

## MASURAREA TURATIEI.

11.1. Prezentare. Traductoare. Principii de măsură.

Măsurarea vitezei unghiulare (a turăției) se face într-o diversitate mare de metode și aparate electrice, determinate în alegerea traductoarelor și metodologiei de măsură fiind precizia dorită, accesibilitatea la obiectul aflat în mișcare de rotație, modul de afișare al rezultatului măsurării.

Principalele tipuri de tahometre uzuale (inclusiv mecanice) sînt:

- tahometrele mecanice;
- tahometrele cu curenți turbionari;
- tahogeneratoarele;
- tahometrele cu impulsuri;
- strobotalometrele.

După modul afișării rezultatului se disting tahometre cu indicare analogică și numerică.

Lucrarea își propune să prezinte sintetic principalele tipuri de traductoare și tahometre utilizate la măsurarea turăției unui motor asincron, comparîndu-se apoi rezultatele obținute.

## 11.1.1. Tahometrele mecanice.

Ele se grupează în:

- tahometre-contoare de rotație pe perioadă de timp cunoscută, dînd de obicei valori medii ale turăției;
- tahometre bazate pe forța centrifugă;
- tahometre de rezonanță.

Tahometrul-contor de rotație, combină un contor de rotație cu un dispozitiv de măsură a timpului, asamblate într-un singur dispozitiv. Prin apăsarea capului (virfului) de contact pe obiect (capul de contact are de obicei formă tronconică, din oțel, cu proprietăți de fricțiune; acest gen de tahometre au și alte tipuri de virfuri de contact, pentru a putea fi puse în contact cu corpuri și axe aflate în mișcare de rotație și avînd forme diferite), sînt deolansate simultan numărarea rotațiilor și măsurarea timpului. Oprirea așezării la retragerea capului de contact. La variantele moderne, numărarea se face în perioade bine definite de timp, aparatul indicînd direct rotația în rot/min. În plus aceste tahometre sînt dotate cu angrenaje demultiplicatoare, permițînd obținerea mai multor domenii de măsurare, în general între  $10^1$  și  $10^4$  rot./min.

## 11.1.2. Tahometre bazate pe t.e.m. indusă (fig. 11.1)

Bobina acționată de obiectul în mișcare de rotație a cărui turăție trebuie măsurată, rotindu-se într-un câmp magnetic uniform, produce o t.e.m. E proporțională cu turăția, conform relației:

$$E = 4,44 \omega \Phi = 4,44 \omega B S \frac{n}{60} = k n \quad (11.1)$$

Această t.e.m. se oulege printr-un sistem de perii colectoare și este indicată de un voltmetru etalonat direct în rot/min. Tahogeneratoarele electrodinamice au statorul bobinat și rotorul cu mai multe perechi de poli. Pentru măsurarea corectă a t.e.m. induse E, se utilizează voltmetre cu rezistență mare de intrare, analogice sau numerice.

## 11.1.3. Tahometre cu curenți turbionari (fig. 11.2)

Magnetul permanent multipolar se află în mișcare de rotație acționat de arborele a cărui rotație se măsoară și induce în pahar

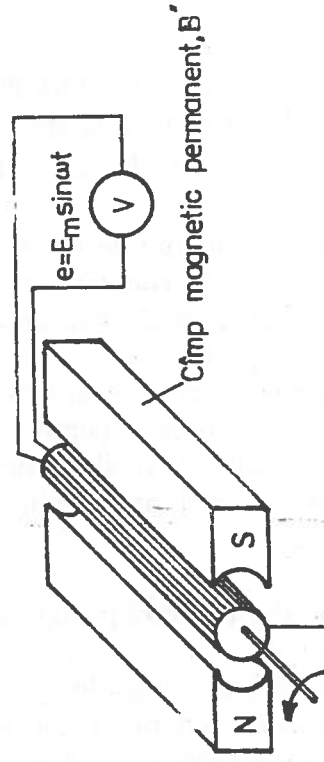


Fig. 11.1.

Bobina „W” spire, secțiunea „S” rotindu-se cu turăția de măsură „n”

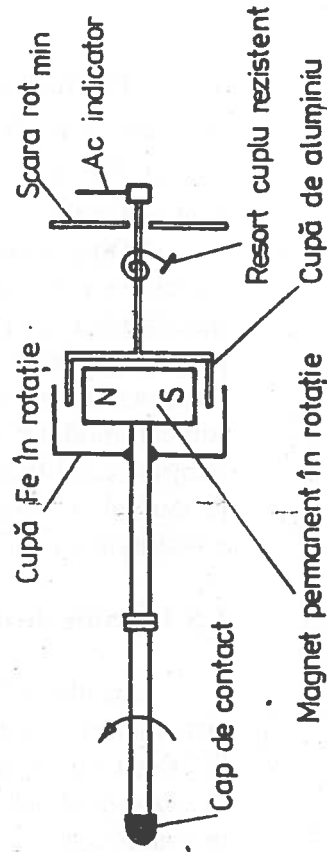


Fig. 11.2.

