

CAPITOLUL 8

TRADUCTOARE DE DISTANȚE ȘI POZIȚII

8.1 Traductoare pentru deplasări liniare mici

Aceste traductoare sunt destinate, în special conversiei intermediare a unor mărimi a căror variație se materializează, prin sisteme mecanice, în deplasări liniare mici. Domeniul acoperit este aproximativ până la 10 cm. Cele mai răspândite traductoare de acest tip sunt cele parametrice: inductive, capacitive și rezistive.

8.1.1 Traductoare inductive pentru deplasări liniare mici

a) Senzori inductivi cu miez mobil

În varianta de bază, senzorul este format dintr-o bobină în interiorul căreia se deplasează un miez feromagnetic sub acțiunea mărimii de măsurat. Această deplasare provoacă o variație neliniară în formă de clopot a inductanței proprii a bobinei, datorită câmpului magnetic neomogen creat în bobină. În plus, apar forțe de atracție care influențează deplasarea miezului, forțe care pot fi eliminate în *varianta diferențială*. În acest caz, se utilizează două bobine în interiorul cărora se deplasează miezul mobil; în poziția 0, de referință, miezul este introdus în mod egal în cele două bobine. Varianta diferențială crește sensibilitatea, iar caracteristica statică este mult mai liniară. Principiul de funcționare se bazează pe modificarea reluctanțelor circuitelor de închidere a fluxurilor, deci și modificarea inductanțelor. Punerea în evidență a variației de impedanță se face prin conectarea bobinelor în brațele adiacente ale unei punți de impedanțe, alimentată cu tensiune alternativă cu frecvența de sute Hz ... 5 kHz.

Transformatorul liniar diferențial variabil (TLDV)

Este format dintr-o bobină primară și două bobine secundare plasate simetric într-o capsulă cilindrică. Bobinele secundare sunt legate în serie, în sensuri contrare și deci tensiunile induse sunt în opoziție de fază. Astfel, la ieșire se obține diferența tensiunilor induse în cele două bobine secundare. Diferența este nulă când miezul se află în centru. Caracteristica de transfer reprezintă o dreaptă în cadranele

I și III ce trece prin zero. Tensiunea de alimentare a bobinei primare are valoarea efectivă 1...10 V, iar frecvența este 40 Hz ... 20 kHz.

Un avantaj al transformatorului liniar diferențial variabil față de senzorul inductiv diferențial în punte este tensiunea de ieșire mai mare (50 ... 300 mV/mm).

Performanțele senzorilor cu miez mobil sunt următoarele:

- la deplasarea miezului nu se produc frecări, rezultând fiabilitate ridicată, moment de inerție redus și robustețe;
- rezoluție și reproductibilitate bune;
- insensibilitate la deplasări radiale ale miezului;
- protecția bobinei la medii corozive, presiune și temperaturi înalte;
- separare galvanică;
- optimizarea factorului de calitate.

b) Senzori inductivi cu întrefier variabil

Acești senzori își modifică grosimea întrefierului prin deplasarea unei armături mobile în dreptul unui miez feromagnetic. Miezul este alcătuit din tole sau ferită pe care se află o bobină alimentată la tensiune alternativă. Prin variația fluxului, datorită variației reluctanței magnetice, variază și inductanța, cu atât mai neliniar cu cât domeniul de variație al întrefierului este mai mare.

O îmbunătățire a liniarității și sensibilității se obține la *montajul diferențial*. Condițiile de liniaritate și sensibilitate nu pot fi îndeplinite simultan, compromisul optim fiind dat de relația:

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

În relația de mai sus, s-a notat cu δ întrefierul, iar cu L inductanța.

Senzorii cu modificarea întrefierului se construiesc și tip transformator, simplu sau diferențial.

Transformatorul diferențial cu modificarea întrefierului poate fi cuplat cu etaje tip amplificator redresor dar cel mai des este folosit montajul tip oscilator cuplat magnetic, realizat dintr-un amplificator și un cuadripol de reacție de tip circuit oscilant acordat.

Traductoarele de acest fel au gabarit redus, rezoluție foarte bună și robustețe. Sursa principală de erori este îmbătrânirea circuitului magnetic. Domeniul mic pentru deplasări (câteva zeci de μm) le recomandă ca elemente de conversie intermediară în traductoarele pentru mărimi mecanice, bazate pe principiul balanței de forțe.

c) Traductoare bazate pe curenți turbionari

Sunt formate dintr-o bobină senzor și un adaptor electronic. Procesarea semnalelor se face cu circuite specializate.

Când bobina senzorului este alimentată în curent alternativ, ea generează un câmp magnetic variabil, ce induce curenți turbionari în orice obiect metalic apropiat. Acești curenți circulă în sens invers câmpului magnetic produs de bobină, reducând fluxul magnetic și deci inductanța. Curenții turbionari disipă energie, crescând rezistența bobinei.

Un senzor cu curenți turbionari poate fi modelat ca un transformator al cărui coeficient de cuplaj depinde de distanța dintre obiectul până la care se face măsurarea (țintă) și bobină. Modelul poate fi simplificat sub forma unei inductanțe în serie cu o rezistență ce depinde de distanța x , dintre țintă și bobină. La micșorarea distanței dintre senzor și țintă, inductanța scade și rezistența crește.

În figura 8.1 este reprezentată variația rezistenței R , a inductanței L și a factorului de calitate Q , la o frecvență de 1MHz.

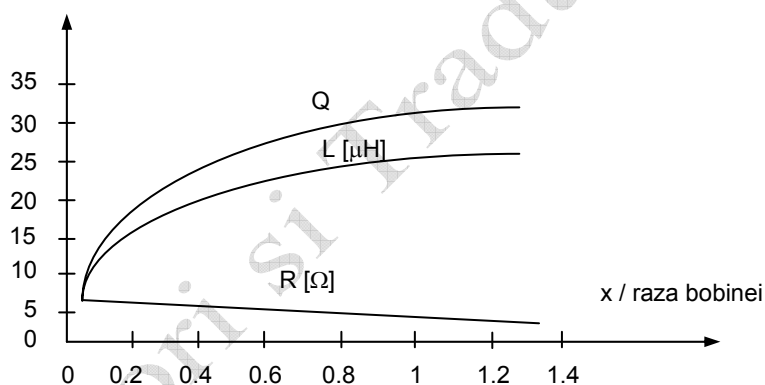


Fig. 8.1

Materialele folosite pentru țintă sunt aluminiul sau oțelul inoxidabil. Ținta din oțel inoxidabil are conductivitatea de 28 ori mai mică decât a aluminiului, rezultând pierderi mai mari în curenți induși și rezistențe mai mari, în special la distanțe mici. Conductivitatea țintei afectează foarte puțin inductanța.

