MĂSURAREA ELECTRICĂ A VIBRAŢIILOR MECANICE

VM 3

1. Conţinutul lucrării

- Componenţa generală a instalaţiilor de măsurare electrică a vibraţiilor mecanice;
- Principalele tipuri de captoare şi traductoare necesare măsurării electrice a vibraţiilor.

2. Consideraţii generale

Scopul general al măsurării vibraţiilor este:

- determinarea mărimilor de ieşire, adică a deplasărilor, vitezelor sau acceleraţiilor vibraţiilor produse;
- determinarea mărimilor de intrare, adică a forţelor care produc vibraţiile;
- determinarea caracteristicilor dinamice ale sistemului.

Particularitatea aparatelor folosite la măsurarea electrică a vibraţiilor mecanice constă în transformarea mărimilor mecanice (deplasări, deformaţii etc.) în semnale electrice, care sunt apoi măsurate cu aparate electrice sau electronice. Prin aceasta sunt eliminate transmisiile şi amplificările mecanice (prin pârghii, roţi ş.a.), care introduc abateri (datorită jocurilor, deformaţiilor elastice etc.). De aceea, metodele de măsurare electrică a vibraţiilor mecanice prezintă avantaje faţă de metodele de măsurare mecanice:

- precizie şi sensibilitate ridicată;
- greutate scăzută a captorilor;
- posibilitatea efectuării unor măsurători simultane şi de la distanţă;
- posibilitatea amplificării şi prelucrării automate a unor rezultate etc.

Principiile generale ale aparatelor destinate măsurării vibraţiilor sunt aceleaşi cu cele întâlnite la aparatele de tip mecanic.

2.1. Instalaţii de măsurare a vibraţiilor

Pentru măsurarea electrică a unei mărimi mecanice (sau, în general, a unei mărimi neelectrice), lanţul de măsurare conţine totdeauna un dispozitiv care transformă natura fizică a mărimii de intrare (ce trebuie măsurată) în altă mărime (sau parametru) care poate fi măsurată convenabil pe cale electrică. Un astfel de dispozitiv se numeşte *traductor*. Deseori, măsurarea unor mărimi nu se poate face direct cu traductorul. Spre exemplu, la măsurarea unei forţe, forţa se aplică unui *element elastic*, ale cărui deformaţii se măsoară cu unul sau mai multe traductoare, obţinându-se în acest fel un dispozitiv mai complex, numit *captor*.

În concluzie, **captorul** este un dispozitiv care transformă variaţia unei mărimi mecanice în variaţia unei mărimi electrice, cu ajutorul unuia sau mai multor traductoare.

Într-un captor este posibil ca natura mărimii de intrare să sufere succesiv mai

VIBRAII Draft Student

multe transformări până la ieşire. De exemplu, într-un captor pentru măsurarea acceleraţiilor au loc succesiv următoarele transformării: acceleraţie – forţă – deformaţie specifică – rezistenţă electrică.

Foarte frecvent, în construcţia unui captor intră unul sau mai multe traductoare de uz general, bine individualizate, ce se disting clar în ansamblul pe care îl formează cu captorul. Alteori însă, această distincţie se poate face cu greu şi, ca atare, noţiunile de captor şi traductor tind să se confunde.

Un captor constituie una sau mai multe verigi ale unui lanţ de măsurare, a cărui configuraţie se prezintă în figura 3.1. Faţă de această situaţie „standard”, este posibil să lipsească unele componente sau să apară elemente suplimentare. De asemenea, captorul însuşi poate conţine în afara celor două componente fundamentale – elementul elastic şi traductoarele, o serie de alte dispozitive sau subansamble. De remarcat este faptul că lanţul de măsurare este relativ lung, calitatea procesului de măsurare fiind dependentă de performanţele lanţului în ansamblu; acestea depind la rândul lor de performanţele fiecărei verigi componente.

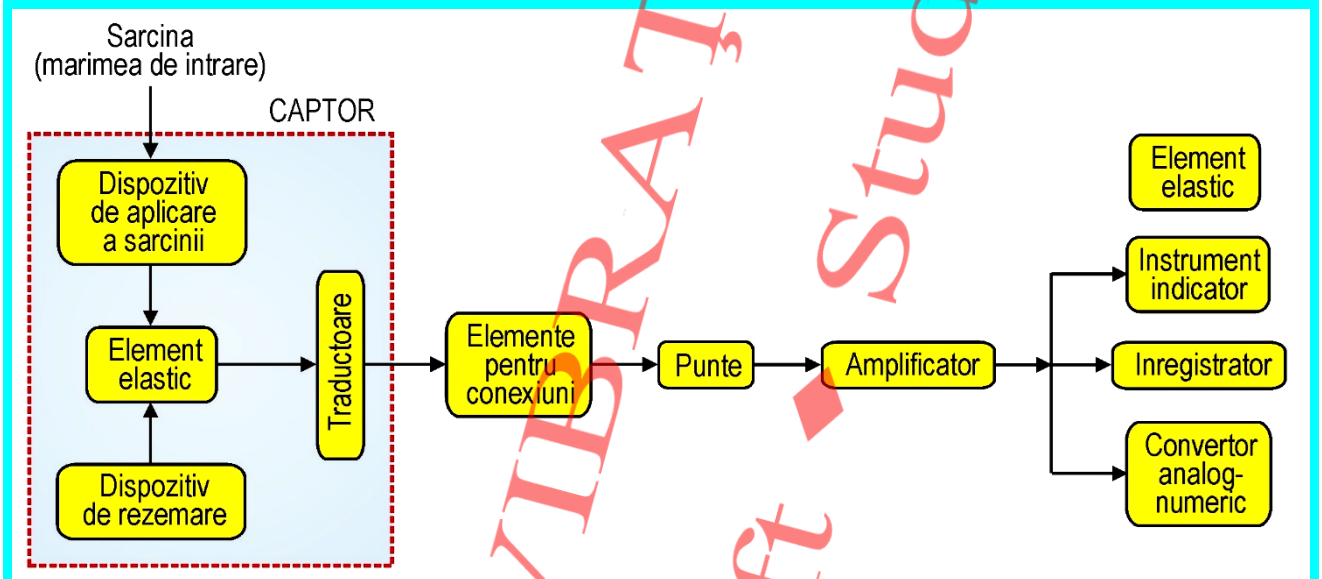

Fig. 3.1.