(cupe) de aluminiu (material neferomagnetic), tensiuni, respectiv curenti tubionari proporționali cu rotația. Cuplul motor, rezultat din interacțiunea acestor curenti cu fluxul inductor este proporțional cu rotația, conform relației:

$$M_a = k \cdot \frac{p \Phi^2 n}{\rho} \quad (11.2.)$$

unde  $p$  este numărul de perechi de poli ai magnetului permanent, iar  $\rho$ , rezistivitatea materialului din care este confecționat paharul neferomagnetic. La echilibru cu cuplu rezistent creat pe cale mecanică (resort spiral):

$$M_r = -W \cdot \alpha \quad (11.3.)$$

se stabilește deviația stabilă ( $M_a + M_r = 0$ ):

$$\alpha = -\frac{k}{W} \cdot \frac{p \Phi^2 n}{\rho} = k' n \quad (11.4.)$$

unde  $k'$  este o constantă a sistemului,  $W$  cuplul rezistent specific (determinat de materialul, dimensiunile și secțiunea transversală a resortului spiral),  $\Phi$ , fluxul magnetic al unui pol iar  $n$ , turația de măsurat.

Datorită simplității și robusteții, aparatul este foarte răspândit la ora actuală, fiind practic toate vehiculele terestre în variante de vitezometru și tahometru. Precizia este cuprinsă între 0,5 și 3%.

#### 11.1.4. Tahometre cu impulsuri.

Realizarea sau utilizarea unui cuplaj mecanic cu arborele a cărui rotație se măsoară fiind uneori dificilă iar alte ori chiar imposibilă, din motive constructive sau datorate puterii la arbore mici (cuplajul mecanic intervenind ca o sursă importantă de aranjantă în funcționarea mașinii cărora i se urmărește măsurarea turației), se ivesc situații în care tahometrele descrise la par. 11.1.1 - 11.1.3. nu se pot utiliza. Acesta este și unul din principalele motive pentru care s-au realizat tahometre fără contact direct cu arborele cărora i se măsoară turația, în continuare fiind tratate toate aceste tipuri de tahometre. Tahometrele cu impulsuri utilizează tractoare adecvate:

- cu contacte;
- cu reluctanță variabilă;
- magnetorezistive.

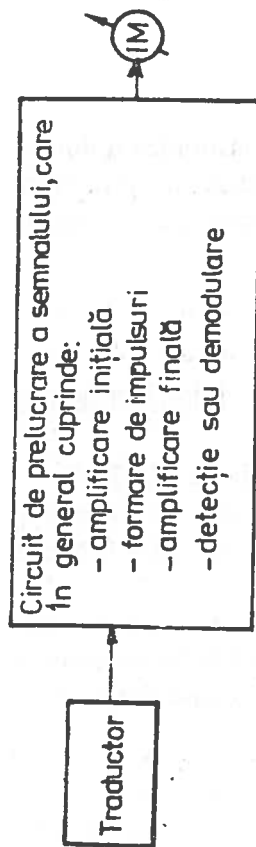


Fig. 11.3.

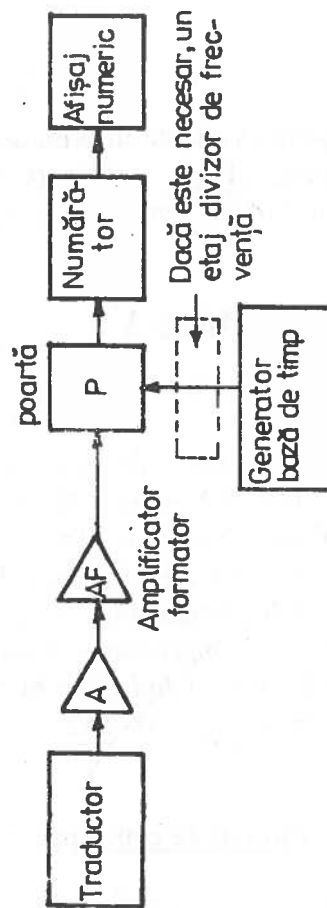
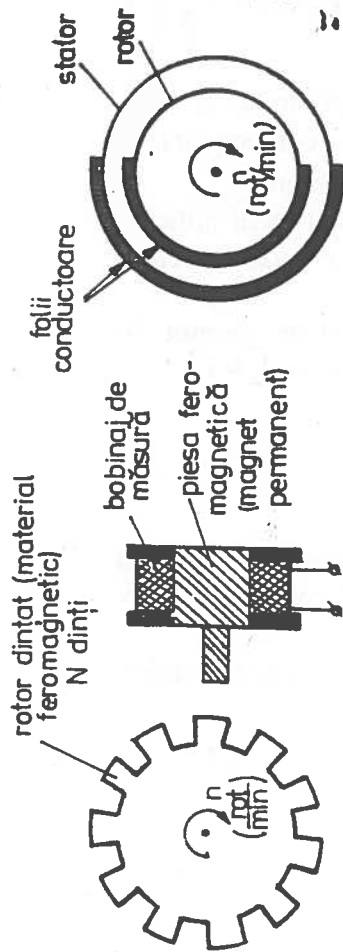


Fig. 11.4.

