanța magnetică devine (2.4):

$$\mathfrak{R}_m = \left(\frac{l_f}{\mu_f \cdot A_f} + \frac{\delta}{\mu_a \cdot A_a} \right) \quad [\text{H}^{-1}] \quad (2.4)$$

unde:

- l_f - lungimea circuitului magnetic [m];
- μ_f - permeabilitatea magnetică a materialului [H/m];
- A_f - secțiunea miezului magnetic [m²];
- δ - lungimea întrefierului [m];
- μ_a - permeabilitatea magnetică a aerului [H/m];
- A_a - secțiunea activă a întrefierului [m²].



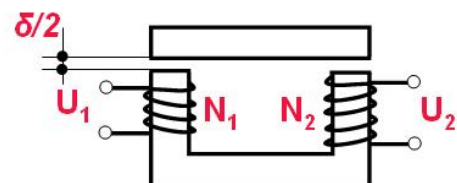
Dacă în relația (2.4) se trece la valori practice și se înlocuiește $\mu = \mu_r \mu_0$ unde μ_r este permeabilitatea relativă, iar $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m] este permeabilitatea vidului (aerului), se obține (2.5):

$$\mathfrak{R}_m = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} \left(\frac{l_f}{\mu_{rf} \cdot A_f} + \frac{\delta}{A_a} \right) \quad [\text{H}^{-1}] \quad (2.5)$$

Se pot realiza traductoare inductive la care se obține o variație de inductanță în funcție de o mărime neelectrică, făcând ca aceasta să modifice unul dintre parametrii ce intervin în expresia (2.5) a reluctanței. Cele mai întrebunțate sunt traductoarele inductive de deplasare bazate pe variația întrefierului.

Traductoare transformator

Sunt dispozitive construite din două înfășurări a căror inductanță mutuală poate varia sub acțiunea mărimii de măsurat. Una din înfășurări este alimentată de la o sursă de tensiune alternativă U_1 , iar în cea de-a doua înfășurare se induce tensiunea U_2 (2.6).



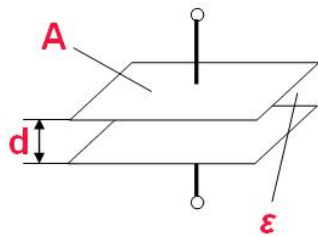
$$U_2 = k \cdot n \cdot U_1 \quad [\text{V}] \quad (2.6)$$

unde:

- k este un coeficient de cuplaj a cărui valoare depinde de construcția sistemului și de mărimea de măsurat;
- $n = N_2/N_1$ este raportul numerelor de spire ale celor două înfășurări.

Este întrebuițat în special pentru măsurarea deplasărilor. Avantajul față de celelalte traductoare parametrice este că furnizează la ieșire o tensiune alternativă fără să mai fie necesară introducerea traductorului într-un circuit de măsurare separat.

Traductoare capacitive



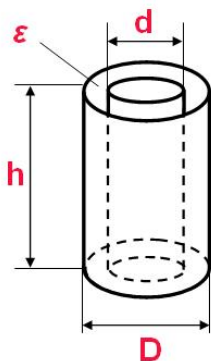
Capacitatea traductorului poate fi calculată după formula generală a capacității unui condensator plan (2.7):

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad [\text{F}] \quad (2.7)$$

unde:

- ε - permitivitatea mediului dintre armături [F/m];
- A - suprafața de suprapunere a armăturilor [m²];
- d - distanța dintre armături [m].

Pentru un condensator cilindric (2.8):



$$C = \frac{2\pi\varepsilon h}{\ln \frac{D}{d}} \quad [\text{F}] \quad (2.8)$$

unde:

- h - înălțimea de suprapunere a cilindrilor [m];
- d - diametrul exterior al cilindrului interior [m];
- D - diametrul interior al cilindrului exterior [m];
- ε - permitivitatea mediului dintre armături [F/m].