Aparatele de măsurare sunt concepute sub forma unei instalaţii, ce cuprind în principal captorul şi unele aparate electrice şi electronice, ultimele fiind preponderent de uz general. *Captorul* preia energia undelor mecanice de vibraţie a structurii studiate şi o transformă (cu ajutorul *traductorului)* într-o mărime electrică proporţională cu unui din parametrii mişcării. Se întâlnesc şi cazuri în care captorul constă din traductorul propriu-zis.

Aparatele electrice şi electronice ce pot fi utilizate într-o instalaţie de măsurare a vibraţiilor mecanice sunt (în ordinea montării lor):

• *comutatorul* – este folosit dacă se fac măsurări în mai multe puncte;

• *puntea* – permite, prin variaţia de tensiune sau curent într-un circuit, măsurarea mai precisă a variaţiei mărimii electrice a captorului;

• *amplificatorul* – amplifică semnalele primite de la punte;

• *demodulatorul* – poate fi folosit pentru eliminarea frecvenţei purtătoare din semnalul primit de la amplificator, dacă în instalaţie este folosit şi un generator de

VIBRAŢII Student Draft

audiofrecvenţă;

• *aparat pentru consemnarea rezultatului măsurării* – poate fi un aparat electric indicator ori înregistrator, un osciloscop cu tub catodic, un oscilograf electromecanic (cu buclă) sau un înregistrator pe bandă magnetică.

Multe întreprinderi constructoare înglobează deseori mai multe din aceste aparate într-unul singur. De exemplu, se folosesc uzual punţi tensometrice care înglobează atât puntea cât şi amplificatorul. De asemenea, oscilografele sunt prevăzute cu amplificatoare.

Punţile tensometrice pot fi cu unul sau mai multe canale. Analog, oscilografele electromecanice se construiesc cu un număr diferit (3, 6, 12 etc.) de bucle. În ceea ce priveşte modul de înregistrare a rezultatelor, aparatele tradiţionale utilizează sisteme precum desenarea diagramei sau înregistrarea diagramei pe peliculă, pe hârtie fotosensibilă, ori pe bandă magnetică. Aparatele moderne au în general programe specifice ce permit înregistrarea şi prelucrarea rezultatelor cu ajutorul computerului.

În afara aparatelor amintite, s-au construit şi alte aparate specifice măsurării vibraţiilor, care efectuează numai o anumită operaţie, cum sunt de exemplu analizoarele armonice electronice, stroboscoapele electronice etc.

2.2. Traductoarele de vibraţii

După principiul de funcţionare, traductoarele sunt:

◆ **traductoare parametrice (pasive)**, care produc variaţia unui parametru electric (rezistenţă, inducţia sau capacitatea) într-un circuit alimentat;

◆ **traductoare generatoare (active)**, ce produc curent electric într-un circuit nealimentat; se dau, ca exemplu, traductoarele electrodinamice şi piezoelectrice.

◈ **Traductorul parametric (pasiv)** funcţionează cu elemente cu impedanţă variabilă (rezistenţă, capacitate, inductanţă) şi este montat într-un circuit electric alimentat din exterior la o tensiune constantă sau variabilă (fig. 3.2) cu o frecvenţă purtătoare de 2÷2000 kHz, care limitează superior frecvenţa analizată la 0,1÷0,2 din frecvenţa purtătoare. La modificarea parametrului mecanic studiat, traductorul produce modificarea unui anumit parametru electric al circuitului.

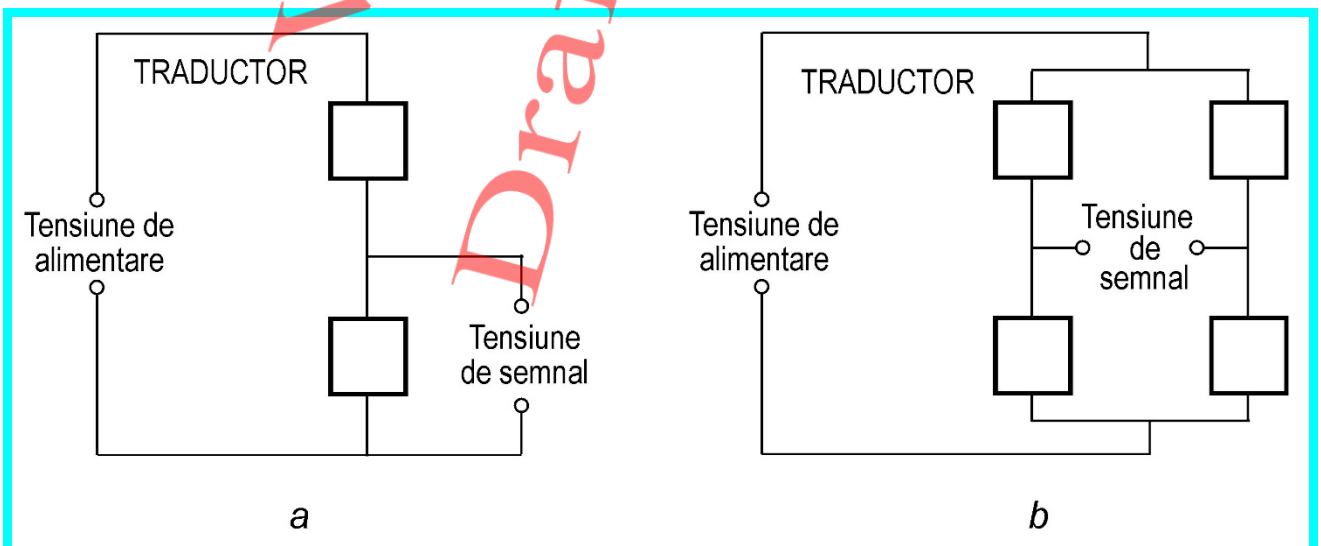

Fig. 3.2.

VIBRAŢII Draft Student

În figura 3.3 este arătat principiul constructiv al traductorului rezistiv (fig. 3.3a), capacitiv (fig. 3.3b), inductiv (fig. 3.3c) şi tensometric rezistiv (fig. 3.3 d).