În figura 11.5. se prezintă principalele tipuri de traductoare de impulsuri utilizate pentru preluarea informației despre turația axului. Dintre aceste tipuri de traductoare, cele mai pretențioase și cele capacitive (datorită valorii relativ mici a capacității și deci variației acesteia în valori mici) și cele magnetorezistive (la care pot apărea erori datorate neuniformității proprietăților magnetorezistive pe circumferința axului aflat în mișcare, cum și se similității relativ mici a traductorului).



cu reluctanță variabilă

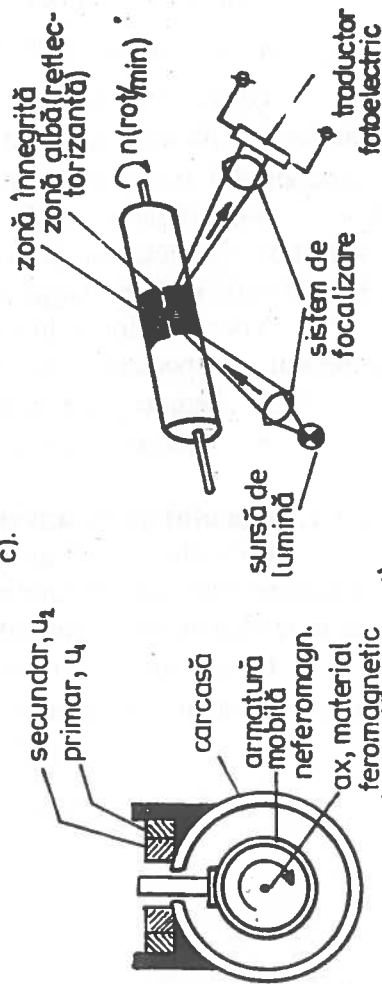
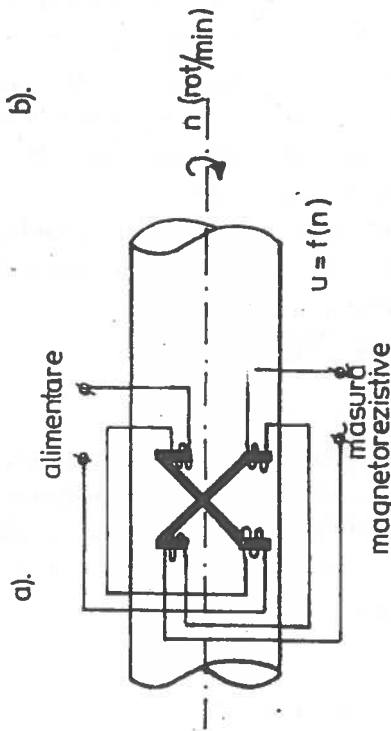
$$u = f \left( \frac{nN}{60} \right)$$

$$C = f \left( \frac{L}{d} \right) s$$

$$s = f(n) \Rightarrow C = f(n)$$

capacitive

b).



$$u_2 = f(n)$$

inductive d).

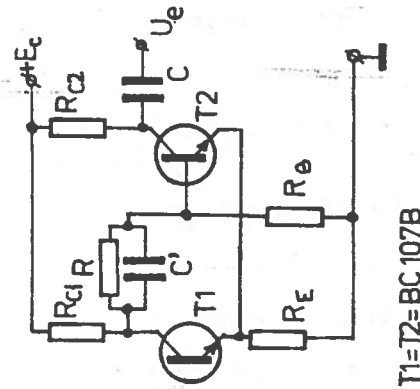
fotoelectrice e).

Fig. 11.5.

La traductoarele inductive rotirea axului (din material feromagnetic cu intercalarea unei zone magnetice) conduce la inducerea în armătura mobilă a unor curenți turbionari sub acțiunea căroră aceasta are tendința de a se deplasa din poziția de echilibru inițial (la care era menținută de câmpul magnetic produs de primarul alimentat cu  $u_1$ ), provocând o variație a t.e.m. induse în înfășurarea secundară  $u_2$ .

În cazul traductorului capacitiv, acesta se introduce într-o schemă de oscilator cu frecvență variabilă (determinată de variația capacității traductorului, între cele două valori extreme, determinate de poziția relativă stator-rotor) și apoi prin intermediul unui trigger Schmitt și a unui detector semnalului, transformat în semnal de durată variabilă (la amplitudine constantă) determinată de frecvența oscilației, este detectat și aplicat instrumentului de măsură (de obicei un microampermetru).

Tahometrul realizat cu traductor capacitiv, are o variație a capacității traductorului între  $30 \pm 60$  pF, pentru care frecvența oscilatorului se modifică între 175 kHz și 1 MHz, după care semnalul înainte de a fi introdus în triggerul Schmitt este format în impulsuri cu circuitul din fig. 11.6., basculant cu cuplaj în emitor, prezentând avantajul unei sarcini (circuitul de diferențiere  $-R_{C2}, C$ ) nu influențează funcționarea corectă a etajului datorită reacției din circuitul emitorului. Caracteristica intrare-ieșire a circuitului este prezentată în fig. 11.7, de unde se remarcă încă odată de corecta funcționare a sa.