Din punctul de vedere al răspunsului în frecvență, pentru senzorul anterior se observă o rezonanță la aproximativ 7 MHz, cauzată de cablul de legătură și de capacitatea parazită a înfășurării.

Frecvența la care inductanța are un maxim este denumită *frecvență de autorezonanță*, iar senzorul trebuie folosit până la o frecvență de trei ori mai mică decât aceasta. Frecvența de lucru se alege cât mai mare pentru a crește factorul de

calitate Q , valorile de frecvență practice pentru bobine fără miez fiind 100 kHz ... 10 MHz.

Variația temperaturii este principala sursă de eroare pentru senzorii cu inducție magnetică. Inductanța și rezistența sensorului au coeficienți de temperatură pozitivi, care depind de frecvență.

Răspunsul unui senzor cu inducție magnetică depinde de conductivitatea și permeabilitatea magnetică a țintei. Cele mai bune materiale pentru țintă sunt metalele nemagnetice de mare conductivitate, ca aluminiul și cuprul și metalele magnetice.

Și alte caracteristici ale țintei afectează comportarea sensorului: dimensiunile țintei sunt mai mici decât dublul diametrului bobinei senzor, ținta are suprafața curbată sau rugozitatea suprafeței țintei este comparabilă cu adâncimea de pătrundere.

Bobina senzor se realizează prin bobinare și impregnare sau pe cablaj imprimat, variantă mai ieftină și cu dimensiuni mai mici. Cablul de legătură al bobinei senzor poate fi coaxial, plat, cu două fire răsucite sau legături pe cablaj imprimat. Cablul afectează performanțele, deoarece toate cablurile au inductanță, capacitate și rezistență electrică. Inductanța cablului se adaugă la cea a sensorului. Deoarece inductanța cablului nu este sensibilă la deplasare, ea reduce sensibilitatea sensorului. Capacitatea cablului este o parte a circuitului rezonant, astfel că orice instabilitate a capacității cablului degradează acuratețea măsurătorii. Variația cablului cu temperatura și mișcarea cablului produc erori, de aceea se folosesc cabluri ecranate. Rezistența cablului trebuie să fie mică, pentru a nu reduce factorul de calitate Q .

Circuitul de bază pentru senzorii cu curenți turbionari este redat în fig. 8.2.

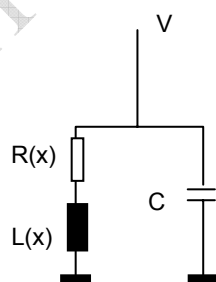


Fig. 8.2

Adăugând un condensator în paralel, se obține un senzor rezonant care mărește sensibilitatea raportului impedanță / deplasare. Rezonanța determină variații rapide ale impedanței circuitului, fig. 8.3. Mărimea vârfului frecvenței de rezonanță depinde Q , deci de deplasarea țintei.

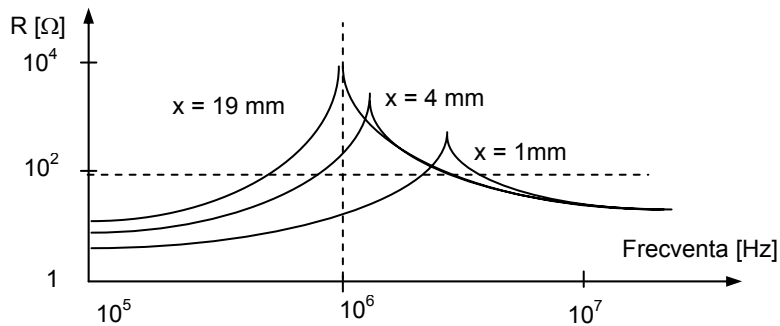


Fig. 8.3

Un mod simplu de a converti deplasarea în tensiune este să se comande un circuit rezonant cu o sursă de curent la o frecvență fixă și să se demoduleze, fie amplitudinea, fie faza tensiunii de la ieșirea senzorului. Detecția amplitudinii și a fazei este complexă, necesitând un oscilator independent, un detector de fază, un filtru trece jos și circuite analogice de postcondiționare.

Un senzor de poziție ieftin, cu circuit autooscilant este prezentat în figura 8.4.

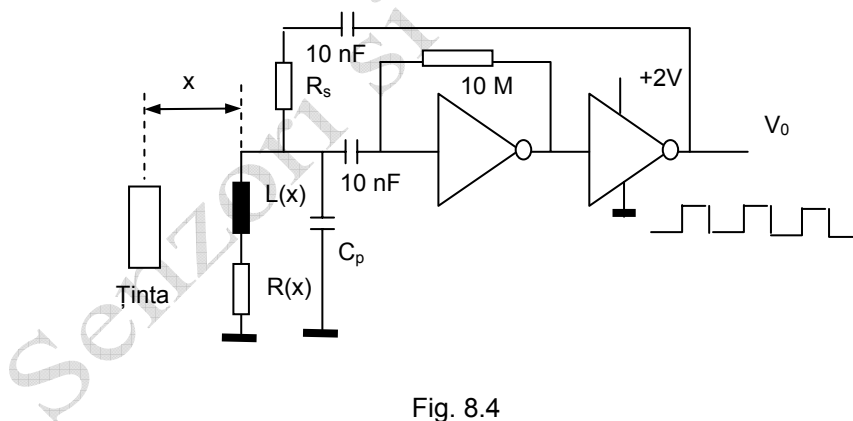


Fig. 8.4

Schema este un oscilator comandat realizat cu porți logice CMOS de tensiune scăzută, 2 V. Cele două inversoare au câștig mare de tensiune, pozitiv, astfel că schema oscilează la o frecvență la care deplasarea de fază a senzorului cu rețea rezonantă este zero.

Ieșirea este sub formă de impulsuri dreptunghiulare cu frecvența dependentă de deplasare. Frecvența se măsoară cu un microcontroler, prin legarea ieșirii direct la portul numărător / temporizator. Microcontrolerul liniarizează, deplasează și scalează numeric ieșirea, folosind constante memorate în timpul calibrării.

8.1.2 Traductoare capacitive pentru deplasări liniare mici

a) Senzori capacitivi cu modificarea distanței dintre armături

Sunt alcătuiți dintr-un condensator plan cu două armături, una fixă și cealaltă mobilă sub acțiunea deplasării. Variația capacității în funcție de deplasare este neliniară. Liniaritatea crește dacă se folosește un montaj diferențial cu două condensatoare plane, având o armătură comună, mobilă.