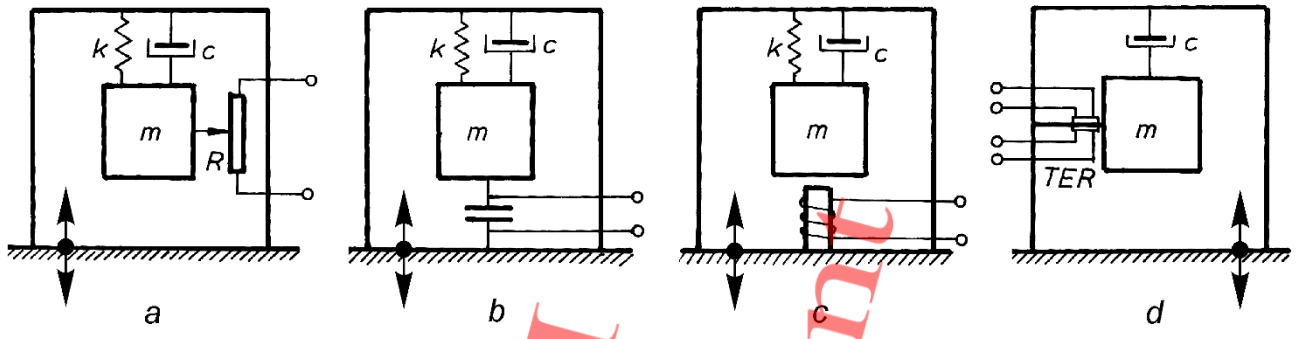

Fig. 3.3.

◈ **Traductoarele generatoare (active)** (fig. 3.4) se bazează fie pe deplasarea unei bobine într-un câmp magnetic (fig. 3.4a), fie pe încărcarea variabilă la compresiune a unui cristal piezoelectric (fig. 3.4b).

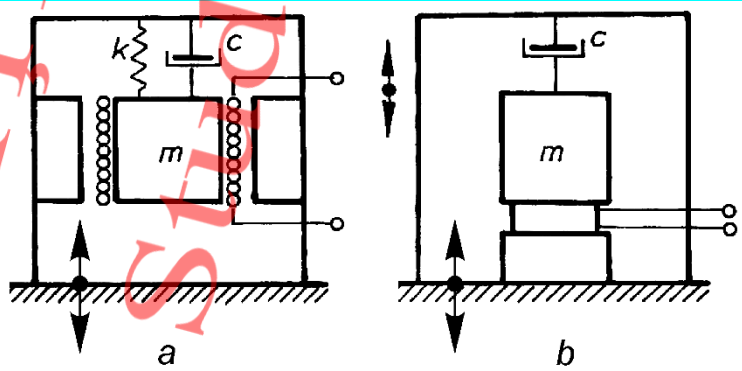

Fig. 3.4.

În literatura de specialitate se menţionează şi alte tipuri de traductoare, precum cele electrochimice, optico-electronice sau ultrasonice optice, cu utilizare mult limitată.

2. 2.1. Traductoare electrotensometrice rezistive (TER)

În figura 3.5 se prezintă elementele constructive ale traductorului electrotensometric rezistiv (TER), denumit şi *senzor rezistiv*, *termorezistor* sau *marca tensometrică*. În forma lui cea mai simplă, traductorul (v.fig. 3.5a), constă dintr-un fir subţire *1* de constantan sau nicrom, cu diametrul de câteva sutimi de mm, de lungime bine determinată şi rezistenţă electrică *R* exact stabilită. Firul conductor, dispus sub formă de grilă, este lipit pe un suport *2* din hârtie sau alt material izolant şi legat la capete de firele de conexiune *3*. Traductorul se lipeşte cu ajutorul unui clei special, cu partea izolată pe elementul care se deformează, de unde provine şi denumirea de *marcă tensometrică*. Dacă este lipit direct pe corpul studiat, se

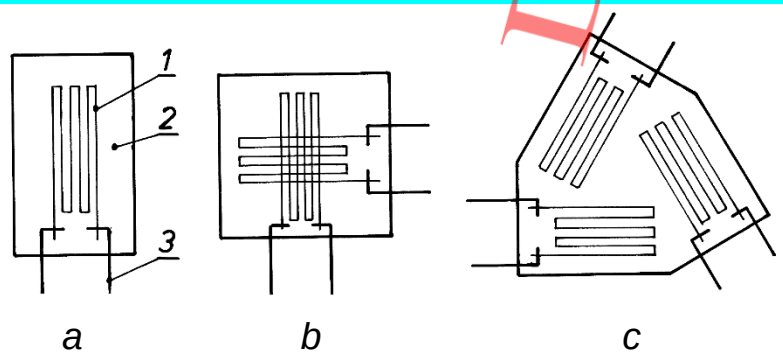

Fig. 3.5

VIBRAŢII Draft ◆ student

obţine un captor cuasistatic de măsurat vibraţiile. Dacă este lipit pe o lamă elastică ce reprezintă suportul unei mase seismice, se obţine un *captor seismic* (fig. 3.6). În figură s-au notat cu *1* – masa seismică; *2* – elementul elastic sub formă de lamelă; *3* – traductoarele cu fir; *4* – borne de contact; *5* – şurub pentru etalonare.

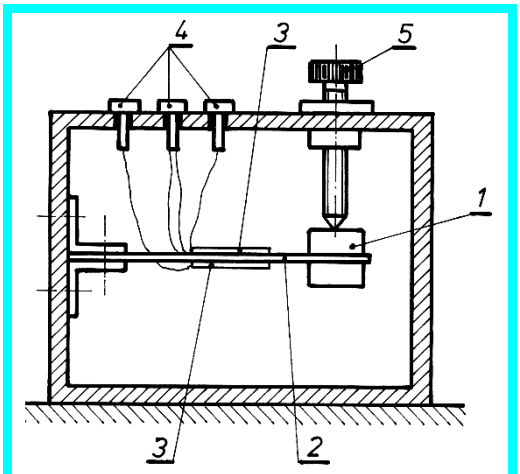

Fig. 3.6

La baza utilizări TER stă fenomenul de variaţie a rezistenţei electrice a unui conductor, datorită deformaţiei mecanice ale acestuia în zona de lipire (numită baza de măsurare), deformaţii ce sunt proporţionale cu deplasarea extremităţii elementului elastic.

