

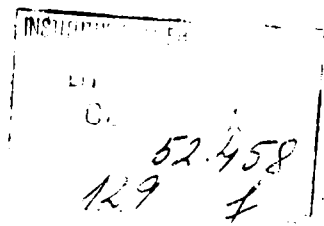
MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC - TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICĂ

N. BOGOIEVICI  
E. SERACIN  
V. VAZDAUTEANU

# ***ACTIONARI ELECTROMECHANICE***

*LUCRARI DE LABORATOR*

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICĂ"  
TIMIȘOARA



1956

---

LITOGRAFIA ÎNVĂȚĂMÎNTULUI - TIMIȘOARA



## CUVINT INAINTE

Litografierea îndrumătorului de față are ca scop de a permite studenților să efectueze lucrările de laborator, la disciplina de Acționări Electromecanice, în condițiuni mai bune ca pînă acum.

Cele unsprezece lucrări de laborator, din îndrumător, au fost elaborate pe baza instalațiilor și a utilajului de la laboratorul de Mașini Electrice. Este evident că în asemenea condițiuni n-a fost posibil să se aleagă lucrările cele mai caracteristice ale domeniului de acționări. Mai trebuie avut în vedere că aceste lucrări de laborator s-au executat, cu studenții, pentru prima dată, în anul școlar 1955/1956.

Este de prevăzut că, pe măsura dezvoltării laboratorului - în curs de înființare - de pe lîngă catedra de Utilizările Energiei Electrice, conținutul lucrărilor de laborator de la disciplina de Acționări Electromecanice, se va îmbunătăți.

La elaborarea lucrărilor de laborator au fost de un real ajutor îndrumările tov. conf. Brașovan Mihai.

Timișoara, iunie 1956.

Lucrarea nr.1

REGLAREA TURĂȚIEI MOTORULUI DE CURENT  
CONTINUU CU EXCITAȚIE ÎN PARALEL  
(INDEPENDENTĂ) PRIN SLĂBIRE DE CÎMP

Scopul lucrării este de a urmări pe cale experimentală posibilitatea de reglare a turației motorului de curent continuu cu excitație în paralel (independentă) prin slăbire de cîmp, adică, prin micșorarea curentului de excitație ( $i_m$ ) al motorului. Pentru aceasta se vor ridica caracteristicile turației în funcție de curent  $n = f(i)$ , respectiv turației în funcție de cuplu  $n = f(M)$  pentru diferite valori constante ale curentului de excitație ( $i_m$ ). Din aceste caracteristici, pe cale grafică, se determină caracteristicile  $n/n_N = f(\phi / \phi_N)$  pentru diferite valori constante ale curentului  $i$ , respectiv ale cuplului  $M$ .

I. Partea teoretică

Este cunoscut că unele mașini de lucru necesită o reglare a turației în limite largi și în mod continuu. Pentru a satisface această necesitate, de cele mai multe ori, pentru acționarea acestor mașini de lucru, se folosesc motoare de curent continuu cu excitație în paralel (sau independentă).

Una din metodele de reglare a turației, la aceste motoare, este cea prezentată în cadrul lucrării de față. Spre exemplu, în cazul unei acționări prin grup Ward-Leonard, pînă la o anumită valoare a turației - denumită turație de bază - reglarea se face prin modificarea tensiunii de alimentare a motorului de curent continuu, iar peste această valoare a turației reglarea se face prin slăbire de cîmp, tensiunea de alimentare rămînd neschimbată.

Din relația cunoscută a t.e.m. induse în motorul de curent continuu.

$$(1) \quad e = k \phi n$$

rezultă că, la tensiune constantă de alimentare a motorului, turația variază în raport invers cu fluxul deoarece, neglijând căderile de tensiune în motor, t.e.m. este egală cu tensiunea de alimentare a motorului ( $e \approx u = \text{const.}$ ).

Dacă  $\phi_N$  și  $n_N$  sînt valorile nominale ale fluxului și turației, atunci pentru o anumită valoare  $\phi$  a fluxului ( $\phi < \phi_N$ ), din relația

$$(2) \quad k \phi n = k \phi_N n_N$$

va rezulta turația:

$$(3) \quad n = \frac{\phi_N}{\phi} n_N$$

Pe de altă parte, pentru cuplu avem relația cunoscută:

$$(4) \quad M = c \phi i = 0,974 k \phi i$$

de unde se vede că, dacă cuplul dezvoltat de motor trebuie să rămână constant, - condiție impusă de mașina de lucru - atunci pe măsură ce scade fluxul  $\phi$ , trebuie să crească curentul  $i$ . Inșă, curentul este limitat de încălzirea motorului care nu trebuie să depășească pe cea admisibilă. Dacă  $i_N$  este curentul maxim admisibil din punct de vedere al încălzirii la funcționarea continuă, din relația

$$(5) \quad M = c \phi i_N = c \frac{\phi_N n_N}{s_1} i_N = \frac{n_N}{s_2} M_N = \frac{\Omega_N}{s_2} M_N$$

rezultă că, la slăbire de cîmp, cuplul dezvoltat de motor variază invers proporțional cu turația. Puterea dezvoltată de motor

$$(6) \quad P = M \Omega = M_N \Omega_N = P_N$$

rămîne constantă.