Schema unui traductor cu senzor capacitiv diferențial folosește o punte Sauty, alimentată de un oscilator sinusoidal de referință, cu frecvența de 500 Hz ... 5 kHz.

b) Senzori capacitivi cu modificarea dielectricului

Sunt construiți din doi electrozi cilindrici fiși, între care se deplasează un manșon izolator, cu o constantă dielectrică diferită de a aerului.

Sunt folosiți la măsurarea nivelului lichidelor sau pulberilor dielectrice. Senzorii capacitivi cu modificarea dielectricului de tip condensator plan au o caracteristică neliniară și se utilizează la determinarea grosimii unor folii din material izolant, hârtie sau carton.

Adaptorul electronic necesită etaj de amplificare cu impedanță de intrare mare, deoarece la modificări mici de capacitate, 20 .. 200 pF, rezultă impedanțe de ieșire de sute k Ω ... M Ω .

8.1.3 Traductoare rezistive pentru deplasări liniare mici

Se bazează pe dependența liniară între rezistența electrică a unui conductor și lungimea acestuia. Deși traductoarele cu senzori rezistivi sunt simple, utilizarea lor este redusă datorită erorilor și rezoluției scăzute.

Senzorii rezistivi cu variație cvasicontinuă sunt realizați prin bobinarea cu pas uniform a unui fir conductor pe un suport izolator.

Deoarece principalele surse de erori sunt variația temperaturii mediului și erorile de contact, se impun următoarele condiții:

- firul conductor se realizează dintr-un material cu coeficient de variație a rezistivității cu temperatura foarte mic (manganină, constantan, nicrom);
- pentru cursor, se folosesc lamele sau perii din argint cu grafit;
- pentru suport, se folosesc materiale ceramice cu izolație și stabile cu temperatura.

Schemele de conversie sunt de două feluri:

- montaj reostatic, cu ieșire în curent și variație neliniară;
- montaj potențiomtric, cu ieșire în tensiune și caracteristică statică liniară doar pentru rezistență de sarcină infinită; neliniaritatea este cu atât mai mare cu cât rezistența de sarcină este mai mică.

O altă eroare de neliniaritate apare datorită pasului de bobinaj, după cum cursorul calcă pe una sau pe mai multe spire. De aici rezultă că nici rezoluția nu este constantă, ea ajungând la valori de $10^{-3} \dots 10^{-4}$ din mărimea măsurată.

Senzorii rezistivi se protejează împotriva impurităților prin încapsulare și sunt folosiți la măsurători de precizie scăzută, pentru deplasări de 10 ... 30 cm.

8.1.4 Traductoare optoelectronice numerice de poziție

Senzorul optoelectronic numeric de poziție este o structură de fotodiode cu mulți electrozi individuali, sub formă de benzi aranjate în suprafețe suprapuse perpendiculare, ca în fig. 8.5.

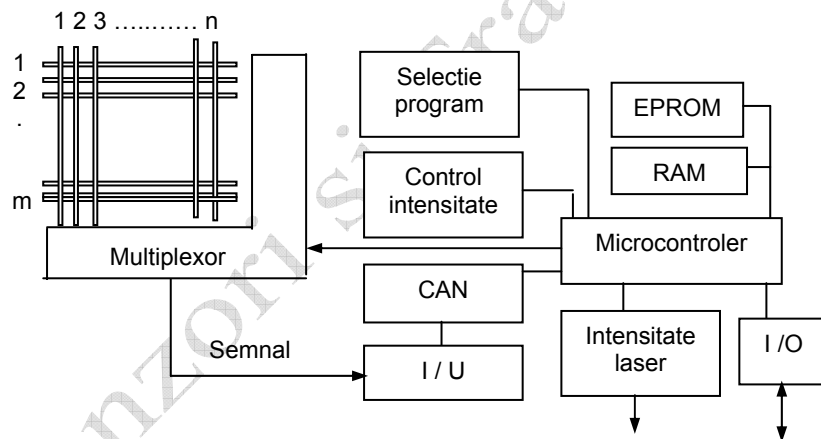


Fig. 8.5

Spotul de lumină se alege destul de mare pentru a acoperi mai multe benzi. Poziția se determină numeric, prin scanarea tuturor fotodiodelor, digitizarea fotocurentului de la fiecare fotodiodă și calculul celei mai bune estimări a centrului spotului. Poziția spotului corespunde cu poziția electrozilor X și Y cu iluminare maximă. Comanda multiplexoarelor de ieșire, digitizarea și calculul poziției spotului sunt realizate pe o placă separată a microcontrolerului.

Se pot realiza astfel, senzori de poziție cu suprafață mare și performanțe excelente de măsurare. Traductorul este imun la lumina ambiantă, deoarece algoritmul de găsimă a centrului spotului luminos nu este afectat de un nivel rezonabil de lumină ambiantă uniformă. Traductorul poate oferi informații despre profilul spotului luminos și lumina ambiantă.

Eroarea de detectare a poziției este de $\pm 5 \mu\text{m}$.

În modul standard, traductorul măsoară intensitatea luminoasă la toți electrozii benzii și calculează centrul spotului la fiecare scanare, în aproximativ 10 ms.

Pentru viteză mai mare, maxim 1 kHz, traductorul funcționează în modul cu urmărire, măsurând doar benzile din vecinătatea poziției anterioare a spotului.

8.2 Traductoare pentru deplasări unghiulare

Măsurarea deplasărilor unghiulare are două aspecte:

- măsurarea unghiului, în domeniul $0 \dots 360^\circ$ și
- măsurarea indirectă de deplasare liniară, situație în care un domeniu liniar dat corespunde mai multor rotații complete.

Traductoarele pentru măsurarea deplasărilor unghiulare sunt de mai multe tipuri, în funcție de parametrul folosit: rezistive, capacitive, inductive sau numerice rotative.

8.2.1 Traductoare rezistive pentru deplasări unghiulare

Aceste traductoare includ senzori care funcționează liniar, de obicei în montaj potențiomtric, motiv pentru care se mai numesc *servopotențiometre*.

Sunt de două tipuri:

- servopotențiometre unitură, cu o singură rotație, începând cu o poziție de zero până la un unghi maxim de $355 \dots 358^\circ$, delimitat de zonele în care se dispun contactele: dacă se dorește unghi mai mic, se folosesc opritori;
- servopotențiometre multitură, pentru game de peste 360° , deoarece au rezistența aplicată pe suport elicoidal. Variantele tipice au trei sau zece ture. Se pot utiliza și pentru măsurări de deplasări liniare, în domenii de $5 \dots 10 \text{ m}$, folosind un sistem mecanic adecvat.

