

### CAP.2 Traductoare, dispozitive primare si elemente de executie in sistemele automate de navigatie

2.1. Traductoare si dispozitive primare pentru instalatii de guvernare si pilot automat pentru nave

In instalatiile de automatizare la bordul navelor, pentru dirijarea navigatiei sau auxiliare, traductoarele reprezinta unele din cele mai importante elemente. Ele au fost clasificate in principale, care participa direct in procesul de decizie si prelucrare a informatiei de drum in navigatia automate si auxiliare, care fac parte din instalatiile automatizate de navigatie, dar nu sunt implicate direct in procesul de navigatie.

#### 2.1.1 Traductoare principale

In instalatiile pilotului automat sunt utilizate urmatoarele traductoare principale:

- transformatoarele rotative;
- selaine;
- tahogeneratoare de curent continuu;
- motoare asincrone bifazate;
- traductoare electronice.

#### 2.1.1.1. Transformatoare rotative

Sunt traductoare inductive, care prezinta calitati de exploatare bune si o stabilitate ridicata a parametrilor si caracteristicilor. In ceea ce priveste modul de variatie a tensiunii la iesire, in functie de unghiul de rotire al rotorului, transformatoarele rotative se impart in:

- transformatoare rotative sinusoidale cosinusoidale TRSC;
- transformatoare rotative liniare TRL.

#### Transformatorul rotativ sinusoidal cosinusoidal (TRSC)

TRSC este o micromasina electrica de inductie cu stator si rotor de constructie speciala (figura 7).  
Pe stator se gasesc dispuse doua infasurari:  
- o infasurare primara de excitatie S1 - S2, la care se aplica tensiunea alternativa de alimentare U1;  
- o infasurare de compensare a fluxului reactiei rotorice, S3 - S4, care se leaga in scurtcircuit.

! Acestea vor fi tratate pe larg in subcapitolul referitor la traductoare pentru elemente de egalizare navala.

Sele doua infasurari atactice sunt decalate cu 90 grade electrice. Pe rotor se gasesc dispuse doua infasurari secundare: o infasurare R1 - R2, la bornele careia se obtine o tensiune alternativa U2; o infasurare R3 - R4, la bornele careia se obtine o tensiune alternativa U3.  
Si aceste infasurari rotorice sunt decalate cu 90 grade electrice. Amplitudinea U2 este proportionala cu sinusul unghiului de rotire al rotorului, sin φ, iar amplitudinea U3 este proportionala cu cosinusul unghiului de rotire, cos φ.

Daca la TRSC se roteste statorul fata de rotor cu un unghi de - π / 4, amplitudinile tensiunilor secundare sunt date de relatii:

$$U_2 = U_m \cos(\phi - \pi/4);$$
$$U_3 = U_m \sin(\phi - \pi/4).$$

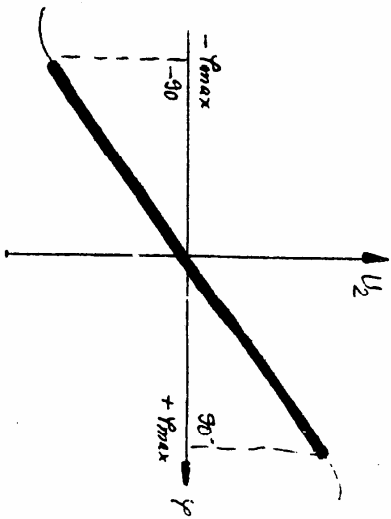
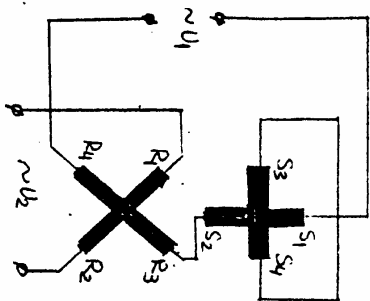
unde U<sub>m</sub> este amplitudinea maxima a tensiunii electromotoare induse in infasurările secundare.