Înlocuind $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$, unde ε_r este permitivitatea relativă, iar $\varepsilon_0 = 10^{-9}/36$ [F/m] este permitivitatea vidului (aerului), se obțin expresiile:

- pentru condensator plan (2.9):

$$C = 0,089 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad [\text{pF}] \quad (2.9)$$

- pentru condensator cilindric (2.10):

$$C = 0,56 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{h}{\ln \frac{D}{d}} \quad [\text{pF}] \quad (2.10)$$

Dimensiunile au fost considerate în cm, iar ariile în cm²

Variația capacității traductorului se obține prin modificarea de către mărimea neelectrică de măsurat a distanței dintre armături, a permitivității mediului dintre armături sau a suprafeței de suprapunere a armăturilor. Se întrebuițează pentru deplasări, grosimi, compoziții de substanțe, nivele de lichid, etc.

Traductoare analogice directe generatoare

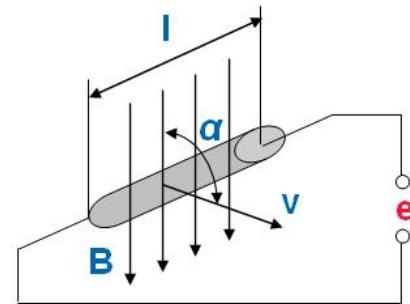
Traductoare electrodinamice (de inducție)

Dacă se deplasează un conductor situat perpendicular pe liniile de forță ale unui câmp de inducție electromagnetică paralel cu el însuși și după o direcție ce formează un unghi α cu cea a liniilor, în conductor se induce o tensiune electromotoare (2.11).

$$e = B \cdot l \cdot v \quad [V] \quad (2.11)$$

unde:

- B - inducția câmpului magnetic [T];
- l - lungimea conductorului [m];
- v - viteza conductorului [m/s];
- α - unghiul între vectorul vitezei și liniile de câmp magnetic.

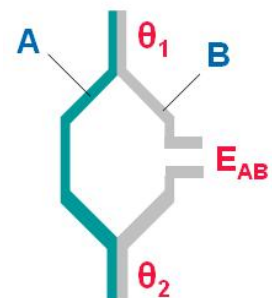


Tensiunea electromotoare indusă este deci proporțională cu viteza de deplasare a conductorului. Traductoarele de acest tip se folosesc la generatoare tahometrice, vibrometre, debitmetre electromagnetice, etc.

Traductoare termoelectrice

Dacă într-un circuit constituit din două conductoare din materiale diferite, A și B , sudate la cele două extremități, se încălzește unul din cele două puncte de contact, apare o tensiune electrică (prin efect Seebeck, Thomson și Peltier) între capetele unuia din conductoare tăiat la mijloc, funcție de temperaturile celor două extremități θ_1 și θ_2 (2.12).

$$E_{AB} = f(\theta_1, \theta_2) \quad (2.12)$$



Acest circuit, numit *termocuplu*, se folosește la măsurarea temperaturilor, amplificând și liniarizând tensiunea furnizată.

Traductoare electrochimice

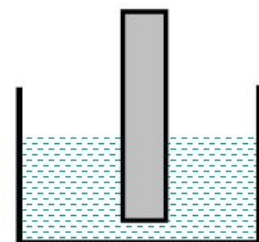
La suprafața de contact dintre un electrod metalic și o soluție conținând ioni din acest metal, sau între două soluții de concentrații ionice diferite, din care una cunoscută și cealaltă necunoscută, separate printr-un perete semipermeabil, apare o diferență de potențial ce este funcție de activitatea ionică, respectiv de concentrația soluției necunoscute.

Măsurând diferența de potențial apărută, se poate determina concentrația soluției necunoscute conform relației lui Nernst (2.13):

$$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln a \quad [V] \quad (2.13)$$

unde:

- E - diferența de potențial electric apărută;
- E_0 - potențialul de electrod, specific pentru metalul respectiv (E_0 este potențialul electrodului când concentrația activă a ionilor săi $a=1$);



- R - constanta gazelor (8,317 J/grad.mol);
- T - temperatura absolută [K];
- n - valența metalului (ionilor);
- F - constanta lui Faraday ($9,65 \cdot 10^7$ C/Kmol);
- a - concentrația activă a ionilor în soluție [mol/litru].

unde:

$$a = f \cdot c$$

- c - concentrația soluției;
- f - coeficientul de activitate, subunitar, sensibil diferit de unitate numai pentru soluții foarte concentrate.