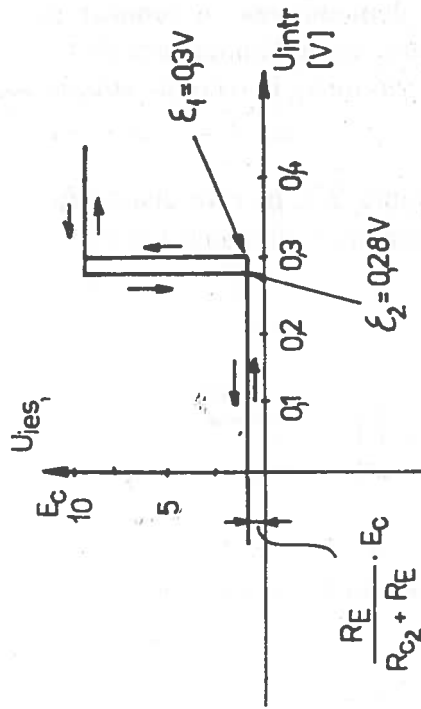


Fig. 11.7

În cazul tahometrelor cu traductor fotoelectric, fiecărei rotații îi corespunde un impuls luminos, care, căzând pe fotodetector produce un impuls electric, a căror numărare se face apoi analogic sau numeric.

Aparatul PU - 420 (RSC - Metra Blansko) permite măsurarea rotației în domeniul 0 ÷ 60.000 ro/min în patru game de măsură, ca o precizie de 2,5%, afișajul fiind analogic pe o scală cu 60 diviziuni. El utilizează un convertor frecvență - curent care generează un semnal normalizat ca amplitudine și durată, de frecvență determinată de cea a semnalului de intrare și a cărei valoare medie este indicată de dispozitivul de măsură DME (fig.11.8), conform relației de

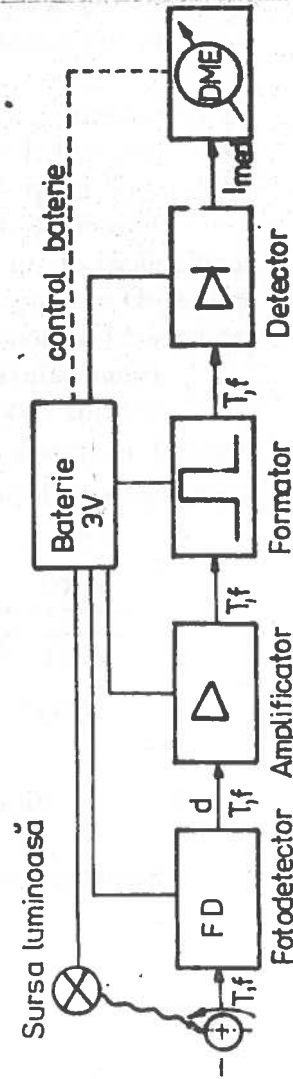


Fig. 11.8

dependență:

$$I_{med} = k \cdot \frac{t_0}{T} \cdot U = k_1 \cdot \frac{1}{T} = k_2 \cdot f = k_2 \cdot n \quad (11.5)$$

unde  $k, k_1, k_2$  sînt constante,  $T, f$  - perioada, respectiv frecvența impulsurilor,  $t_0$  - durata impulsurilor,  $n$  - turația de măsurat.

#### 11.1.5 Strobotahometre.

Principiul de funcționare al strobotoscopului electronic constă în iluminarea periodică cu impulsuri de mare intensitate și scurtă durată a obiectului în mișcare de rotație. Datorită inerției ochiului, se va obține o imagine imobilă pentru situațiile de egalitate sau raport întreg între frecvențele impulsurilor și a obiectului în mișcare de rotație, observînd o imagine unică a axului, sau, respectiv o imagine multiplă a acestuia. Schema bloc de principiu este dată în fig. 11.9.

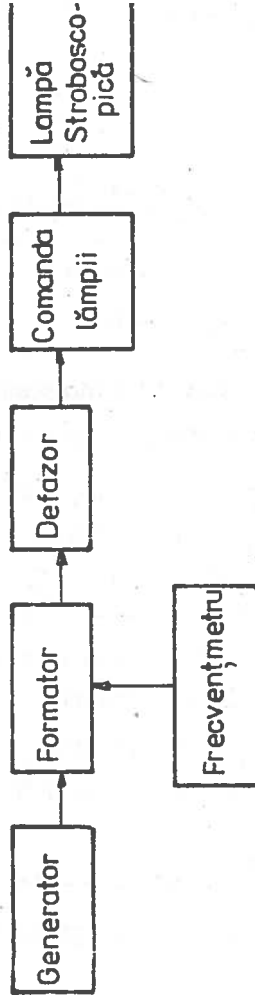


Fig. 11.9

În raport de modul de afișare al frecvențelor impulsurilor, strobotoscoapele pot fi analogice sau numerice, cele numerice indicînd, în majoritatea cazurilor, direct, turația axului aflat în mișcare de rotație, în situația imobilizării unei imagini singulare a acestuia.