#### Transformatorul rotativ liniar (TRL)

Transformatorul rotativ liniar (TRL) se obtine din transformatorul rotativ sinusoidal cosinusoidal utilizand conexiunea reprezentata in figura 8. Se leaga in serie infasurarea atactice S1 - S2 cu infasurarea rotorica R3 - R4, iar tensiunea alternativa de alimentare U1 se aplica la bornele infasurarii primare S1 - R4. La bornele infasurarii secundare R1 - R2 se obtine o tensiune de iesire U2 a carei amplitudine este proportionala cu unghiul de rotire al rotorului φ in limitele de +/- 90 grade, cu o eroare mai mica de 1%. Din figura se observa ca la o rotire a rotorului intr-un sens sau altul fata de pozitia de zero, faza tensiunii de iesire se schimba cu 180 grade. In schema pilotului automat SANSIT (Rusia) se utilizeaza transformatorul rotativ liniar atat ca traductor de intrare, cat si ca traductor de reactie.  
Dependentia dintre amplitudinea tensiunii de iesire si unghiul de rotire al rotorului transformatorului rotativ liniar este data de relatia:

$$U_2 = C_1 \phi$$

unde C<sub>1</sub> este factorul de transfer al TRL, de obicei situat in plaja 0,5...0,6 V/grad.  
Factorul de transfer al TRL este dat de inclinarea dreptei care trece prin originea si are ecuatia:



$$U_2 = f(\phi)$$

Preluarea curentului de la transformatoarele rotative se realizeaza prin doua procedee: cu ajutorul inelelor colectoare si periiilor (unghiul de rotatie este nelimitat) si cu arcuri de contact (unghiul de rotatie este limitat).  
 Din punct de vedere constructiv transformatoarele rotative se impart in doua categorii:  
 - fara dispozitiv de rotire si fixare;  
 - cu dispozitiv de rotire si fixare a rotorului.  
 Ultimele se mai numesc si transformatoare rotative de scara (TRS), deoarece sunt utilizate ca elemente de reglare a tensiunii de alimentare a TRL.

Transformatorul rotativ de scara (TRS)

Fiind un element de reglare, TRS se utilizeaza in conexiune cu TRL (figura 9).

La bornele infasurarii statorice S1 - S2 a TRS se aplica tensiunea de alimentare U. Infasurarea rotorica R3 - R4 a TRS se inserieaza cu infasurarea primara S1 - R4 a TRL, obtinand o infasurarea primara comuna, care se leaga in paralel cu infasurarea statorica S1 - S2 a TRS si se alimenteaza cu aceeaasi tensiune U. Infasurarea rotorica R1 - R2 a TRS functioneaza in gol si nu se utilizeaza. La bornele rotorice R3 - R4 ale TRS se obtine o tensiune de amplitudine U3, care este functie de unghiul de rotatie  $\gamma$  al rotorului TRS. Tensiunea de amplitudine U3 va determina tensiunea de amplitudine U1 de alimentare a TRL, care la randul ei va determina tensiunea U2 de la bornele rotorice R1 - R2 ale TRL. Dependenta dintre amplitudinea tensiunii de iesire a TRL si unghiurile de rotire a rotorului TRS este data de relatia:

$$U_3 = f(\phi, \gamma)$$

Din punct de vedere practic prezinta interes urmatoarea dependenta:

$$U_2 = f(\phi), \quad \gamma = ct.$$

Ecuatia de mai sus reprezinta o familie de drepte care trec prin originea si a caror inclinare depinde de unghiul de rotire a rotorului TRS. Din diagrama tensiunilor se observa ca factorul de transfer al TRL in conexiune cu TRS este:

$$C_2 = \frac{U_2}{U_3}$$

Acest factor este reglabil functie de unghiul de rotire a rotorului TRS. Elementul principal al traductorului de intrare este un TRL conectat cu un TRS. Daca se regleaza factorul de