Înlocuind numeric și trecând la logaritm zecimal pentru ioni monovalenți (2.14):

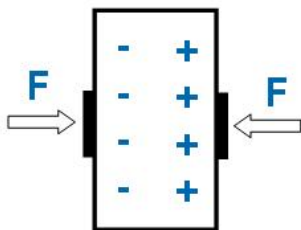
$$E = E_0 + 0,2 \cdot (273 + \theta) \cdot \log a \quad [\text{mV}] \quad (2.14)$$

unde:

- θ - temperatura soluției [°C].

Pentru a se putea măsura potențialul unui electrod față de soluție este necesară utilizarea a încă unui electrod, denumit electrod de referință, a cărui potențial față de soluție nu trebuie să se modifice în funcție de concentrația de ioni din soluție. Tensiunea E are valori tipice de zeci mV iar rezistența internă poate ajunge până la ordinul $10^9 \Omega$.

Traductoare piezoelectrice



Anumite cristale naturale, exemplu cuarțul, sau materiale sintetice, exemplu titanatul de bariu, prezintă proprietatea de a se polariza dielectric, adică de a se încărca la suprafață cu sarcini electrice sub efectul unei deformări provocate de o forță de compresiune sau presiune.

Sarcina electrică apărută ca efect al compresiunii este dată de relația (2.15):

$$Q = k \cdot F \quad [\text{C}] \quad (2.14)$$

unde:

- k este modulul piezoelectric [C/N];
- F este forța [N].

Efectul piezoelectric este folosit pentru măsurarea forțelor, presiunilor, etc.

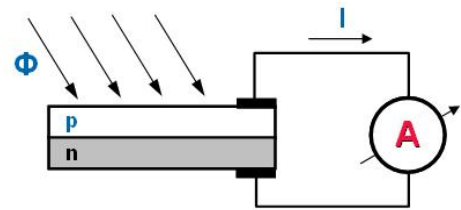
La măsurarea vibrațiilor, elementul piezoelectric este inclus, de regulă, într-o structură de traductor complex cu transformări succesive de mărimi.

Traductoare fotovoltaice (fotoelemente sau celule solare)

Dacă o joncțiune metal semiconductor sau o joncțiune cu semiconductori p și n este supusă unei radiații optice, fotonii comunică electronilor din materialul semiconductor o energie suplimentară, trecându-i în acea parte a joncțiunii din care nu mai pot reveni. Apare astfel o diferență de potențial prin circuit. Dacă punem fotoelementul în scurtcircuit, acesta va genera un curent electric.

unde:

- I - curentul electric generat [A];
- S_{ϕ} - sensibilitatea fotoelementului [A/lm];
- Φ - fluxul radiației optice [lm].



Traductoare analogice complexe

Nu întotdeauna traductoarele electrice directe răspund cerințelor impuse traductoarelor, fie din punctul de vedere al sensibilității, fie din punctul de vedere al independenței de factorii paraziti sau al consumului de energie minim din procesul măsurat. În asemenea cazuri se pot utiliza traductoare complexe, în care se înglobează mai multe tipuri de traductoare directe și chiar alte elemente de aparate.

Traductoare diferențiale

Ideea de bază a acestor traductoare complexe constă în utilizarea a două traductoare identice, uneori reunite într-o construcție unitară, legate astfel încât semnalele utile, datorate mărimii de măsurat, să se însumeze iar semnalele parazite, datorate factorilor perturbatori, să se scadă, anulându-se astfel efectul lor.

În fig.2.2 se dă un exemplu de traductor complex diferențial inductiv pentru măsurarea deplasărilor.