8.2.2 Traductoare capacitive pentru deplasări unghiulare

Singura variantă a unui astfel de traductor este cu modificarea suprafeței. Traductorul este realizat în două variante:

- pe principiul condensatorului variabil de acord din radioreceptoare (un condensator cu mai multe armături fixe, între care se deplasează armături mobile),
- în varianta diferențială.

Ca schemă de măsurare se folosește puntea Sauty cu redresor sensibil la fază. Prima variantă poate fi utilizată și în scheme de tip rezonant, împreună cu o inductanță care constituie secundarul unui transformator.

Este folosit ca indicator de nul pentru deplasări unghiulare, nulul corespunzând tensiunii de ieșire maxime.

8.2.3 Traductoare inductive pentru deplasări unghiulare

a) Senzori inductivi cu miez feromagnetic mobil

Cel mai folosit este transformatorul rotativ diferențial variabil, TRDV, care constă dintr-o bobină primară și două bobine secundare înseriate, dispuse pe miez feromagnetic. Inductanța de cuplaj se modifică datorită deplasării unui rotor feromagnetic. Caracteristica $U_s(\alpha)$ are formă sinusoidală în domeniul $-180^\circ \dots +180^\circ$.

Datorită neliniarității tensiunii de ieșire, TRDV se utilizează într-un domeniu restrâns, $-40^\circ \dots +40^\circ$.

Schemele de măsurare sunt de tipul celor de la TLDV, cu demodulator sincron și ieșire în curent alternativ sau curent continuu. În plus, necesită protecție împotriva câmpurilor electromagnetice externe.

b) Senzori inductivi cu modificarea inductanței

Sunt alcătuiți din două bobine înseriate, dispuse la 90° și un rotor mobil. Schema de măsurare este tip punte. În afară de varianta standard, se mai folosesc și alte două variante:

Transformatorul rotativ tip microsyn are patru poli statorici, fiecare cu două bobine, una făcând parte din cele patru bobine primare legate în serie, cealaltă din cele patru bobine secundare, legate tot în serie, dar conectate astfel încât tensiunea indusă în prima și a treia să fie de semn opus celei induse în a doua și a patra. Rotorul nu are înfășurări și este feromagnetic. Tensiunea de ieșire are variație asemănătoare cu a senzorului inductiv cu miez feromagnetic mobil.

Generatorul de semnal cu spiră în scurtcircuit are patru poli, pe fiecare câte o înfășurare; înfășurările de pe polii opuși sunt primar, respectiv secundar, prin înseriere. Rotorul este format dintr-o singură spiră în scurtcircuit (bobină scurtă), a cărei deplasare modifică fluxurile magnetice create de primar și astfel se induce în bobinele secundare o tensiune cu caracteristică sinusoidală.

c) Potentiometrul inductiv

Este de tip autotransformator și conține o înfășurare primară bobinată pe rotor, solidar cu sistemul a cărui deplasare unghiulară dorim să o măsurăm și un stator cu o singură bobină sau două bobine înseriate.

Tensiunea în secundar variază liniar într-un domeniu de $\pm 40^\circ$.

d) Senzor inductiv cu modulator magnetic

Modulatoarele magnetice rotative cu magnet permanent mobil, permit transformarea unei deplasări unghiulare (semnal modulator) în tensiune alternativă modulată în amplitudine. Variația mărimii primare neelectrice este convertită în deplasare unghiulară.

Modulatorul magnetic este realizat dintr-un stator toroidal cu tole inelare de permalloy, pe care se află dispuse două înfășurări identice. În interiorul statorului, coaxial cu acesta, se află un magnet permanent în formă de disc, fixat pe axul prin care se transmite deplasarea unghiulară. Cele două înfășurări statorice sunt parcurse de trei curenți:

- un curent de excitație alternativ, cu frecvența și amplitudinea constante, determinat de tensiunea de excitație generată de un oscilator;
- un curent continuu de reacție, proporțional cu valoarea semnalului unificat de la adaptor;
- un curent continuu de premagnetizare, reglabil, prin care se poate schimba punctul de funcționare al miezului magnetic, permițând reglajul fin al punctului de zero.

Miezul magnetic statoric este supus acțiunii simultane a patru fluxuri magnetice: trei fluxuri datorate celor trei curenți specificați și fluxul magnetic al magnetului permanent. Rezultanta acestor fluxuri determină miezul magnetic să lucreze în zona de saturație. Schema de măsurare este tip punte.

8.2.4 Traductoare optoelectronice numerice rotative

Traductoarele numerice sunt denumite uzual *codoare* și sunt de două tipuri: *incrementale* și *absolute*.

Traductoarele numerice rotative absolute păstrează acest caracter doar pentru deplasări unghiulare mai mici sau egale cu 360° . Pentru deplasări unghiulare $> 360^\circ$, măsurarea are un caracter ciclic absolut, în sensul că măsurătoarea este absolută în cadrul unui ciclu de 360° iar pentru restul deplasării este necesară memorarea numărului de cicluri parcurse. Atât traductoarele numerice incrementale cât și cele numerice absolute, oricât de precis ar fi executate, măsoară discret deplasarea, nepunând în evidență mișcări sub valoarea $\pm \Delta L$. Prin ΔL s-a notat incrementul de deplasare și reprezintă un impuls de la ieșire.

În figurile 8.6 și 8.7 sunt reprezentate două traductoare rotative.

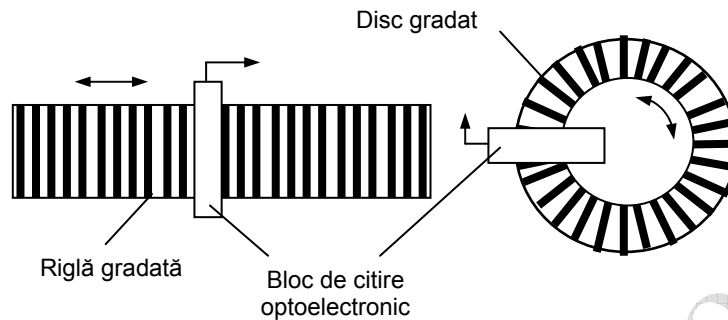


Fig. 8.6

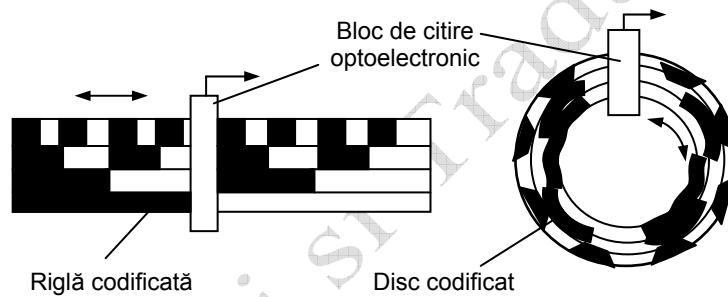


Fig. 8.7

Traductoarele optoelectronice folosesc tehnici de scanare optice. Radiația optică emisă de o diodă LED trece printr-un disc rotitor și o mască fixă. La ieșire se obține semnal în funcție de forma de pe disc.