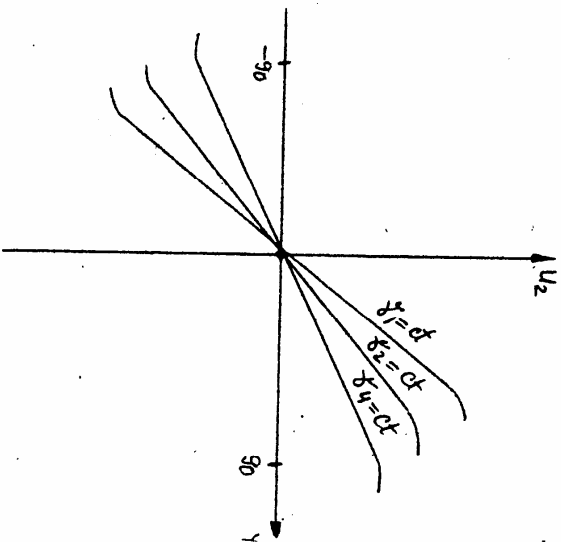
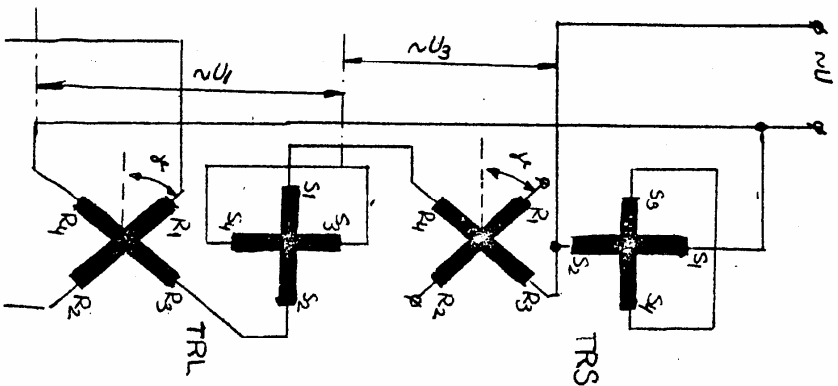


Fig 9

Fig 8

transfer C2, se regleaza vectorul de transfer K1 al traductorului de intrare si astfel poate fi reglat intreg coeficientul de reactie kr.

2.1.1.2 Selsine

Selsinele sunt masini electrice inductive, aliniere masinilor asincrone, cu doua parti componente: statorul 1 si rotorul 2 (figura 10). Circuitul primar al selsinului este o infasurare monofazata de excitatie, care poate fi dispusa pe rotor sau pe stator. Daca infasurarea de excitatie este dispusa pe stator, pe rotor se bobineaza circuitul secundar trifazat, format din trei infasurari legate in stea, decalate spatial cu 120 grade electrice. Infasurările trifazate sunt conectate la trei inele de contact pe care caieca trei perii.

Daca infasurarea de excitatie este dispusa pe rotor, capetele ei sunt conectate la doua inele de contact, pe care caieca doua perii.

In acest caz, pe stator se gasesc doua grupuri de contacte trifazate.

Selsinele sunt utilizate in instalatiile pilotilor automati atat separat, cat si in perechi. Selsinele perechi sunt utilizate in regim de transformator rotativ.

Selsinul izolat (figura 10) are infasurarea de excitatie R1 - R2 dispusa pe rotor si alimentata de la rețeaua electrica monofazata, iar circuitul trifazat este dispus pe stator. Infasurarea de excitatie absoarbe de la rețeaua un curent alternativ monofazat care produce un camp magnetic. Acesta induce o tensiune electromotoare in fiecare infasurare a circuitului trifazat.

Fiind produse de acelasi curent, aceasta tensiune electromotoare induce in infasurările statorice sunt amfazele, dar cu amplitudinile diferite datorita nesimetrilor cuplajelor magnetice intre infasurarea monofazata si cea trifazata.

Luandu-se ca referinta faza S1 si considerand statorul rotit fata de rotor cu un unghi de 60 grade, valorile amplitudinilor tensiunilor electromotoare de linie sunt date de relatiiile:

$$E_{21} = \sqrt{3} E_{em} \sin \phi;$$

$$E_{22} = \sqrt{3} E_{em} \cos (\phi - \frac{\pi}{6});$$

$$E_{23} = \sqrt{3} E_{em} \sin (\phi - \frac{2\pi}{6})$$

unde:

$E_{em}$  - amplitudinea maxima a tensiunii electromotoare induse intr-o faza a infasurării trifazate;

$\phi$  - unghiul de rotire a rotorului fata de stator.