A. STROBOSCOPIUL ANALOGIC N-2601, produs de IAEMI București, are schema bloc prezentată în fig. 11.10.

Comanda lămpii se poate face prin generatorul intern (INT), prin sincronizare externă (EXT, TRAD) sau prin sincronizare de la rețea (RETEA). Impulsul de aprindere se poate decala față de impulsul lămpii, permițînd vizualizarea oricărei porțiuni a obiectului aflat în mișcare de rotație.

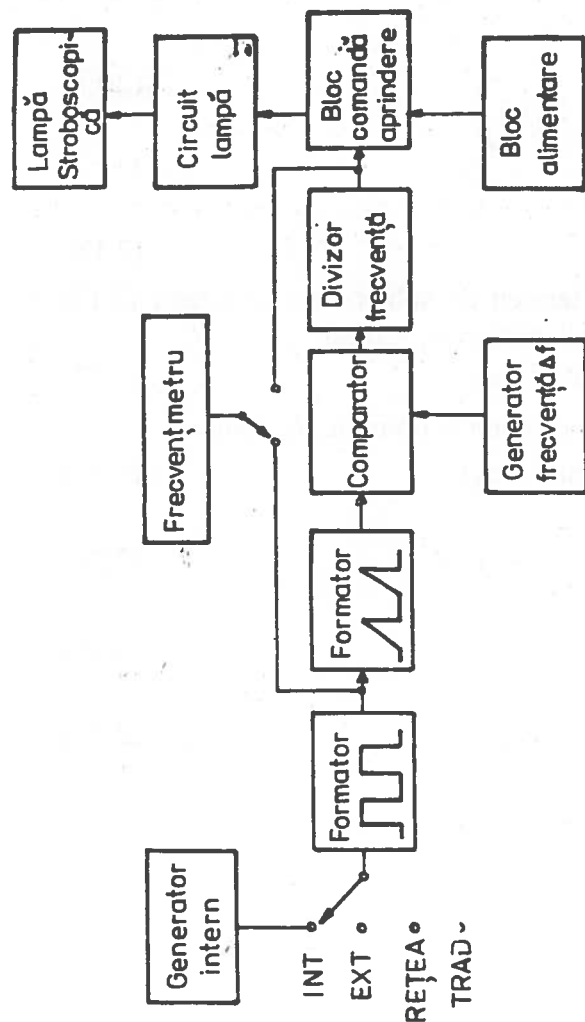


Fig. 11.10

B. STROBOSCOPUL DIGITAL tip  $\Delta f$  - 721/A (RPU) avînd schemele bloc din fig. 11.11 și 11.12, în care se indică cele două moduri de lucru : cu generator (sincronizare) intern , respectiv cu generator (sincronizare) extern.

Circuitele componente ale blocurilor aparatului sînt următoarele :

- comanda lămpii ; se realizează cu tiristor care descarcă condensatorul prin înfășurarea primară a transformatorului de aprindere a lămpii, rezultînd un impuls de cca. 4 kV în secundar, suficient pentru aprinderea lămpii ;
- tahometrul digital, compus din :
  - generatorul bazei de timp (pentru sincronizarea internă) ;
  - generatorul intervalului de timp de afișare (pentru timp de măsură) ;
  - circuit adaptor de intrare (pentru sincronizarea externă) ;
  - circuit divizor 1/100 (pentru sincronizarea internă) ;
  - trei numărătoare decadice, circuitul decodificator și circuitul de indicare.
- circuitele de alimentare.

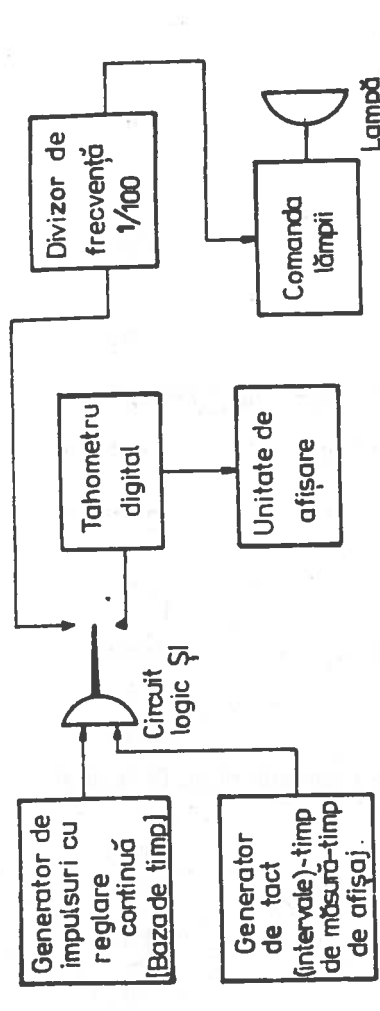


Fig. 11.11.-(sincronizare internă).