Codoarele incrementale au un set de linii pentru numărare și un altul opțional pentru comutație. Numărul de perechi de zone transparente și opace cu spațieri identice de pe marginea discului corespund rezoluției codorului.

Discurile codate ale codoarelor absolute au piste concentrice, cu forme precis spațiate de segmente transparente și opace, care formează un cod numeric. Fiecare pistă reprezintă un bit al rezoluției.

Codoarele incrementale sunt dispozitive cu reacție, pentru poziții relative, în care semnalul de reacție este referit la o poziție de start sau de referință. La ieșire

se obține un impuls numeric pentru fiecare poziție estimată, impuls care este numărat și referit la poziția de referință. Impulsuri sunt transmise apoi la un numărator de mare viteză, situat într-o interfață de comandă sau control. Codoarele incrementale sunt susceptibile la zgomote și la întreruperi ale tensiunii de alimentare, de aceea trebuie reinițializate. Impulsurile generate de zgomote electrice sunt cumulative și pot fi eliminate doar prin soft.

Sistemele de comandă care folosesc codoare incrementale cu motoare sincrone necesită semnale adiționale de comutație ce trebuie aliniate fizic cu înfășurările motorului, cerință dificilă, scumpă și care consumă timp.

Codoarele absolute dau la ieșire un cuvânt unic de cod pentru fiecare unghi al arborelui, fără poziție de referință. Deoarece nu există două cuvinte de cod identice, poziționarea este precis determinată la pornire, chiar dacă sistemul este mișcat în timpul întreruperii tensiunii de alimentare. Erorile nu sunt cumulative. Când un zgomot intermitent modifică o valoare a poziției, este afectată doar acea poziție. Valoarea poziției următoare nu este influențată de zgomotul anterior și orice eroare anterioară va fi corectată la citirea următoare. În plus, sistemele de comandă pot folosi valoarea absolută pentru a crea informația de comutație necesară motorului.

8.3 Traductoare pentru deplasări și distanțe liniare mari

8.3.1 Traductorul liniar pentru deplasări și distanțe liniare mari

Traductorul liniar, ca și cel circular, este format dintr-o riglă a cărei lungime acoperă domeniul de măsurare și un cursor care se deplasează deasupra riglei. Pe riglă și pe cursor se află înfășurări din folie de cupru imprimate. Rigla are o înfășurare iar cursorul două, toate realizate cu același pas $p = 2 \cdot \tau_p$ (fig. 8.8).

Traductorul se folosește ca traductor absolut în domeniul unui semipași (semiperioadă), tipic de 2 mm și ca traductor ciclic absolut, contorizând numărul de semipași (numărul de treceri prin zero ale tensiunii proporționale cu defazajul) și apoi măsurând numeric sau analogic faza în cadrul unui pas.

Există două variante și anume:

- cu alimentare pe riglă, cu prelucrarea a două semnale culese din înfășurările cursorului;
- cu alimentare pe cursor, cu două tensiuni și prelucrând un singur semnal la ieșire. Această ultimă soluție este cea mai răspândită.

Traductorul liniar are o rezoluție bună (tipic 1 μm). Lungimile mai mari de 1 m se măsoară prin înseriere de riglete. Trebuie acordată atenție evitării excentricităților la înseriere și păstrării constante a interstițiilor dintre riglă și cursor, a paralelismului față de ghidaj și a planeității.

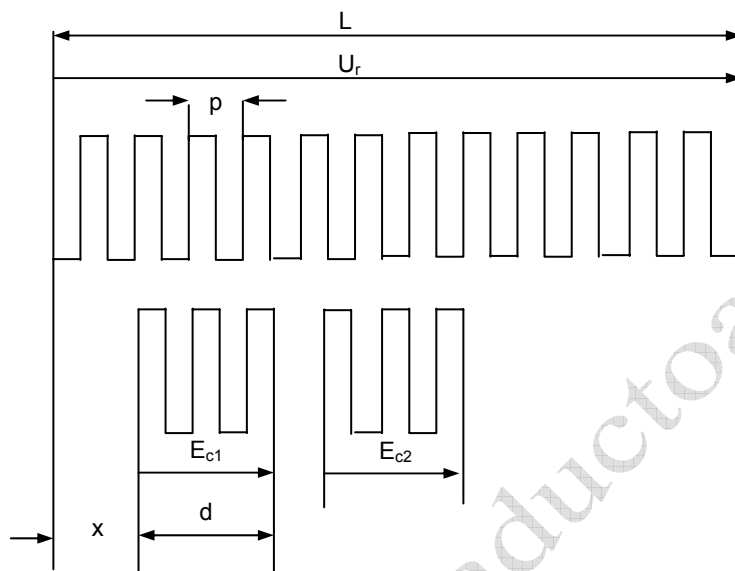


Fig. 8.8

Erorile de măsurare mai mari sunt cele de temperatură, datorate dilatării inegale a riglei și a suportului. Erorile datorate câmpurilor perturbatoare externe se elimină prin ecranarea părții active a cursorului cu o folie de metal conectată la masă.

Pentru domenii mari se folosesc traductoare liniare cu pas mare (rigle de 2 m sau 4 m), dar în acest caz scade rezoluția.

8.3.2 Traductoare optoelectronice numerice liniare

Un traductor optoelectronic liniar are două părți: o unitate de scanare și o riglă. Unitatea de scanare conține o sursă de radiație optică, o lentilă condensoare, un reticul cu ferestre cu rețele de linii și fotodetector. Se folosesc rețele de linii pe sticlă sau rigle metalice, pe baza mașinii, în timp ce unitatea de scanare este conectată la sania deplasabilă a mașinii.

La mișcarea unității de scanare, un fascicol paralel de radiație optică trece prin lentila condensoare, apoi prin ferestrele reticulului de scanare până la rigla cu rețea de linii reflectorizante. Radiația optică reflectată trece înapoi prin ferestrele de scanare până la fotodetector, care convertesc fluctuațiile intensității radiației optice în semnale electrice sinusoidale, cu o deplasare de fază de 90° . Ieșirile sunt

trimise la un controler numeric pentru interpolare și decodare, care numără înainte / înapoi și indică poziția saniei mobile.