Comparand relatiiile de mai sus cu cele precedente se poate

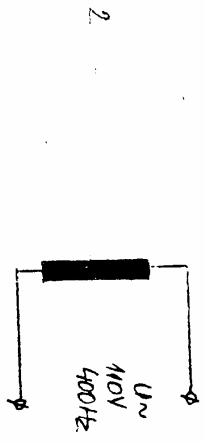


Fig. 10

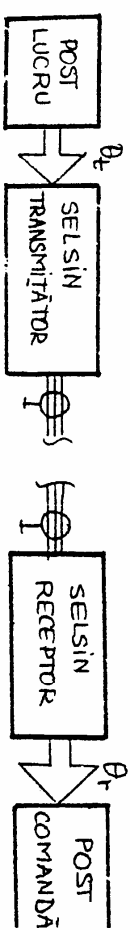
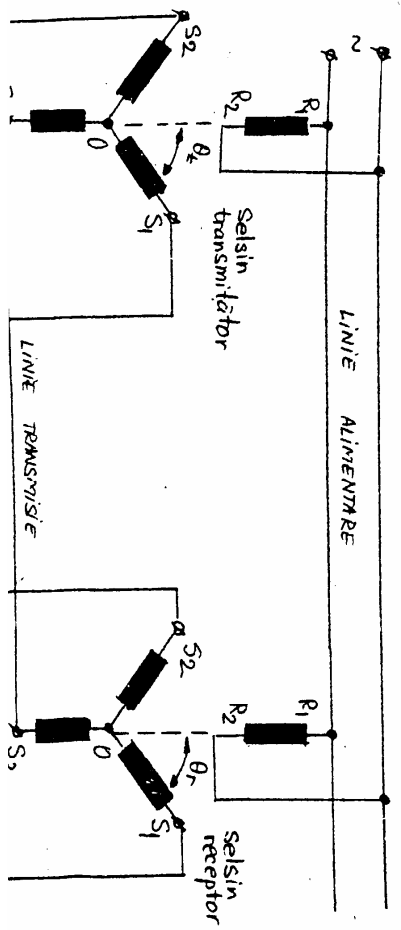


Fig. 11



Observa ca selsinul izolat se poate utiliza in regim de transformator rotator sinusoidal - cosinusoidal. Daca se va roti statorul fata de rotor cu un unghi de 120 grade amplitudinea tensiunii electromotoare de linie E31 este data de relatia:

$$E_{31} = \sqrt{3} E_m \sin \phi$$

Se observa ca amplitudinea tensiunii E31 este proportionala cu sinusul unghiului de rotire a rotorului. Daca acest unghi este limitat la  $\pm 30^\circ$ , functia sinus se poate aproxima cu o dreapta, iar selsinul se utilizeaza in regim de transformator rotativ linlar.

Selsinele perechi utilizate in regimul indicator sunt destinate transmiterii la distanta a indicatiilor unui aparat sau a pozitiei unghiulare a unui ax. In figura 11 se prezinta principiul de functionare al selsinelor in regim de indicator.

Pentru a transmite indicatiile postului de lucru la postul de comanda, se folosesc doua selsine, unul transmisor si unul receptor, cuplate electric intre ele.

Rotorul selsinului transmisor este invaritit de catre postul de lucru prin intermediul unui angrenaj, cu unghiul  $\theta_r$ .

Datorita acestei rotiri apare un cuplu electromagnetic ce nu poate invinge cuplul mecanic rezistent din postul de lucru, dar care invinge cuplul rezistent din postul de comanda si astfel rotorul selsinului receptor se va roti cu un unghi  $\theta_g$  care va fi egal cu  $\theta_r$ . Deci:

$$\theta_r = \theta_g$$

In postul de comanda, pe axul selsinului receptor se monteaza un reductor ce roteste un ac indicator care in dreptul unei scale fixe reda indicatiile postului de lucru.

Intr-o alta varianta, pe axul selsinului receptor exista un reductor ce roteste o scala mobila, iar indicatiile postului de lucru se citeasc pe aceasta in dreptul unui indicator fix sau a unei linii de credinta (fir reticular in spatele unui geam de protectie). La pilotul automat pentru navigatie neritima, pentru a transmite unghiurile de punere a carneli intr-o pozitie corespunzatoare pupitrului de comanda se utilizeaza selsine in regim de indicator. Postul de lucru este elementul de executie, iar postul de comanda este pupitrul de comanda al pilotului. Unghiurile de punere a carnelor se citeasc pe o scala fixa in dreptul unui ac indicator mobil. Conectarea selsinelor in regim de indicator se arata in figura 12.