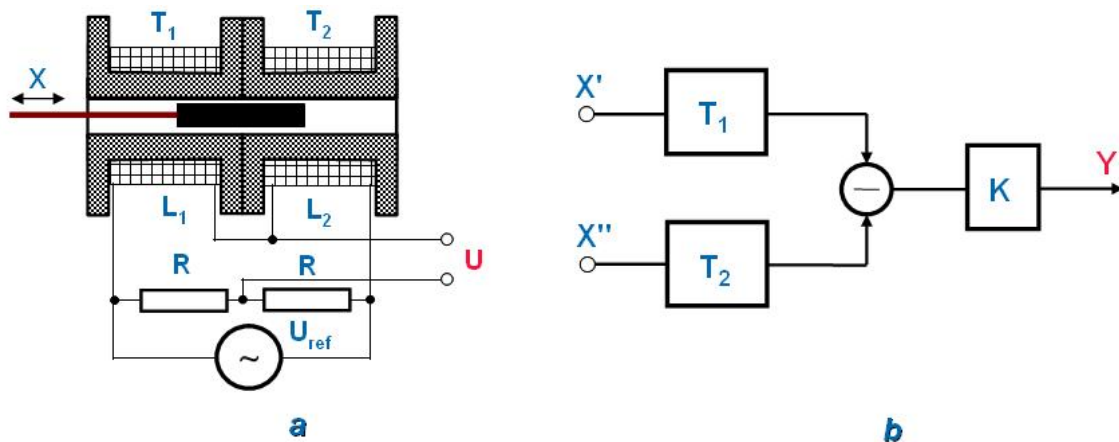


Figura 2.2

Deplasarea acționează diferențial pe traductoarele directe T_1 și T_2 și produce semnale corespunzătoare (variații de inductanță de sens contrar). Temperatura, îmbătrânirea materialelor sau alt factor perturbator, acționează variind în același sens inductanța și rezistența ambelor traductoare, ca factori de mod comun, și nu produc semnal la ieșire. Utilizarea traductoarelor complexe diferențiale are ca efect și liniarizarea caracteristicilor statice de transfer față de cele ale traductoarelor directe, ducând astfel la folosirea lor în multe aplicații.

Traductoare cu transformări succesive de mărimi

Un astfel de traductor este prezentat în fig. 2.3. Ca exemplu este dat un traductor de presiune, constând dintr-o membrană ce se deformează la variația presiunii, o pârghie ce

transmite deplasarea apărută și un traductor inductiv ce transformă modificarea întrefierului în modificarea inductanței.

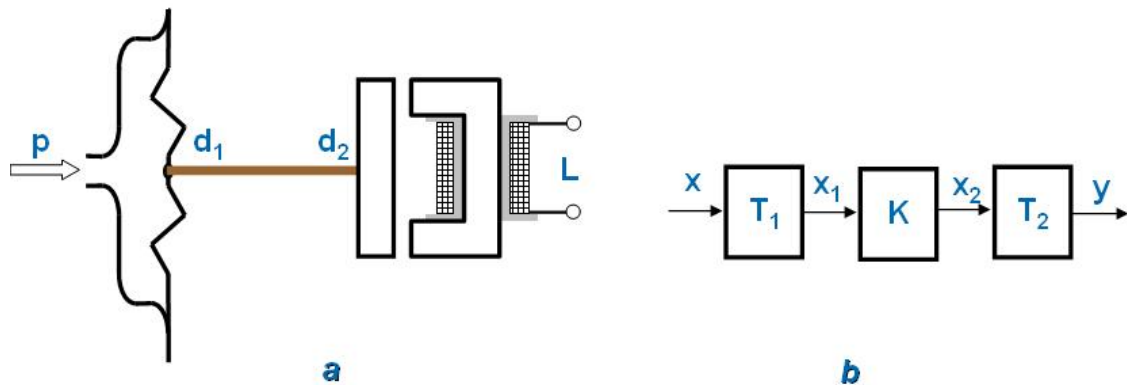


Figura 2.3

Sucesiunea de transformări este: presiunea p , respectiv mărimea de intrare X ; deplasarea $d_1 \rightarrow X_1$; deplasarea $d_2 \rightarrow X_2$; mărimea de ieșire Y , respectiv inductanța L .