Traductoarele optoelectronice liniare au o scară gradată autoadezivă din oțel și o parte optoelectronică pentru a obține informația despre poziție. Capetele de citire au înălțimea de 10,7 mm și greutatea de doar 22 g, putând suporta viteze de până la 5 m/s. Dimensiunile mici, viteza mare și robustețea permit acestui sistem să fie ușor integrat în aplicații cu motoare liniare, dispozitive de acționare, etaje x-y de mare viteză, etc.

8.3.3 Traductoare electronice de distanță

8.3.3.1 Traductoare de distanță care folosesc metoda impulsului

Se bazează pe măsurarea timpului parcurs de un impuls de radiație optică sau de unde radio de la sursă până la obiectul față de care se măsoară distanța (ținta) și înapoi, prin reflexie, până la receptor (timp de zbor).

Distanța până la țintă este dată de relația:

$$2d = c \cdot \Delta t' = c(t_R - t_E)$$

unde d este distanța între instrument și țintă, c este viteza luminii în mediu, $\Delta t'$ este timpul de zbor al impulsului, t_E timpul de start al impulsului iar t_R timpul de sosire al impulsului la receptor. Principiul de măsurare este ilustrat în figura 8.9.

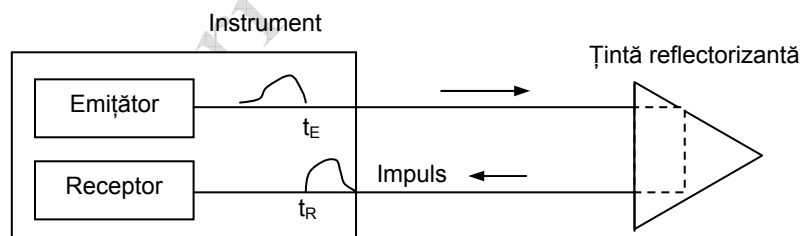


Fig. 8.9

În funcție de puterea impulsului de radiație optică și de distanța măsurată, ținta reflectorizantă poate fi o formă naturală sau artificială din teren, sau un retroreflector special, pentru a mări distanța și precizia.

Acuratețea distanței depinde de acuratețea măsurării timpului de zbor.

Instrumentele de distanță alimentate de la baterii au formă binoculară și sunt folosite manual, cu tripod sau atașate la periscopele vehiculelor. Ca surse se folosesc lasere cu comutarea factorului de calitate, distanțele măsurate fiind de 50m ... 20km.

Instrumentele de măsurare a distanței de uz general se împart în trei grupuri, majoritatea folosind drept surse diode laser de putere:

- instrumente industriale și de inginerie civilă, pentru distanțe de 8 ... 100m și ținte mate negre sau ținte mate albe;
- instrumente portabile pentru game de măsurare de 100m și ținte pasive (necooperante) sau game de până la 3km și ținte cu prismă;
- instrumente cu acuratețe foarte mare, de ± 5 mm.

8 3.3.2 Traductoare de distanță care folosesc metoda diferenței de fază

Din această categorie fac parte două tipuri de traductoare:

- traductoare care măsoară diferența de fază între semnalul transmis și semnalul recepționat;
- traductoare care măsoară diferența de fază între două semnale recepționate.

a) Traductoare care măsoară diferența de fază între semnalul transmis și cel recepționat

Semnalul de măsurat, care modulează o undă purtătoare de radiație optică la emițător este transmis spre reflector, unde este reflectat înapoi la receptor. La receptor se compară fazele semnalului emis și a celui recepționat și se măsoară diferența de fază $\Delta\Phi$.

Semnalul emis este descris de ecuația:

$$y_E = A \sin \omega t = A \sin \Phi$$

iar semnalul recepționat este:

$$y_R = A \sin \omega(t + \Delta t) = A \sin(\Phi + \Delta\Phi)$$

Deoarece se folosește un semnal continuu, valorile y_E și y_R variază în timp, iar diferența de fază $\Delta\Phi$ și diferența de timp Δt rămân constante. Se măsoară astfel diferența de fază constantă, chiar dacă amplitudinile celor două semnale variază continuu.

Distanța se calculează cu relația:

$$d = c \cdot \frac{\Delta t'}{2}$$

Ca dezavantaj, $\Delta t'$ nu se poate obține prin comparație de fază. Trebuie să se adauge la Δt un timp echivalent numărului de perioade complete trecute în timpul zborului semnalului pentru a obține timpul total de zbor:

$$\Delta t' = m \cdot t^* + \Delta t$$

unde $\Delta t'$ este timpul de zbor al semnalului, m numărul întreg de lungimi de undă complete pe calea de măsurare (ambiguitatea), t^* timpul scurs pentru o perioadă completă a semnalului de modulație, iar Δt diferența de timp de măsurare a fazei.

$$\Delta t = \Delta\Phi \frac{\lambda}{2\pi c}; \quad t^* = \frac{\lambda}{c};$$

$$d = \frac{c}{2}(mt^* + \Delta t) = \frac{c}{2}\left(m \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\Phi}{2\pi} \frac{\lambda}{c}\right) = m \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\Phi}{2\pi} \frac{\lambda}{2}$$

Cu excepția lui m , toate variabilele din ecuația de mai sus sunt cunoscute.

Dacă se înlocuiește $\lambda/2 = U =$ unitatea de lungime a instrumentului și $\frac{\Delta\Phi}{2\pi} \frac{\lambda}{2} = L =$ fracțiunea din unitatea de lungime care trebuie determinată prin măsurarea fazei, obținem:

$$d = mU + L$$

b) Traductoare care măsoară diferența de fază între două semnale recepționate

Aceste traductoare sunt folosite în sistemele de navigație.

Principiul de funcționare este următorul: Două emițătoare radio M și S transmit semnale continue nemodulate, cu frecvențe egale, care sunt recepționate la o stație R , de poziție necunoscută.

Dacă Φ_M și Φ_S sunt unghiurile de fază ale celor două semnale radiate în orice moment, diferența lor de fază la stația R va fi:

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= (\Phi_M + \Delta\Phi_M) - (\Phi_S + \Delta\Phi_S) = \left(\Phi_M + \frac{\omega}{c} \overline{MR} \right) - \left(\Phi_S + \frac{\omega}{c} \overline{SR} \right) = \\ &= (\Phi_M - \Phi_S) + \frac{2\pi}{\lambda} (\overline{MR} - \overline{SR})\end{aligned}$$

unde $\Delta\Phi$ este diferența de fază la stația R , Φ_M și Φ_S sunt unghiurile de fază ale transmițătoarelor M și respectiv S , f este frecvența emițătoarelor, c viteza luminii, \overline{MR} distanța între emițătorul M și receptorul R și \overline{SR} distanța între emițătorul S și receptorul R .