Se cunoaşte că rezistenţa electrică a firului este dependentă de rezistivitatea ρ, secţiunea *S* a firului şi intensitatea *I* a curentului.

$$R = \rho \frac{I}{S} \tag{3.1}$$

La o variaţie mică Δl a lungimii conductorului, se produce o variaţie a tuturor parametrilor din formula (3.1)

S-a definit ca *sensibilitatea relativă a unui traductor* raportul:

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} \tag{3.2}$$

La anumite materiale (constantan, nicrom etc.) variaţia relativă a rezistenţei electrice a traductorului $\Delta R/R$ este proporţională cu alungirea relativă $\varepsilon = \Delta l/l$, sensibilitatea relativă *k* fiind o constantă a acestora. De exemplu, pentru conductorii din constantan (58,8% Cu; 40% Ni; 1,2% Mn) a rezultat $k = 1{,}9 \div 2{,}1 \approx 2$.
Pentru aceste materiale, variaţia rezistenţei poate fi scrisă:

$$\frac{\Delta R}{R} = k\frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon \qquad \text{sau} \qquad \Delta R = k \cdot \varepsilon \cdot R \tag{3.3}$$

Relaţiile (3.3) demonstrează că, măsurând variaţia rezistenţei electrice ΔR şi cunoscând *sensibilitatea relativă k* a traductorului, se poate determina alungirea specifică ε a corpului pe care este lipit traductorul. De exemplu, pentru piesele din oţel aliat aflate la limita elastică de deformare, se alege $\varepsilon = \Delta l/l \leq 2{,}5 \cdot 10^3$, astfel că $\Delta R/R \leq 5 \cdot 10^3$. De obicei, în practică, valorile raportului $\Delta R/R$ sunt mai mici; în aceste condiţii, variaţiile de temperatură ale conductorului, chiar cu câteva grade, influenţează variaţia rezistenţei. Ca urmare, trebuie avută în vedere variaţiile termice.

În figura 3.7 sunt prezentate mai multe tipuri de TER: cu fir sub formă de grilă plană (fig.3.7a) sau înfăşurat (fig.3.7b), cu folie (fig.3.7c) – obţinute prin procedee fotochimice, asemănătoare cu cele folosite pentru circuitele imprimate din electronică, ori cu material semiconductor (fig.3.7d). Tehnologia de fabricaţie a TER cu fir este în prezent depăşită şi costisitoare, iar mărcile cu semiconductoare, în ciuda factorului *k* net superior, au dezavantajul unei

VIBRAŢII Draft Student

neliniarităţi mai pronunţate şi al compensării mai dificile a erorilor de temperatură, nefiind recomandate pentru captoarele de uz industrial. Prin urmare, sunt preferate TER cu folie, realizate într-o mare varietate tipo-dimen-sională.

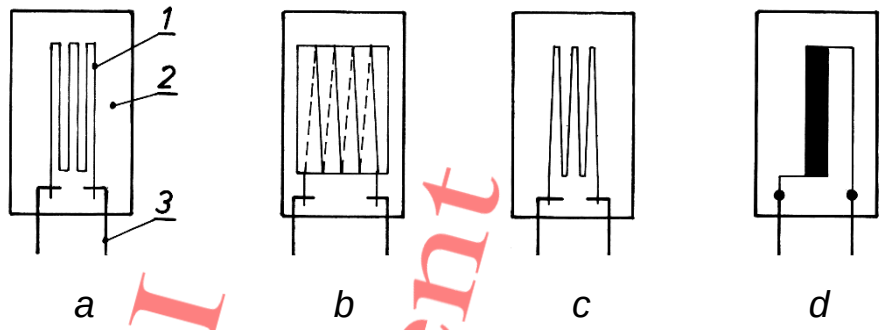

Fig. 3.7

Montajul cel mai adecvat pentru a evita micile variaţii de rezistenţă ale mărcilor tensometrice în procesul de măsurare ($10^4\,\Omega$) este puntea Wheatstone (fig. 3.8). Punţile folosite pot fi:

- punţi echilibrate, când una din rezistenţele punţii este variabilă, fiind prevăzută cu un potenţiometru, iar instrumentul *M* serveşte la verificarea echilibrării;
- punţi neechilibrate, când variaţia rezistenţei active este măsurată de către instrumentul *M*.

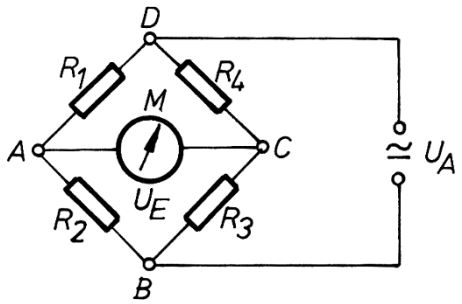

Fig. 3.8.

TER se amplasează în cele patru braţe ale punţii. Pe diagonala de alimentare *BD* (în c.c. sau c.a.) se aplică o tensiune constantă U_A, iar pe diagonala de măsurare *AC* se obţine semnalul de ieşire U_E, care, în metoda punţii dezechilibrate (ideală pentru captori), este expresie directă a variaţiei rezistenţelor din braţele active ale punţii.

Condiţia de echilibru cunoscută pentru punte:

$$R_1R_3 = R_2R_4 \tag{3.4}$$

impune o regulă fundamentală pentru tensometria electrică rezistivă şi anume:

- efectele din două braţe opuse se adună;
- efectele din două braţe adiacente se scad.

Pentru a mări sensibilitatea unui captor şi totodată pentru a realiza şi compensarea termică, se prevăd, în construcţia captorului, două traductoare tensometrice aşezate faţă în faţă, astfel că la deformarea corpului elastic, unul să fie alungit iar celălalt scurtat (comprimat). De exemplu, în captorul seismic din fig. 3.6, când masa seismică coboară, traductorul de pe faţa superioară a lamei elastice este alungit, iar cel de pe faţa inferioară scurtat. Când captorul se realizează cu un singur traductor deformabil, se mai montează un al doilea traductor compensator, nedeformabil, cu rol în realizarea compensării termice.

În mod frecvent, rezistenţa unui TER este 100…200 Ω. În ceea ce priveşte dimensiunile, pentru piesele metalice se utilizează traductoare cu baza de 10...20 mm; unele traductoare speciale au baza mult mai mică, ajungând la 2,5 mm. În timpul funcţionării, trebuie acordată o atenţie deosebită pentru a feri traductoarele de umezeală şi pentru o bună lipire pe corpul care se deformează.

TER se utilizează de obicei în construcţia captorilor de deplasare şi mai rar în

VIBRAŢII Draft Student

construcţia captorilor pentru măsurarea acceleraţiilor (accelerometre). Pentru măsurarea vitezelor, captorii cu TER nu se pot utiliza.

◈ În figura 3.9 se prezintă un **vibrometru** la care masa seismică *1* este suspendată de arcul elicoidal *2*. Partea inferioară a masei seismice este conică, pe ea rezemându-se lamelele în consolă *3* şi *4*, care, în timpul vibraţiei, sunt solicitate la încovoiere. Pe aceste lamele sunt lipite câte două traductoare rezistive *5*, care se leagă în punte. Tija centrală *6* asigură ghidarea masei seismice, astfel ca ea să se deplaseze strict pe verticală, realizând şi o anumită amortizare, prin frecare.