În diagrama din fig.1 este arătată variația cuplului și a puterii la un motor de curent continuu în cazul reglării turației prin slăbire de cîmp, valoarea curentului prin indusul motorului fiind constantă.

Între turație și curent, respectiv turație și cuplu, există relațiile

$$(7) \quad n = n_0 \left( 1 - \frac{r_a i}{u} \right)$$

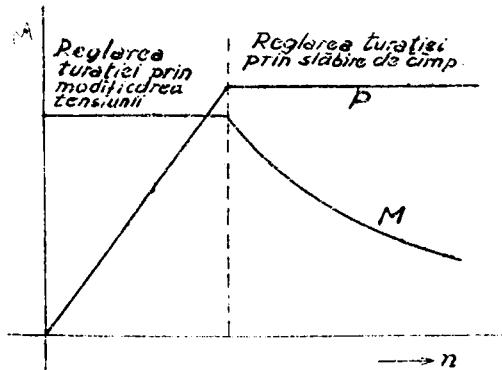


Fig.1

$$(8) \quad n = n_0 \left( 1 - \frac{r_0 I_a}{k \phi \omega} \right)$$

în care  $r$  este rezistența indusului motorului și a înfășurării de comutație, iar

$$(9) \quad n_0 = \frac{u}{k \phi}$$

este turația de mers în gol ideal.

Dacă fluxul  $\phi$  rămâne constant, atunci se notează

$$(10) \quad k \phi = k$$

unde

$$(11) \quad k = \frac{u - r i}{n}$$

Reprezentînd grafic  $n = f(i)$  [sau  $n = f(M)$ ], obținem caracteristicile din fig.2, din care, pe cale grafică, se deduc caracteristicile  $n = f(\phi)$  pentru  $i = \text{const.}$  (sau  $M = \text{const.}$ ).

Observație: Caracteristicile din fig.2 pot fi reprezentate și în valori relative.

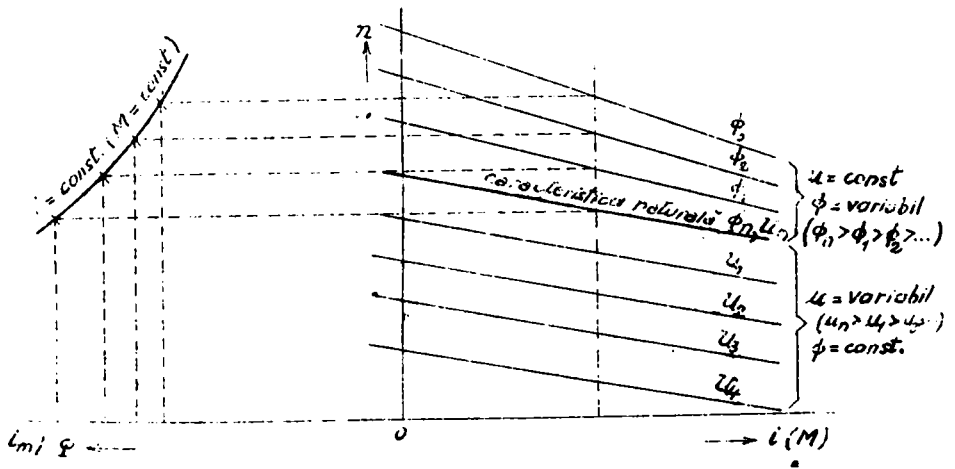


Fig.2

## II. Mersul lucrării

Montajul folosit pentru această lucrare este cel arătat în fig.3.

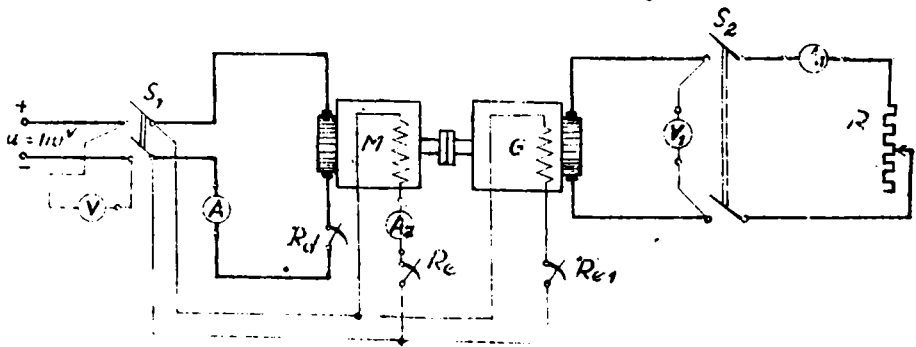


Fig. 3

Un motor de curent continuu  $M$ , alimentat cu tensiunea nominală constantă ( $U = 110 \text{ V}$ ), antrenează un generator de curent continuu  $G$  care constituie sarcina motorului  $M$  (echivalentă cu mașina de lucru). Acest generator debitează peste rezistența de sarcină  $R$ .