Unghiurile de fază Φ_M și Φ_S sunt menținute constante, diferența lor fiind de asemenea constantă. Al doilea termen al ecuației este variabil și depinde de diferența lungimii căilor la cele două emițătoare.

Determinarea poziției exacte necesită un al treilea emițător.

8.3.3.3 Traductoare de distanță care folosesc metoda Doppler

Efectul Doppler este valabil nu numai pentru unde sonore, ci și pentru unde electromagnetice.

În fig. 8.10 este prezentat un instrument mobil format dintr-un emițător și un receptor de microunde. Instrumentul se mișcă cu viteza v spre o suprafață reflectorizantă. Semnalul emis este reflectat de această suprafață și recepționat de receptor.

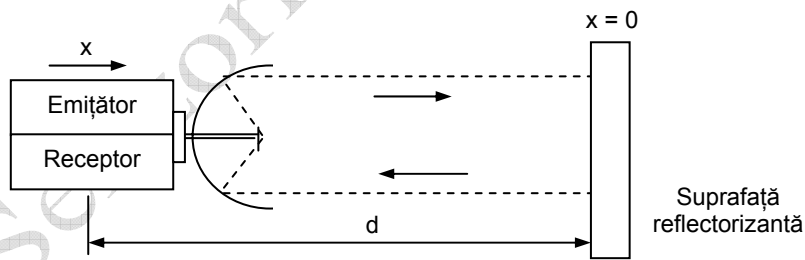


Fig. 8.10

Frecvența emisă se exprimă prin relația: $f_E = \frac{c}{\lambda}$

La suprafața reflectorizantă, expresia frecvenței este: $f_S = \frac{c + v}{\lambda}$,

iar la receptor, frecvența este: $f_R = \frac{c + 2v}{\lambda}$.

Prin mixarea celor două frecvențe, rezultă frecvența Doppler:

$$f_D = f_R - f_E = \frac{2v}{\lambda}$$

În funcție de tipul undelor folosite, frecvența Doppler poate fi obținută astfel:

- prin numărarea bătăilor pe secundă, în cazul undelor sonore,
- prin numărarea franjelor luminoase (sau întunecate) pe secundă a unei forme de interferență, în cazul radiației optice,
- prin numărarea perioadelor semnalului Doppler pe secundă, pentru unde radio.

Distanța parcursă de instrument de la timpul t_1 la timpul t_2 este:

$$d_{12} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{2} f_D \lambda dt$$

Metoda Doppler se folosește la poziționarea sateliților și măsurarea distanțelor cu cea mai mare precizie. De exemplu, interferometrul cu laser cu efect Doppler măsoară distanța până la un reflector cu rezoluția de 10 nm.

8.3.3.4 Traductoare interferometrice de distanță

Primul interferometru a fost realizat de Michelson, în anul 1880, în Germania. Fascicolul laser este transmis către un despicător de fascicol DF, care lasă o parte a fascicolului să treacă spre oglinda mobilă OM iar cealaltă parte o deviază spre reflectorul fix. Fasciculele reflectate produc în despicătorul de fascicol o formă de interferență deoarece sunt unde coerente, provin de la același laser, au aceeași frecvență și amplitudine. Ele au însă, diferența de fază constantă datorită diferenței între căile optice.

Cele două unde sunt descrise de ecuațiile:

$$y_1 = A \sin \omega t \quad \text{și} \quad y_2 = A \sin(\omega t + \Delta\Phi)$$

Semnalul suprapus este descris de relația:

$$y = y_1 + y_2 2A \cos\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\Delta\Phi}{2}\right)$$

și atinge un maxim pentru $\Delta\Phi = 0$ (interferență constructivă) și un minim pentru $\Delta\Phi = \pi$ (interferență distructivă).

În timpul deplasării reflectorului mobil, fotodetectorul numără franjele luminoase din forma de interferență.

Distanța între prima și ultima poziție a reflectorului este:

$$2d = (\text{numărul de franje luminoase}) \cdot \lambda,$$

unde λ este lungimea de undă a radiației laser, adică:

$$d = (\text{numărul de franje luminoase}) \cdot \lambda/2$$

Interferometrele uzuale au gama maximă de măsurare de aproximativ 60 m și sunt utilizate nu doar pentru măsurarea precisă a lungimii ci și pentru măsurarea rectiliniarității, perpendicularității, paralelismului, planeității și unghiului.

8.3.3.5 Traductoare optoelectronice de distanță care folosesc metoda triangulației

Triangulația este metoda cea mai veche de măsurare a distanței, principiul de bază fiind prezentat în fig. 8.11.

Sistemul de măsurare stabilește o pereche de triunghiuri asemenea, triunghiul imagine și triunghiul obiect. Linia de bază b a triunghiului obiect și înălțimea h a triunghiului imagine sunt considerate cunoscute.

Se măsoară linia de bază Δx a triunghiului imagine și se calculează înălțimea triunghiului obiect, egală cu distanța z de măsurat, cu relația:

$$z = \frac{bh}{\Delta x}$$

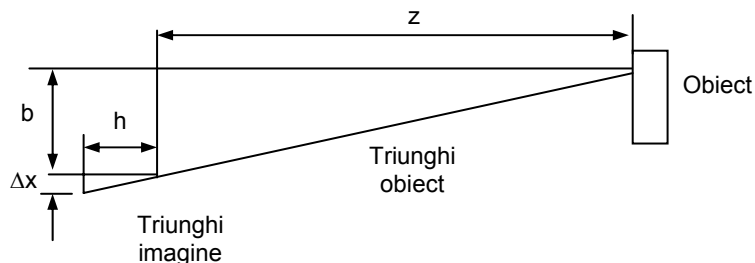


Fig. 8.11

Pe măsură ce dimensiunile h și b se modifică, această tehnică poate fi scalată pe o gamă mare de valori ale lui z . Distanța de măsurat este limitată doar de sistemul de detecție.

Cel mai simplu traductor optoelectronic cu triangulație este cel punctual, în care un singur spot luminos este proiectat pe obiect și apoi focalizat pe fotodetector.

Principiul de funcționare al acestui traductor este prezentat în fig. 8.12.