Infrastructura monofazate ale ambelor selsine sunt alimentate de la aceeaasi retea electrica, iar circuitul trifazat se conecteaza in opozitie, fara cu faza. Unghiul de decalaj al celor doua selsine este egal cu:

$$\theta = \theta_r - \theta_g$$

Deoarece s-a utilizat un circuit secundar trifazat, cuplul electromagnetic depinde de unghiul de decalaj  $\theta$  si nu de celelalte doua unghiuri.

Cand membrul drept al ecuatiei electromagnetice este de asemenea nul, valoarea este nul, cuplul electromagnetic este de asemenea nul.

Daca apare un unghi de decalaj intre cele doua selsine, cuplul apare un cuplu electromagnetic, care tinde sa mareasca unghiul  $\theta_r$  si sa micsoareze unghiul  $\theta_g$ . Cuplul rezistent din postul de lucru fiind de valoare mare, cuplul electromagnetic nu poate modifica pozitia rotorului selsinului transmisor  $\theta_r$ . Deoarece pe rotorul selsinului receptor exista numai un ac indicator, cuplul rezistent din postul de comanda este de valoare mica, astfel cuplul electromagnetic il invinge si modifica pozitia unghiulara  $\theta_g$  pana cand se stabileste egalitatea de mai sus.

### 2.1.1.3. Tahogeneratorul de curent continuu

Tahogeneratorul de curent continuu este un traductor viteza unghiulara - tensiune destinat asigurarii unei tensiuni proportionale cu viteza abaterii navei de la drum (asigurarea legii de reglare diferentiale la un pilot automat de tip electromecanic). Acest dispozitiv este prezentat in figura 13 (a,b).

Fluxul de excitatie fiind constant, tensiunea generata este proportionala cu viteza de rotatie a rotorului, adica:

$$U_g = C_1 \Omega$$

unde:

-  $C_1$  - coeficient de proportionalitate;

-  $\Omega$  - viteza de rotatie a rotorului.

$$\Omega = C_2 \frac{d\theta}{dt}$$

Viteza de rotatie a rotorului este proportionala cu viteza abaterii navei de la drum, adica:

-  $C_2$  - coeficient de proportionalitate;

cu:

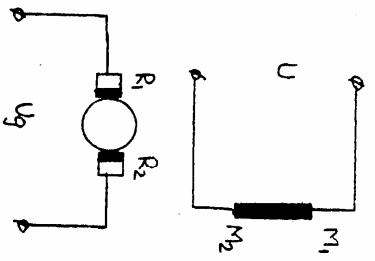
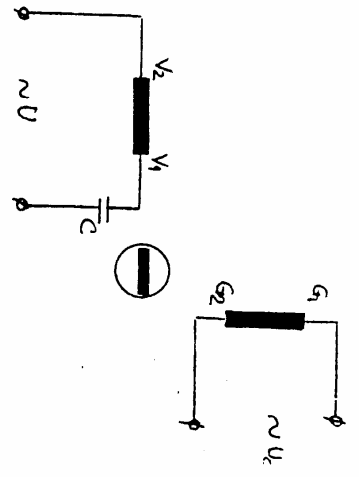


Fig. 13 a



b

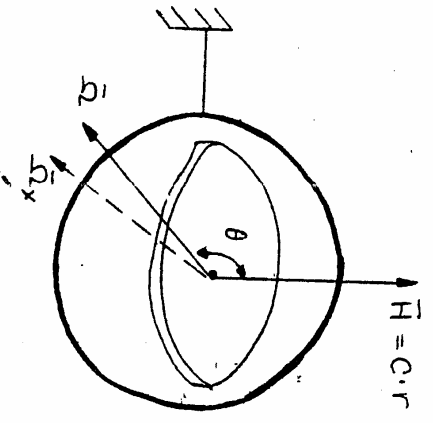


Fig. 14

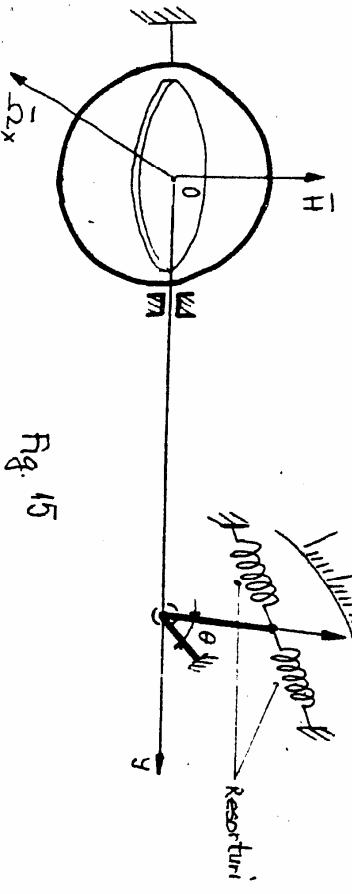


Fig. 15

$\frac{ds}{dt}$  - viteza abaterii navei de la drum sau derivata abaterii.