Pornirea instalației:

După ce s-a executat montajul se verifică următoarele: reostatele  $R_d$ ,  $R_{e1}$  și  $R$  să fie la maxim, iar reostatul  $R_e$  la minim. Cu ajutorul voltmetrului  $V$  se verifică dacă la bornele de alimentare avem tensiunea nominală corespunzătoare motorului. Se închide întrerupătorul  $S_1$  și după aceea se scoate complet din circuit rezistența de demaraj  $R_d$ . Cu ajutorul reostatului de excitație  $R_{e1}$  se excită generatorul  $G$ , urmărindu-se tensiunea acestuia cu ajutorul voltmetrului de control  $V_1$ . Se închide întrerupătorul  $S_2$  și cu ajutorul rezistenței de sarcină și a rezistenței de excitație se aduce motorul  $M$  în condițiunile de funcționare nominală în care caz ampermetrul  $A$  va indica curentul nominal prin indus ( $i_N$ ), iar ampermetrul  $A_2$  curentul nominal prin excitație ( $i_{mN}$ ), care corespunde turației nominale ( $n_N$ ).

Ampermetrul  $A_1$  ca și voltmetrul  $V_1$  sînt puse în circuit numai pentru control.

Executarea măsurărilor:

Mai întîi se ridică cîteva puncte ale caracteristicii naturale  $n = f(i)$  lăsînd excitația motorului cea stabilită la sarcina nominală și schimbînd valoarea rezistenței de sarcină  $R$ . Se citește curentul prin indus ( $i$ ) la ampermetrul  $A$  și valoarea turației cu ajutorul unui tahometru

Se ridică apoi caracteristicile artificiale  $n = f(i)$  pentru următoarele valori ale curentului de excitație

$$i_{m1} = 0,95 i_{mN}, i_{m2} = 0,90 i_{mN}, i_{m3} = 0,85 i_{mN}$$

Atît la caracteristica naturală cît și la caracteristicile artificiale se va ridica cîte un punct corespunzător mersului în gol real, cînd întrerupătorul  $S_2$  este deschis.

Rezultatele se trec în tabela 1.

Se ridică caracteristicile  $n/n_N = f(i/i_N)$ , respectiv  $n/n_N = f(I/I_N)$  din care, pe cale grafică, se construiesc



Tabela 1

Nr. crt	U volt	I <sub>m</sub>			I <sub>m</sub> / I <sub>N</sub> (φ/ψ <sub>N</sub> )	i			i/ I <sub>N</sub>	n rot/min	η/ η <sub>N</sub>	K = $\frac{U \cdot i}{T}$	M = $\frac{4974 K i}{m \cdot kg}$	M/ M <sub>N</sub>	Obs
		ct	div	A		ct	div	A							

caracteristicile  $n/n_N = f(\phi/\psi_N)$  pentru  $i = \text{const.}$ , respectiv  $M = \text{const.}$  (vezi fig.2).

Observație:

In timpul măsurătorilor nu trebuie să se depășească turația maximă, admisibilă pentru motorul respectiv.

## Lucrarea nr.2

### REGLAREA TURĂȚIEI PRIN REZISTENTE LEGATE ÎN SERIE ȘI ÎN PARALEL CU INDUSUL LA MOTORUL DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE ÎN PARALEL

Scopul lucrării este ridicarea experimentală a caracteristicilor turației în funcție de cuplu  $n = f(M)$  în cazul reglării turației motorului de curent continuu cu excitație în paralel, prin:

- 1) Intercalare de rezistențe în serie cu indusul.
- 2) Legare de rezistențe în paralel cu indusul, conform schemei din fig.3. În acest caz, se determină familiile de caracteristici pentru următoarele situații:

- |    |                         |                          |
|----|-------------------------|--------------------------|
| a. | $R_p = \text{constant}$ | $R_s = \text{variabil}$  |
| b. | $R_p = \text{variabil}$ | $R_s = \text{constant.}$ |

#### I. Partea teoretică

##### 1. Reglarea turației motorului de curent continuu cu excitație în paralel prin intercalare de rezistențe în serie cu indusul.