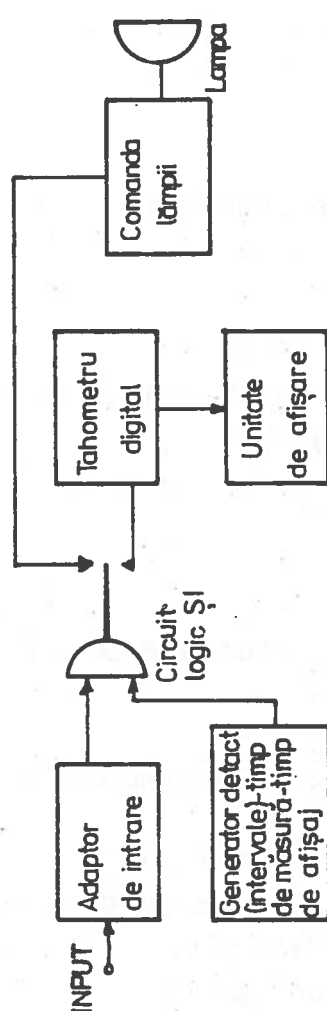


Fig. 11.12 -" (sincronizare externă)

## 11.2 Scheme de măsură. Mod de lucru.

### 11.2.1 Tahometrul mecanic.

Se alege capul de contact corespunzător obiectului în mișcare de rotație, se cuplează la tahometru și se aplică pe obiect. Se selectează gama de măsurare și se citește turatia.

### 11.2.2 Tahometrul bazat pe t.e.m. indusă.

Se realizează schema de montaj din fig.11.13.

Se alimentează electromagnetul generator de cîmp

$E_m$  și se măsoară inducția B cu teslametrul T, introducînd apoi bobina de măsură  $B_m$  în cîmp. Se citește tensiunea indusă în bobina de măsură prin acționarea acesteia de către motorul M, a cărui turatie

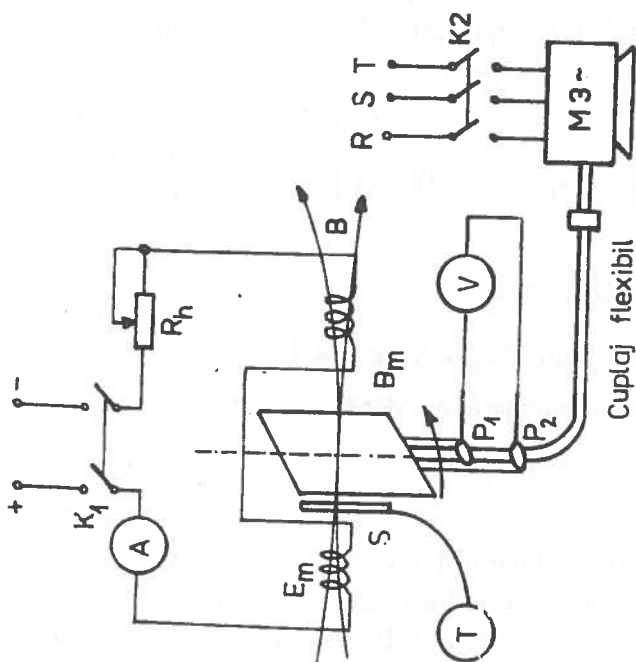


Fig. 11.13.

se măsoară. Pe baza relației (11.1) și cunoscând numărul de spire  $w$  și secțiunea  $S$ , se calculează turația necunoscută  $n$ , rezultatele trecându-se în tab. 11.1. Aparatura de măsură aferentă schemei din fig. 11.13 respectă în principiu următoarea listă:

A - ampermetru de c.c., 0-5A, clasă 0,5;

V - voltmetru numeric E 0302 sau multimetru MAVO - 35, utilizat ca voltmetru în c.a.;

T - teslametru cu sondă Hall;

M<sub>3</sub> - motor asincron trifazat a cărui turație se măsoară;

R<sub>n</sub> - reostat 75Ω, 3A;

B - bobină de măsură, cu caracteristici:

$$S = 10 \text{ cm}^2; w = 250 \text{ spire, cu sistem perii - colector } P_1, P_2;$$

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> - întrerupătoare tripolare eapulate.

#### 11.2.3 Tahometrul cu curenți turbionari.

Se cuplează tahometrul la axul în mișcare de rotație prin intermediul unui cuplaj flexibil. Se pornește motorul. Acul tahometrului deviază într-o poziție corespunzătoare turației "2 n".

NOTA: Dacă după pornirea motorului, acul tahometrului nu deviază, este necesară inversarea sensului de rotație, al axului motorului electric, prin inversarea a două faze între ele.

#### 11.2.4 Tahometre cu impulsuri.

Schema de montaj se realizează în fig. 11.14 (vezi și schema 11.5.a), la ieșirea circuitului magnetic fiind cuplat un instrument de măsură c.a. sau prin circuitul de detecție, de c.c.

Tensiunea electromotoare indusă este determinată de frecvența de rotație și de numărul de dinți ai ro-

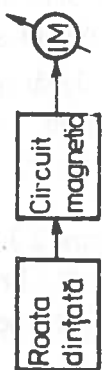


Fig. 11.14.