$$U_g = C_1 C_2 \frac{dM}{dt} = C \frac{dM}{dt}$$

Tensiunea generata este proportionala de asemenea cu viteza abaterii navei de la drum, iar polaritatea este data de cresterea sau scaderea acesteia.

#### 2.1.1.4. Trecatorul girometric

Reprezinta un dispozitiv destinat traducerii vitezelor unghiulare, utilizat in marina si aviatie pentru mentinerea unei pozitii constante sau pentru a realiza un regim de navigatie dat. Pentru realizarea acestor dispozitive se utilizeaza proprietatile giroscopului (figure 14), pentru care:

$H$  - momentul cinetic al giroscopului;

$\Omega$  - vectorul rotatie al carterului giroscopului;

$C$  - cuplul de reactie al carterului asupra giroscopului.

$$C = |H \times \Omega| = |H| |\Omega| \sin \theta$$

unde  $\theta$  - unghiul format de cei doi vectori.

Daca momentul cinetic al giroscopului este constant, cuplul este proportional cu  $\Omega$  cu conditia ca  $\theta$  sa fie constant.

Pentru transformarea indicatiei cuplu in indicatie deplasare, ceea ce este usor de realizat cu ajutorul unui resort (figure 15), unghiul  $\theta$  nu mai este constant, iar deplasarea nu mai este proportionala cu cuplul. Se poate face numai masurarea componentei  $\Omega_x$  a vectorului  $\Omega$  din planul initial al giroscopului. Scala este neliniara, dar poate fi compensata prin utilizarea unui element transmisor de asemenea neliniar (potentiometru). Inertia carterului, inclusiv a giroscopului, intervine direct in raport cu axe  $OY$ . Functia de transfer a giroscopului este:

$$\frac{\theta}{\Omega} = \frac{H}{b_1 p^2 + b_2 p + k}$$

unde:

$b_1$  - inertia carterului in raport cu axe  $OY$ ;

$b_2$  - coeficientul de frecare;

$k$  - modulul de elasticitate al resortului.