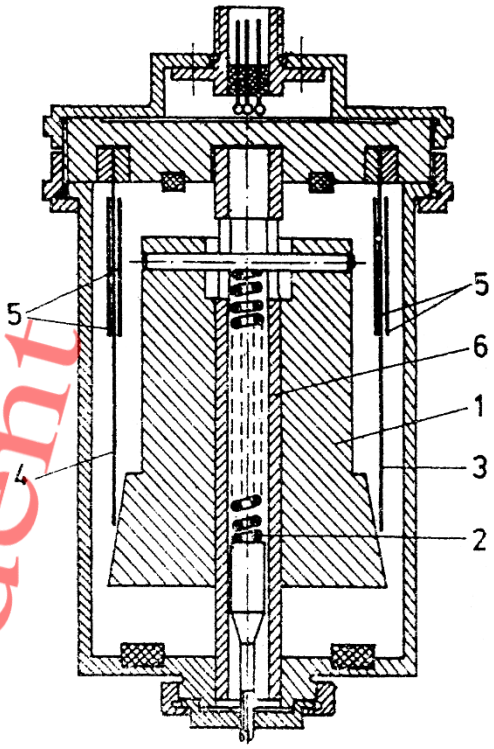

Fig. 3.9.

◈ Pentru măsurarea vibraţiilor torsionale se utilizează captoare numite **torsiometre**. Un astfel de captor se prezintă în fig. 3.10. Principalele componente ale sale sunt: *1* – carcasă; *2* – masă seismică de formă cilindrică; *3* – piesă intermediară, solidară cu masa seismică *2*, care solicită la încovoiere lamela *4*, pe care sunt lipite patru traductoare rezistive *5*, conectate în punte; *6* – ax prin care captorul se montează pe piesă ale cărei vibraţii se studiază. Dacă întregul sistem se roteşte cu o turaţie constantă, este necesar şi un contact rotativ cu perii.

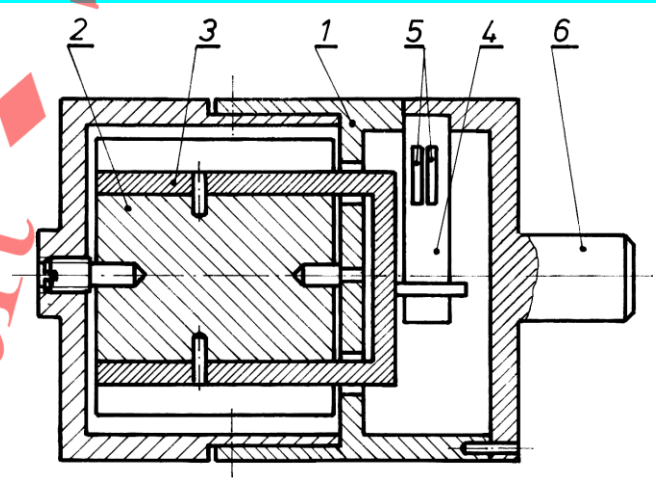

Fig. 3.10.

Trebuie menţionat faptul că vibratoarele seismice – ca şi celelalte captoare seismice, au o comportare „pur dinamică”, adică nu sunt sensibile la (şi nu măsoară) componente statice sau cu variaţii foarte lente ale deplasărilor.

VIBRATII Draft ◆ Student

Accelerometre cu traductoare electrotensometrice rezistive (TER)

În principiu, un accelerometru este un captor pentru măsurarea unei forţe de inerţie F_i , pe care acceleraţia a ce se măsoară o produce asupra unei mase seismice m, ca urmare a celei de a doua legi a mecanicii $F_i = m \cdot a$. Rezultă că orice captor destinat măsurării forţelor poate fi transformat într-un accelerometru, dacă în punctul de aplicaţie a sarcinii se prinde o masă corespunzătoare şi sunt îndeplinite toate condiţiile privind caracteristicile metrologice ale captorului astfel obţinut.

◈ Multe accelerometre pentru măsurarea acceleraţiilor de valori mici sau medii au elemente elastice de forma unor lamele în consolă, ca cele din figura 3.11. Sistemul cu

două lamele paralele, schematizat în fig. 3.11b, are avantajul că nu este sensibil la acceleraţiile unghiulare sau transversale.

◈ În cazul utilizării unui sistem cu două mase, ca în fig. 3.12, este posibilă măsurarea atât a acceleraţiei liniare *a* (cu montajul din fig. 3.12b), cât şi a celei unghiulare ε (cu montajul din fig.3.12c), prin legarea corespunzătoare în punte a celor patru TER. Dacă este cazul, se pot realiza două punţi distincte, prin dublarea numărului de traductoare reprezentate în fig. 3.12a.

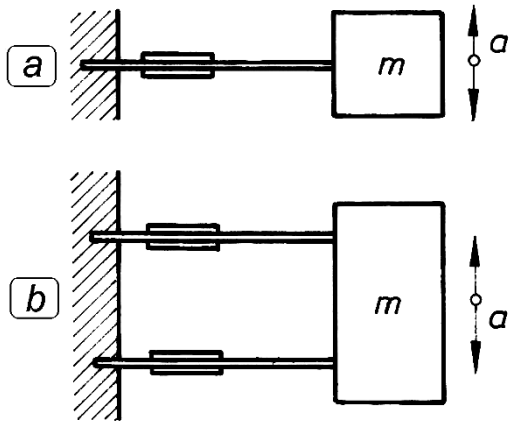

Fig. 3.11.

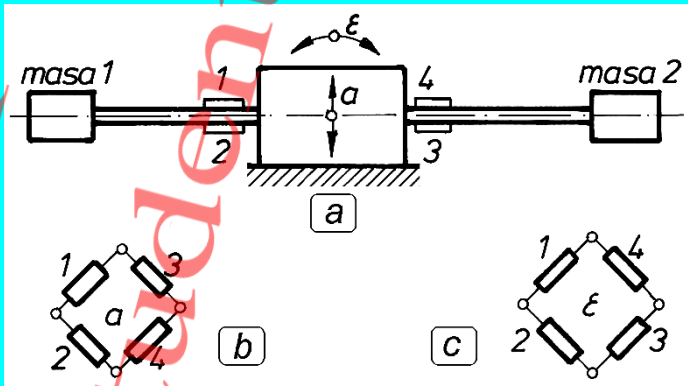

Fig. 3.12.