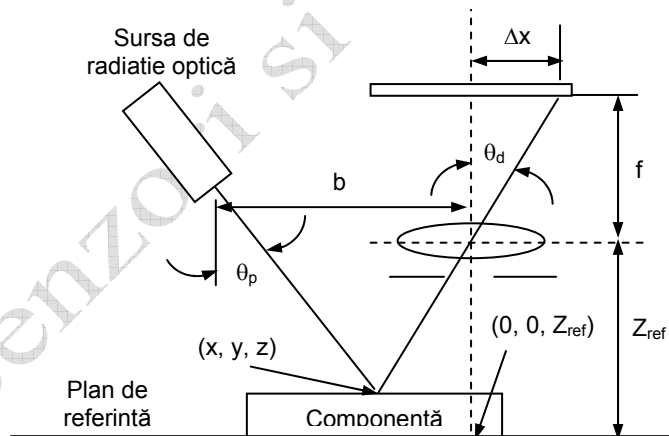


Fig. 8.12

$$\text{Distanța până la obiect este: } z = \frac{b}{\text{tg}\theta_p + \text{tg}\theta_d}$$

unde b este linia de bază, θ_p este unghiul de proiecție și θ_d este unghiul la care este împrăștiată lumina spre fotodetector.

$$\operatorname{tg}\theta_d = \frac{\Delta x}{f}$$

unde Δx este distanța spotului luminos pe fotodetector, față de un punct de referință, iar f este lungimea focală a lentilei.

Triangulația nu este eficientă atunci când există ocluzii (puncte iluminate de laser ce nu pot fi văzute de fotodetector) sau umbriri (puncte vizibile de la fotodetector dar care nu sunt iluminate de laser). O metodă de reducere a umbririi este folosirea a două fotodetectoare de o parte și de alta a laserului, care iluminează perpendicular obiectul față de care se măsoară distanța.

Traductorul optoelectronic liniar cu scanare cu triangulație măsoară distanța față de punctele unei suprafețe vizibile dintr-un plan 3-D. Scannerul cu un singur spot laser conține o diodă laser, un mecanism de scanare (oglină rotitoare) care baleiază fascicolul laser pe scena măsurată și o cameră video cu suprafață fotodetectoare liniară.

Traductorul poate fi folosit și la măsurarea optică a profilurilor.

8.4 Traductoare de proximitate

Proximitatea se referă la gradul de apropiere dintre două obiecte, dintre care unul reprezintă sistemul de referință. Traductorul controlează o anumită poziție, fără contact între referință și obiectul aflat în deplasare.

Tipuri de măsurători de proximitate: sesizarea capetelor de cursă, a interstițiului între suprafețe, a prezenței unui obiect în câmpul de lucru, etc.

La traductoarele de proximitate, mărimea de ieșire variază discret între două valori, ce semnifică prezența sau absența corpului controlat.

Traductor inductiv de proximitate

Conține un oscilator și o față sensibilă care convertește informația despre poziția unui obiect metalic în raport cu fața sensibilă, în semnal electric. Oscilatorul întreține un câmp magnetic alternativ în jurul bobinajului. Dacă în acest câmp este plasat un corp metalic, în masa metalului apar curenți Foucault care generează un câmp magnetic de sens opus câmpului principal și blochează oscilațiile, inversând starea elementului de comutație de la ieșirea adaptorului. Între punctele de pornire și de oprire a oscilațiilor apare o curbă de tip histerezis.

Traductorul se execută în una din următoarele variante:

- cu fața sensibilă inclusă frontal sau lateral în corpul traductorului sau
- cu fața sensibilă separată prin cablu flexibil de corpul traductorului.

Traductor magnetic de proximitate

Este format dintr-un contact întrerupător, de obicei releu Reed, plasat într-un braț al unei carcase în formă de U și dintr-un magnet permanent fixat în celălalt braț. Trecerea unui obiect magnetic printre brațele sensorului modifică liniile de forță ale magnetului, iar contactul releului își schimbă starea.

Traductorul magnetic de proximitate poate fi:

- fără memorie, când releul comută doar sub acțiunea magnetului;
- cu memorie, când revenirea în starea inițială se face sub influența unui câmp magnetic de sens contrar, prin rotirea magnetului cu 180° .

Traductor capacitiv de proximitate

Conține un condensator care face parte dintr-un circuit oscilant. Prezența unui material conductor sau dielectric cu permitivitate $\epsilon_r > 1$ are ca efect modificarea capacității de cuplaj și amorsarea oscilațiilor.

Caracteristicile constructive sunt asemănătoare cu ale traductorului inductiv de proximitate, zona de lucru activă fiind < 15 mm.

Funcționarea depinde de natura corpului controlat. La detecția materialelor conductoare, obiectul a cărui poziție este controlată formează cu fața sensibilă un condensator a cărui capacitate crește cu micșorarea distanței de la obiect la fața sensibilă. La detecția materialelor izolante, fața sensibilă reprezintă un condensator a cărui capacitate este cu atât mai mare cu cât permitivitatea dielectrică a obiectului controlat este mai mare. Pentru evitarea perturbațiilor, obiectele conductoare trebuie să fie legate la pământ.

Traductor optoelectronic de proximitate

Se bazează pe modificarea fluxului radiației optice între o sursă și un receptor, datorită prezenței obiectului controlat. Există două variante de bază:

- traductor de proximitate tip barieră, în care sursa și receptorul sunt de o parte și de alta a obiectului;
- traductor de proximitate reflector, în care fasciculul optic emis de sursă este transmis spre receptorul situat de aceeași parte cu sursa în raport cu obiectul controlat.

Ca surse emițătoare se folosesc diode electroluminescente în domeniul vizibil sau infraroșu, lămpi cu incandescență sau diode laser. Ca receptor se folosește un fotodetector ce poate fi: fotodiodă, fototranzistor, fotorezistor, fotodetector integrat, etc.

Adaptorul electronic conține un formator de impulsuri și un amplificator.

Trebuie luate măsuri de precauție ca evitarea surselor luminoase puternice, evitarea mediilor umede pentru a nu provoca aburirea lentilelor, îndepărtarea obiectelor puternic reflectorizante.

Traductor integrat de proximitate

Există două variante și anume:

- traductor integrat inductiv și
- traductor integrat magnetic.

Traductorul integrat inductiv de proximitate este încapsulat, are 8 terminale și conține: un oscilator, un filtru, un comparator și un etaj de ieșire.

Traductorul integrat magnetic de proximitate are un senzor Hall care sesizează prezența câmpurilor magnetice de intensități reduse (> 50 mT) și produce tensiune de ieșire în gama 1 ... 10 mV.

Senzori si Traductoare