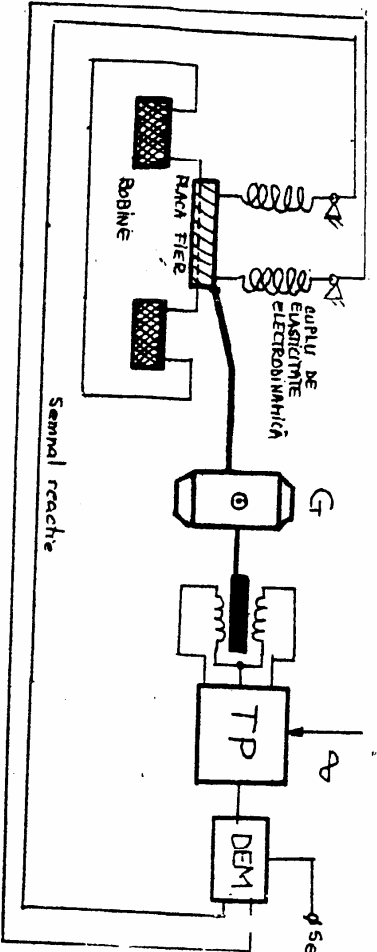


Fig. 16

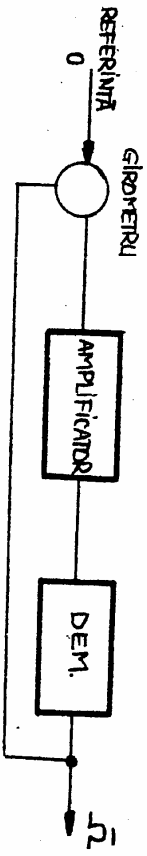


Fig. 17

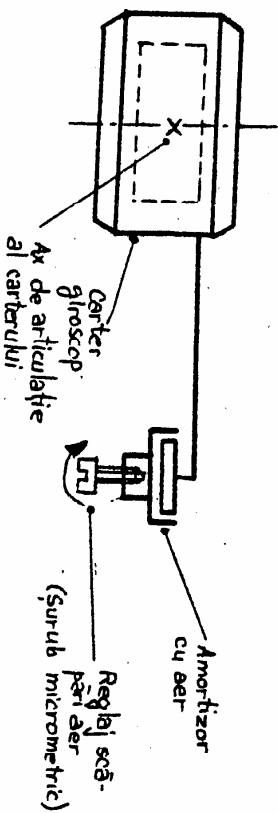


Fig. 18

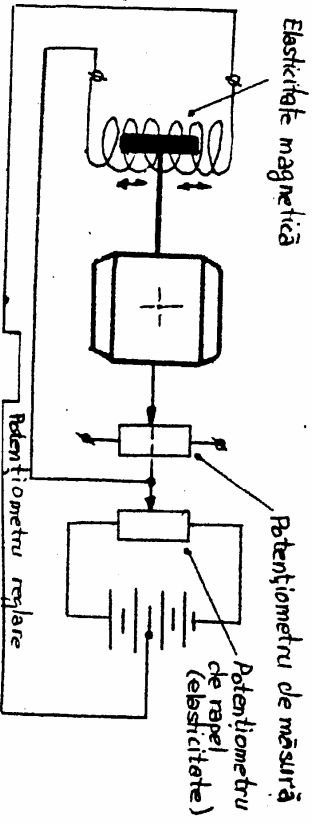


Fig. 19

Spunând girometrului este cu etaj mai corect cu cat inerția și a cartelului în raport cu axa OY este mai mică. La dispozitivele girometrice de calitate trebuie eliminată vibrația, reducând-o sub 5 grade. Cursa axului potențiometrului, la aducerea mișcării prin potențiometru, este de ordinul a +/- 5 mm. În acest caz, citirile sunt de ordinul a +/- 100 - 1000 niveluri devine extrem de dificilă. Sistemul îmbunătățit constă în utilizarea unui cuplu de elasticitate variabil, în așa fel încât girometrul să rămână la zero. Valoarea acestui cuplu corespunde riguros inerției vitezei unghiulare de treds. Realizarea acestui dispozitiv de cântărire automată este însă complicată, deoarece el realizează o reglare automată chiar în etajul traductor. În consecință se admite o ușoară betate, care constituie semnalul de eroare al sistemului de reglare automată. Dispozitivul elastic este de natură electrică (cu electromagneți ai resorturi - figura 16). Notățiile de pe desen reprezintă:

- G - girometru;
  - TP - traductor de poziție;
  - DEM - demodulator;
  - Se - semnal țesare.
- Schema funcțională a fost reprezentată în figura 17. Curentul de țesare este proporțional cu viteza unghiulară de măsurat. Acest tip de girometre au fost utilizate pentru prima dată la rachetele germane V1 și V2 în 1944.

Elemente constructive ale girometrului

La girometrele de acest tip există 2 parametri principali: coeficientul de frecare al amortizorului (realizat în general cu aer) și coeficientul de elasticitate (corespunde resortelor în cazul unui dispozitiv mecanic sau rezistențelor suplimentare în cazul unui dispozitiv magnetic - figura 19).

Alegerea parametrilor de reglare depinde de destinația girometrului. Cu cât coeficientul de amortizare este mai mic, cu atât rezonanța va fi mai pronunțată, ceea ce poate duce la inconveniente grave în etajul traductor. Lagărele pe care se sprijină masa girometrică au evoluat de la cel cu frecare la rulmenți cu bile, de alunecare, iar în cele din urmă s-a ajuns la lagăre cu aer.

2.1.1.5. Traductorul accelerometric

Pentru menținerea stabilității, în afara de traducerea vitezei unghiulare este necesară traducerea și a accelerației unghiulare. Un semnal format din aceste două marimi - uneori și poziția unghiulară - este trimis înaintea motorului carneli la pilotul automat, în amplificator.

Un accelerometru trebuie să detecteze accelerații unghiulare slabe (aproximativ  $1 \frac{rad}{sec^2}$ ) cu o zonă de insensibilitate de