ții dințate, conform relației:

$$f = \frac{nN}{60}$$

$$E = 4,44 \cdot f \cdot W \cdot \phi = f(n)$$

putând realiza o etalonare a scalei instrumentului de măsură direct în unități de rotație (rot/min), sau echivalând indicațiile instrumentului în unități de rotație.

Tahometrul cu traductor capacitiv are schema din fig. 11.15, recunoscând etajele schemei bloc descrise la par. 11.1.4. Se urmăresc pe schema de montaj (execuție) elementele componente ale schemei de măsură și formele semnalelor în punctele 1 și 2. Se alimentează circuitul la o tensiune de 9V c.c., se cuplează întrerupătorul K și se verifică pe instrumentul de măsură existența tensiunii de alimentare după care se cuplează oapul rotativ al traductorului la axul în mișcare de rotație și după alegerea domeniului de măsură corespunzător se citește valoarea turației. În timpul măsurării se face recunoașterea semnalelor din punctele 1 și 2 la un osciloscop E 0 102 sau E 0 103.

În cazul aparatului PU - 420, modul de utilizare respectă următoarele etape:

- se conectează sonda de măsură în locașul corespunzător;

- se verifică starea bateriei de alimentare, conectând una dintre gamela de măsură și apăsând butonul "BAT", acul instrumentului trebuind să devieze în zona roșie;

- se marchează o dungă albă (sau reflectorizantă) pe axul (obiectul) a cărui turație trebuie să o măsurăm. Cu aparatul conectat pe cea mai mare gamă de măsurare, se apropie sonda de obiectul în mișcare de rotație și se citește direct turația acestuia în "rot/min". Pe timpul citirii se reglează intensitatea fascicolului luminos emis de becul din interiorul sondei spre maximum, după care între două citiri, dacă ele nu sînt apropiate ca interval de timp, ea se micșorează.

Deconectarea sursei de alimentare se face prin eliberarea tuturor butoanelor claviaturii de alegere a domeniilor de măsurare.

## A. STROBOSCOPUL ANALOGIC N - 2601

- comutatorul modului de lucru (SINCR) pe poziția (GEN.INT.), potențiometrul (NIV.SINCR) rotit la maximum în sens orar;

- se reglează frecvența generatorului intern (butonul GEN.INT.) până la obținerea unei imagini unice a rețelului de pe obiectul în vizuire de rotație;

$$f_i = \frac{m}{n} \cdot f_m \quad (11.6)$$

- pentru imagine unioă,  $m=1$  și cînd  $m'=1$ , rezultă:

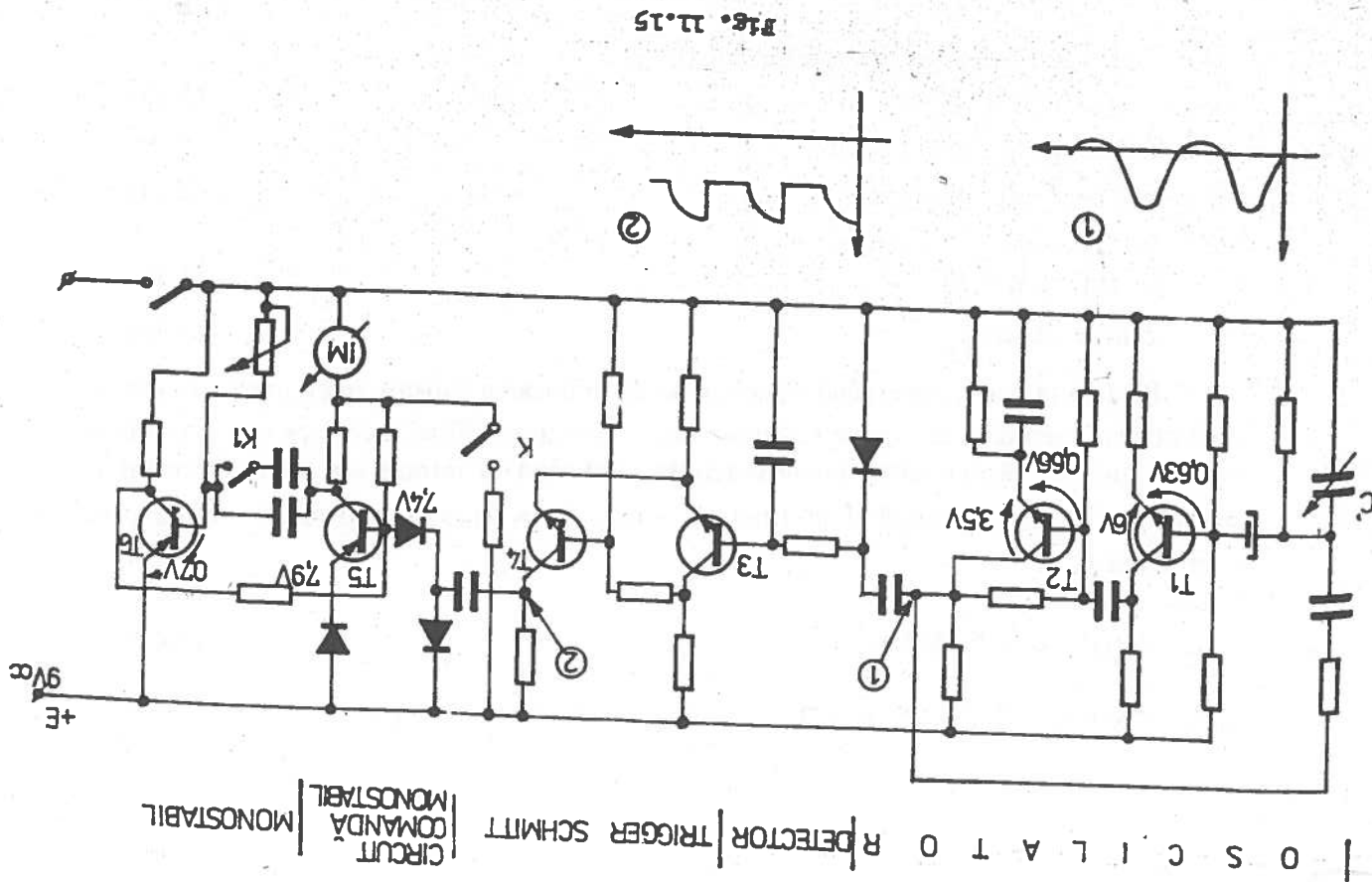
$$P_{\text{III}} = P_{\text{I}} \quad (11.7)$$