Astfel de traductoare complexe cu transformări succesive de mărimi permit ca pentru sesizarea variațiilor mărimii ce trebuie măsurată să se folosească traductorul cel mai potrivit din punctul de vedere al sensibilității la această mărime de intrare, chiar dacă este neindicat ca mărime de ieșire. Traductoarele cu transformări succesive nu rezolvă însă și independența de factorii perturbatori sau consumul minim de energie.

Traductoare cu compensare

Traductoarele cu compensare constituie o dezvoltare a principiului traductoarelor diferențiale. În aceste traductoare se compară în mod automat mărimea necunoscută de măsurat cu o mărime de referință de aceeași natură cu mărimea de măsurat, dar cunoscută exact. Un exemplu este dat în fig.2.4.

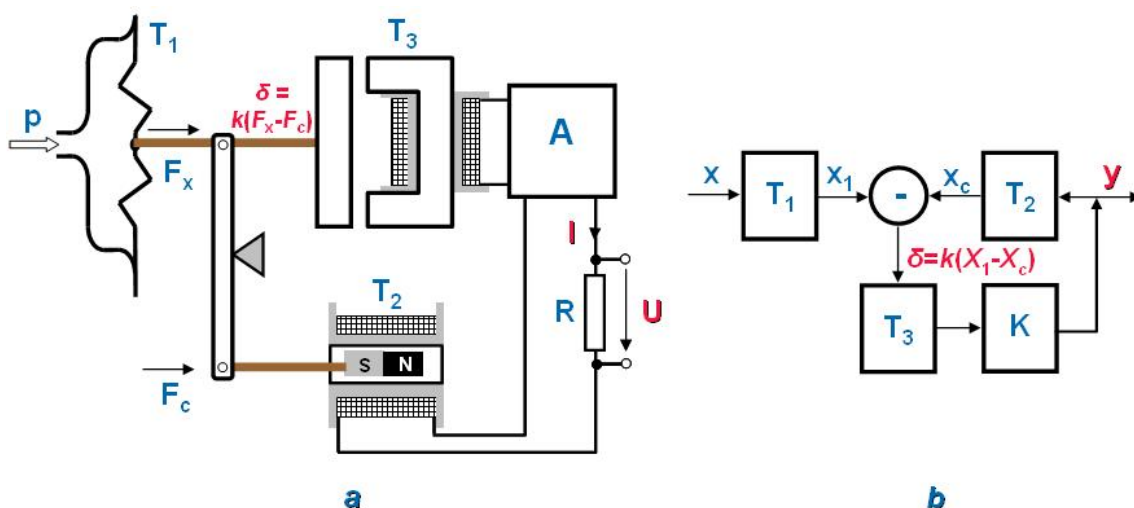


Figura 2.4

Mărimea de măsurat p (notată cu X în schema bloc) se aplică unui element de comparație în mod nemijlocit sau după o transformare într-un prim traductor direct (cu forța F_x , respectiv X_1). Aceluiași element i se aplică și mărimea de referință (compensare) F_c (respectiv X_c) ce compensează mărimea de măsurat F_x (sau X_1). Diferența ce rezultă din această comparație, $\delta = k(F_x - F_c)$ respectiv $\delta = k(X_1 - X_c)$, este amplificată de amplificatorul A (respectiv blocul K), la

ieșirea căruia se obține mărimea U (respectiv Y). Totodată se comandă traductorul T_2 ce produce mărimea de referință F_c – (respectiv X_c). Întregul traductor cu compensare constituie un servosistem de urmărire ce tinde să mențină în mod permanent egalitatea $X_1=X_c$.

Deși mai complicate, traductoarele cu compensare au o serie de avantaje esențiale: măsurarea și conversia mărimii necunoscute se face fără consum de energie din procesul măsurat; la ieșirea traductorului se poate obține un semnal de putere mare și sarcina de la ieșirea traductorului nu afectează măsurarea; se poate asigura compensarea aproape completă a efectelor factorilor perturbatori.