◈ Detaliile constructive ale unui accelerometru destinat măsurării acceleraţiilor de valori mari (cu frecvenţe de până la 5 kHz şi acceleraţii de până la 5000 g) se prezintă în figura 3.13. Pe bucşele *1* şi *2*, care constitute elementele elastice ale captorului, sunt montate, pe direcţie longitudinală şi în poziţii corespunzând la două diametre perpendiculare, opt traductoare rezistive *3*. Cu şurubul *4* se prestrânge ansamblul format din masele seismice *5* şi *6* şi bucşele *1* şi *2*, până când în acestea din urmă se produce o deformaţie specifică de 1500 μm/m. Prin antrenarea în mişcarea vibratorie a flanşei de prindere *7* şi a carcasei *8*, au loc variaţii egale şi de semne contrare ale solicitărilor din cele două bucşe *1* şi *2*, proporţionale cu acceleraţia. Toate cele opt traductoare fiind active,

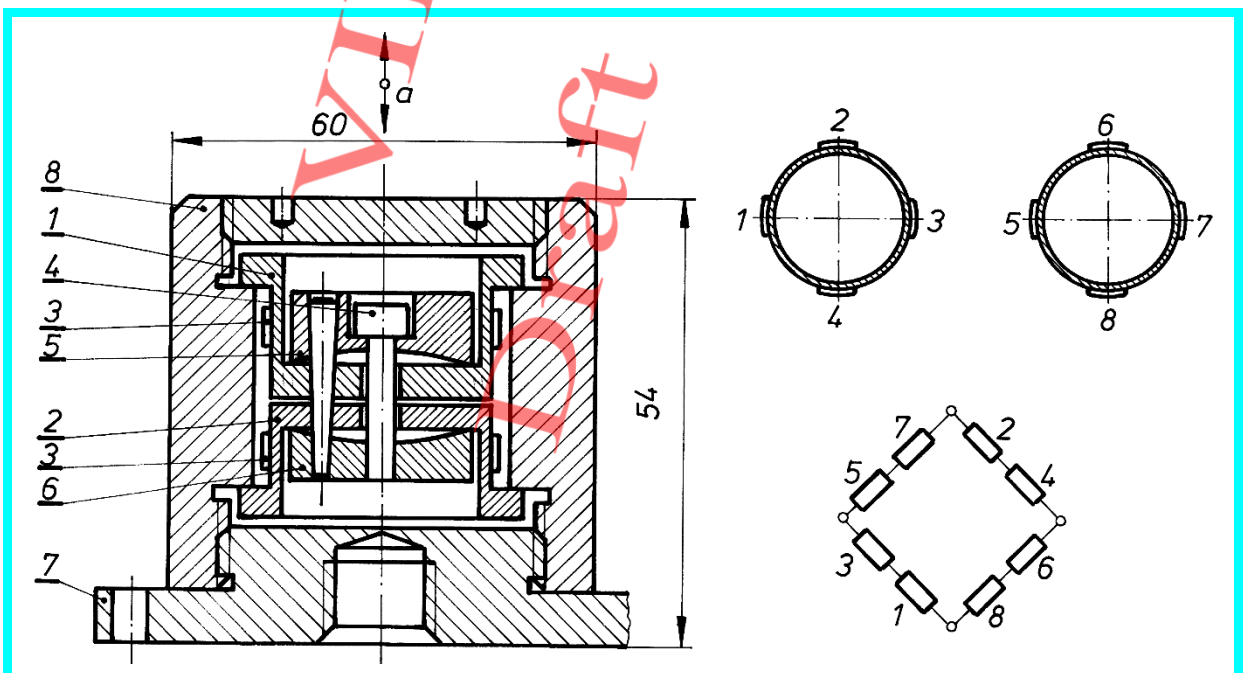

Fig. 3.13.

VIBRANT Student Draft

sensibilitatea montajului este relativ mare. De asemenea, compensarea termică este bună şi sensibilitatea transversală foarte mică.

2.2.2. Traductoare inductive

Principiul de funcţionare al traductoarelor cu inductanţă variabilă (figura 3.14) se bazează pe:

• modificarea reluctanţei unui circuit magnetic prin mişcarea unui miez magnetic în câmpul unei bobine (fig. 3.14a) – la traductoarele inductive cu miez mobil, ori prin modificarea întrefierului într-un circuit magnetic închis (fig. 3.14b) – la traductoarele inductive cu circuit magnetic închis şi întrefier variabil.

• modificarea inductanţei mutuale a două bobine (fig. 3.14c şi d) – la traductoarele inductive cu circuit magnetic închis şi întrefier variabil.

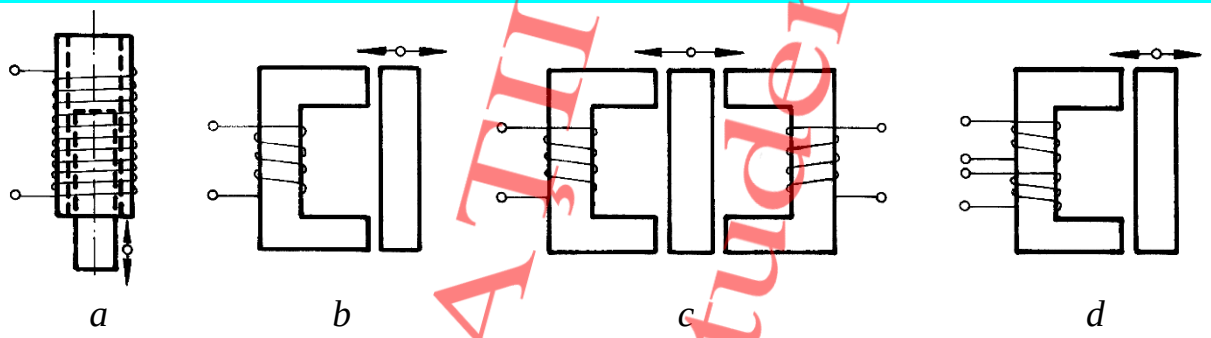

Fig. 3.14.

Variaţia inductanţei poate fi măsurată prin utilizarea ei la modularea – în amplitudine sau frecvenţă, a unei unde purtătoare, care va fi demodulată, după amplificare. Liniaritatea acestor traductoare este bună numai pentru deplasări mici. Pentru lărgirea domeniului liniar, se folosesc traductoare diferenţiale.

◈ În cazul montajului diferenţial din figura 3.15, se utilizează două bobine identice L_1 şi L_2, introduse în două braţe ale unei punţi, alimentate în curent alternativ. Deplasarea miezului din material magnetic produce variaţia reluctanţei circuitelor magnetice ale fiecărei bobine, mărind-o pe una şi micşorând-o pe cealaltă. Faţă de poziţia mediană a miezului, când inductanţele celor două bobine sunt egale, iar puntea este echilibrată (U_e = 0), o dezechilibrare a punţii determină apariţia unui semnal de ieşire. Astfel, variaţia inductanţei ($L_2 - L_1$) cu deplasarea miezului magnetic asigură o liniarizare a caracteristicilor statice.