$m = 60$  (11.8)

a) cînd  $f_m < f_1$  max (frecvența maximă a generatorului intern), ultima imagine fixă simplă dinaintea dublării ei (obținute prin creșterea frecvenței generatorului) indică sincronizarea stroscopului cu fundamentală mișcării.

$$f_m = \frac{f_{11} f_{12}}{f_{12} - f_{11}} \quad (11.9)$$

unde  $f_{i1}$  și  $f_{i2}$  sînt frecvențele succesive ale generatorului intern





pentru care se obțin imagini unice. Tot în acest caz se poate folosi și variația defazării fluxului luminos pînă la apariția imaginii unice fixe în aceeași poziție cu cea inițială; fie această defasurare "Q". Ordinul subarmonic este:

$$n = \frac{360^\circ}{Q} \quad (11.10)$$

Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelul 11.2.

B. STROBOSCOPUL DIGITAL OE 721/A

În cele ce urmează se tratează sincronizarea internă pentru măsurarea turației.

- cu întrerupătorul K9 (FLASH) deconectat, se închide întrerupătorul K10 (MARCHE) și se apasă comutatoarele K2 sau K3 ale limitelor de măsurare. Se cuplează apoi întrerupătorul K7 (SOURCE) cu K6 (ARRET). Aparatul va măsura direct frecvența rețelei raportată la un minut (3000 rot/min = 50 Hz .60 s.);
- prin apăsarea K9 (FLASH), lampa emite în ritmul frecvenței rețelei;

- declanșînd pe K7 și punînd K6 în poziția "DEOL.INT.", lampa este comandată de generatorul intern de frecvență reglabilă în trepte cu K2 - K3 - K4 - K5 și continuu cu potențiometrul P<sub>1</sub>;
- la obținerea imaginii singulare a reperului pe obiectul aflat în mișcare de rotație se citește direct pe display turația, arului în rot/min, la poziția "ARRET" a K9.

Se va controla și modul "SINCR.EXT.", cu un generator extern de impulsuri sau de unde sinusoidale acustice.

### 11.3 Rezultate experimentale. Concluzii.

Se realizează schema din fig.11.13 și pe baza datelor măsurate se completează tab.11.1, calculîndu-se apoi valoarea turației la axul motorului.

Tab.11.1.

Nr. crt.	Motor	Bobina de măsură		Electromagnet		E	f	n
		W	S	I [A]	B [T]			
						[V]	[Hz]	[rot/min]

Se trec în revistă celelalte metode de măsurare a turației și se trec în tabelul 11.2. Considerînd metoda strobotalahometrică ca metodă de referință, se calculează erorile relative de măsurare

(tabel 11.3).

Tabel 11.2

Nr. crt.	Turația înscrisă pe plăcuța motorului	măsurat						Strobotalahometre	
		Mecanic	T.e.m. indusă	Impulsuri		Trad. cu re-luctanță variabilă	Trad. fotoelectric	Tahometru cu cureni turbona-	Tahometru cu cureni turbona-

Tabel 11.3

METODA					
Nr. crt.	Tahometru mecanic	Metoda t.e.m. induse	Tahometre cu impulsuri		Tahometru cu cureni turbona-
			Traductor cu re-luctanță variabilă	Traductor fotoelectric	

Se trag concluzii și se fac observații cu privire la compararea metodelor de măsură din puncte de vedere ale preciziei, comodității de măsură, influenței asupra obiectului măsurat, manevrabilității, etc.