Faţă de traductoarele rezistive cu fir, traductoarele inductive prezintă avantajul că nu sunt influenţate de umiditate şi de variaţiile termice (efect anulat prin soluţiile constructive adoptate).

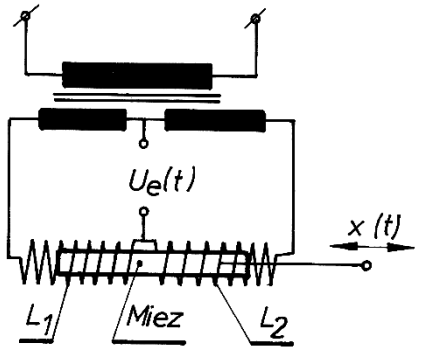

Fig. 3.15.

Captoare de viteză cu traductoare inductive

Pentru studierea vitezei vibraţiilor, se utilizează captoarele de viteze, construite cu traductoare generatoare, de tip electrodinamic sau electromagnetic. La acestea, viteza mişcării relative

VIBRAŢII Draft Student

dintre o bobină şi un câmp magnetic (creat de un magnet permanent – la traductoarele electrodinamice şi de un electromagnet – la traductoarele electromagnetice) are drept efect inducerea unei forţe electromotoare, deci a unei tensiuni de ieşire (măsurabilă), proporţională cu viteza.

Într-un conductor electric de lungime *l* [m], care se deplasează cu viteza *v* [m/s] perpendicular pe liniile de forţă ale unui câmp magnetic de inducţie *B* [T] se induce o tensiune:

$$e = -B \cdot l \cdot v \quad [V] \tag{3.5}$$

Acest fenomen stă la baza construcţiei **traductorului electrodinamic**.

◈ În varianta constructivă din figura 3.16, în întrefierul inelar al unui magnet fix (permanent sau electromagnet) se deplasează o bobină înfăşurată pe o bucşă cilindrică din material nemetalic. Tensiunea de ieşire este proporţională cu viteza bobinei (legată de elementul în vibraţie) faţă de liniile de flux magnetic intersectate.

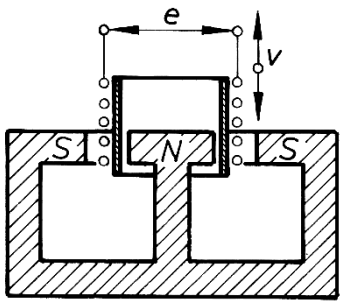

Fig. 3.16.

◈ O altă soluţie constructivă de traductor electrodinamic constă dintr-un magnet permanent în formă de bară, care se deplasează în interiorul unei bobine lungi, înfăşurate pe un suport din material nemagnetic, tensiunea de ieşire fiind proporţională cu viteză relativă miez - bobină.

Tensiunea de ieşire a traductoarelor electrodinamice este relativ mare, astfel că, de multe ori, nu mai necesită un amplificator, semnalul fiind introdus direct în aparatele de vizualizare sau înregistrare.

Traductoarele electrodinamice sunt reversibile. Dacă prin bobina de lungime *1* [m], trece un curent *i* [A], câmpul magnetic de inducţie *B* [T] acţionează asupra bobinei cu o forţă:

$$F = B \cdot l \cdot i \quad [N] \tag{3.6}$$

◈ Pe acest fenomen se bazează construcţia *vibratoarelor electrodinamice*. În forma constructivă prezentată în fig. 3.16, aceste vibratoare pot fi utilizate la excitarea structurilor elastice, prin producerea de forţe relativ mici. Elementele constructive sunt prezentate principial în figura 3.17. Bobina *1*, înfăşurată în jurul cilindrului din material antimagnetic *2*, este alimentată de la un generator de semnal prin intermediul unui amplificator de putere. Bobina se poate deplasa în câmpul magnetic radial creat între piesa inelară *3* şi miezul *4*, prin alimentarea în curent continuu a înfăşurării *5*. Discul superior *6* se execută uneori din aluminiu şi foloseşte la fixarea pieselor de dimensiuni mici, supuse încercărilor la vibraţii. Discul *6* împreună cu cilindrul *2* sunt centraţi faţă de întrefierul *4* cu ajutorul unui arc de suspensie *7*, care permite doar mişcări axiale, împiedicând deplasarea laterală sau rotirea bobinei. Alteori, piesa *6*

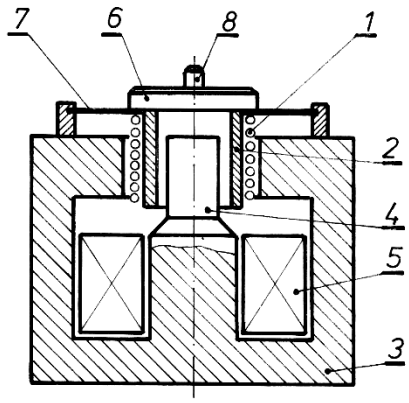

Fig. 3.17.

VIBRAŢII Student Draft

are dimensiuni reduse şi este prevăzută cu un şurub de fixare *8*, care permite prinderea vibratorului de structură testată.

◈ În figura 3.18 este prezentată construcţia unui *captor electrodinamic Philips* pentru măsurarea vitezelor, care are domeniul de funcţionare de 10 ÷ 1000 Hz şi funcţionează la frecvenţe superioare frecvenţei proprii. În figură s-au făcut notaţiile: *1* – magnet permanent; *2* – arc disc; *3* – bobină mobilă; *4* – bobină amortizoare; *5* – carcasă.

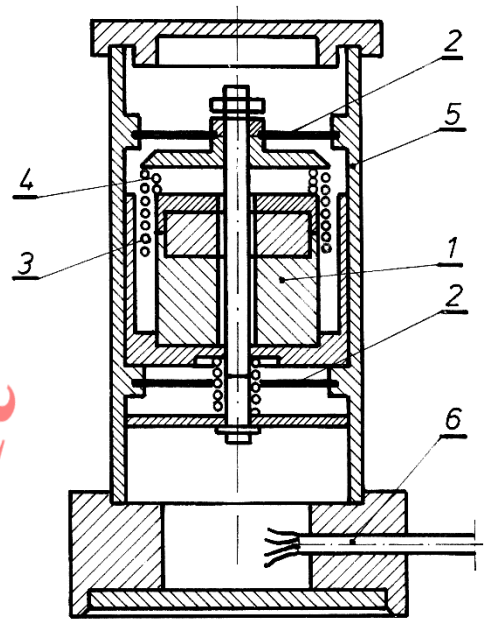

Fig. 3.18.

Accelerometre cu traductoare inductive.

Un captor seismic ce poate fi utilizat ca accelerometru sau vibrometru este *captorul seismic inductiv Hottinger Baldwin Messlechnik*, schematizat în figura 3.19, unde s-a notat: *1* – corpul care vibrează; *2* – carcasa captorului; *3* – miezul mobil al traductorului inductiv; *4* – bobinele traductorului inductiv, care au inductanţele L_1 şi L_2; *5* – conexiunile electrice spre amplificator; *m* – masa seismică; *k* – sistemul elastic; c – amortizorul.

2.2.3. Traductoare piezoelectrice

Traductoarele electrice generatoare piezoelectrice au la bază fenomenul piezoelectric direct, care se manifestă la unele cristale, când sunt supuse solicitărilor de compresiune sau întindere, aplicate după anumite direcţii, prin apariţia pe feţele opuse a unor sarcini electrice pozitive, respectiv negative. În interiorul cristalului se produce o polarizare electrică datorită deplasării ionilor din nodurile reţelei cristaline, ca urmare a deformării acesteia. Mărimea sarcinii electrice este proporţionată cu mărimea forţei exercitate asupra cristalului, iar sensul polarizării cristalului depinde de felul deformaţiei.

Dintre materialele cristaline cu proprietăţi piezoelectrice folosite în construcţia traductoarelor se amintesc cuarţul, tartratul dublu de sodiu şi potasiu (sarea Rochelle), fosfatul monopotasic (kalium-dihidrogen-fosfat = *KDP*), fosfatul monoamoniacal (amonium-dihidrogen-fosfat = *ADP*), turmalina ş.a. La tăierea acestor materiale sub formă de plăcuţe disc şi la construcţia captoarelor, se urmăreşte ca eforturile mecanice (normale la suprafaţa plăcii) să fie orientate paralel cu axa electrică a cristalului (axă perpendiculară pe faţa cristalului), asigurându-se în acest fel o

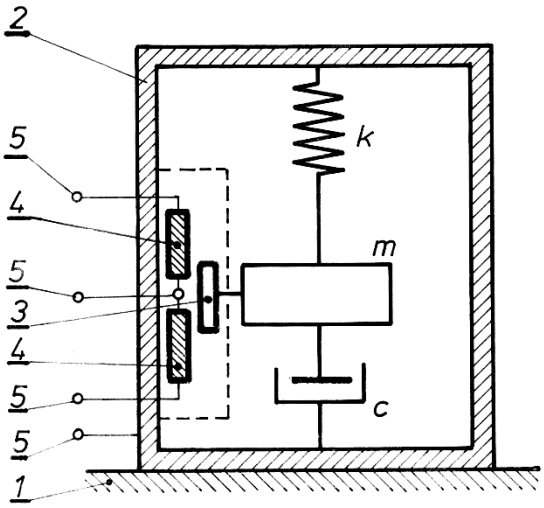

Fig. 3.19.

VIBRATII Draft Student

sensibilitate maximă a captorului.

Pentru a mări sensibilitatea captoarelor piezoelectrice, acestea sunt prevăzuţi cu mai multe plăcuţe, separate între ele prin plăcuţe de metal (la traductoarele compuse). La aşezarea în pachet, elementele metalice pasive trebuie să posede aceeaşi polaritate pe ambele feţe. Grosimea plăcuţelor piezoelectrice este cuprinsă, în mod uzual, între 0,5 şi 2 mm.

De obicei captoarele piezoelectrice sunt folosite ca accelerometre.

Accelerometre seismice cu traductoare piezoelectrice.

◈ În prezent, accelerometrele cele mai utilizate folosesc drept traductoare plăcuţe ceramice piezoelectrice. Schema unui captor seismic cu plăcuţă piezoelectrică fabricat de firma Brüel & Kjær este prezentat schematic în figura 3.20. Accelerometrul constă din două plăcuţe piezoelectrice *1* separate de un disc metalic *2*, masa seismică *3*, elementul elastic de pretensionare *4*, baza captorului *5*, carcasa *6* şi conexiunile electrice *7*. Accelerometrul este aşezat cu baza pe corpul care vibrează. Sub acţiunea vibraţiilor, masa *3* exercită asupra plăcuţelor piezoelectrice o forţă variabilă *F*, proporţională cu acceleraţia corpului studiat şi cu masa seismică *m*:

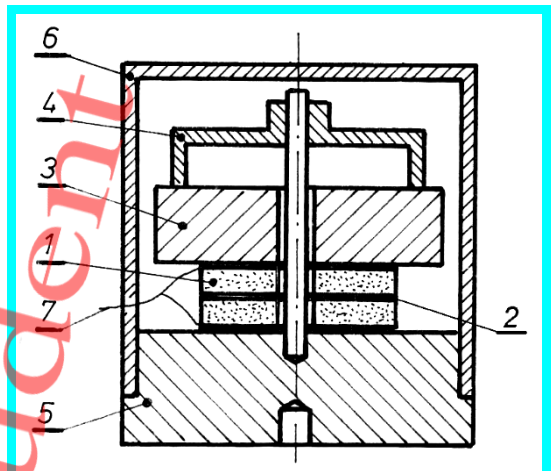

Fig. 3.20

$$F = m \cdot \ddot{x} \tag{3.7}$$

Datorită efectului piezoelectric al celor două plăcuţe, la bornele captorului se dezvoltă o tensiune electrică variabilă, proporţională cu forţa *F*, deci cu acceleraţia masei *m*, care poate fi măsurată.

Sensibilitatea captorului este definită ca mărimea tensiunii generate la o anumită acceleraţie dată. Sensibilitatea depinde de proprietăţile piezoelectrice ale materialului cristalin din care sunt confecţionate plăcile active şi de greutatea masei seismice. Captoarele mici (cu plăcuţe active disc de dimensiuni mici şi masa seismică mică) au sensibilitate mică şi frecvenţă proprie mare.

Traductorul seismic piezoelectric poate fi fixat pe suprafaţa cercetată în diferite moduri, fiecărui mod corespunzându-i o frecvenţă limită superioară de măsurat.

3. Conţinutul referatului

Referatul va cuprinde:

- schema generală a instalaţiei de măsurare electrică a vibraţiilor mecanice;
- construcţia şi descrierea principalelor tipuri de traductoare şi captoare (electrotensometrice rezistive, inductive şi piezoelectrice).

VIBRAŢII Draft Student