Practic, metoda aceasta de reglare a turației este simplă de realizat. Ea prezintă însă dezavantaje mari, care fac ca să fie rar întrebuintată. Acestea sînt:

- pierderi mari în rezistențele de reglare,
- caracteristici a căror înclinație crește mult (caracteristici moi) la creșterea valorii rezistenței de reglare (fig.2), ceea ce duce la scăderea stabilității de funcționare.

Ecuția caracteristicilor de reglare  $n = f(M)$  se determină din relațiile de mai jos, scrise pentru circuitul din fig.1:

- (1)  $u = e + i(R + R_s)$
- (2)  $e = K n$
- (3)  $i = K n_0$

și (4)  $M = 0,974 \text{ Ki}$

unde

$n_0$  este turația la mers în gol ( $i = 0$ ).

În calcule se poate neglija în primă aproximație  $i_m$ ,

deci  $i_t \approx i$ .

Din relațiile (1), (2), (3) și (4) în care s-a aproximat  $k\phi_c \approx k\phi = K$ , unde  $k$  este o constantă, iar  $\phi$  fluxul, se obține:

$$(5) \quad n = n_0 \left[ 1 - \frac{1,027 (2 + R_s) M}{K u} \right]$$

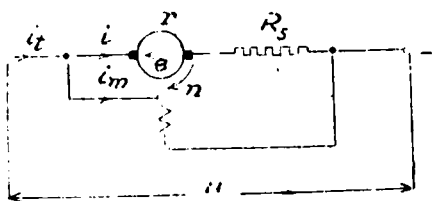


Fig.1

relațiile (1) și (2) cunoscînd turația  $n_1$  corespunzătoare unui anumit curent  $i_1$ , în situația  $R_s = 0$

(7)

$$K = \frac{u - r i_1}{n_1}$$

rezistența circuitului indusului plus a înfășurării de comutație  $r$  fiind cunoscută. Turația  $n_0$  se obține din relația (3)

$$(8) \quad n_0 = \frac{u}{k}$$

Alura caracteristicilor  $n = f(M)$  pentru diferite rezistențe  $R_s$  se vede în fig.2.

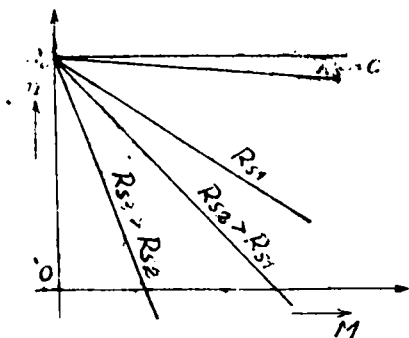


Fig.2

2. Reglarea turației motorului de curent continuu cu excitație în paralel, prin legare de rezistențe în-serie și

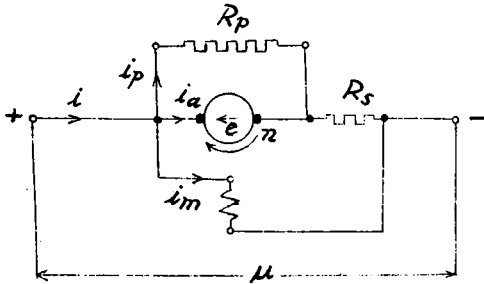


Fig.3

reglare, constituie un dezavantaj. Ea se utilizează totuși în cazurile cînd nu este rentabil un grup Ward-Leonard, mult mai scump.

Expresia analitică a caracteristicilor mecanice se deduce scriind relațiile de mai jos, pentru circuitele arătate schematic în fig.3:

$$(9) \quad u = K \cdot n + r i_a + R_s i$$

$$(10) \quad u = R_p i_p + R_s i$$

$$(11) \quad i = i_a + i_p$$

$i_m$  se neglijează.

Din relațiile (9), (10), (11) și știind că

$$u = K n_0$$

$$(12) \quad M = 0,974 K i_a$$

se obține caracteristica  $n = f(M)$ :

$$(13) \quad n = n_0 \left[ \frac{R_p}{R_p + R_s} - \frac{1,027 M}{K \mu} \left( r + \frac{R_p R_s}{R_p + R_s} \right) \right]$$

unde  $n_0$  este turația la mers în gol în cazul funcționării cu conexiunea din fig.1. Din relația (13) rezultă că pentru funcționarea conform schemei din fig.3, turația la mers în gol este

$$(14) \quad n_0' = n_0 \frac{R_p}{R_p + R_s},$$

deci depinde de valoarea rezistențelor de reglare.

în paralel cu indusul.

Metoda aceasta de reglare, față de prima, prezintă avantajul că se pot obține caracteristici mecanice cu înclinație mai mică (mai dure), deci stabilitatea în funcționare e mai mare. Faptul că metoda nu este economică, din cauza pierderilor în rezistențele folosite la re-

In fig.4 e reprezentată familia de caracteristici  $n = f(M)$  pentru  $R_p = \text{const.}$  și  $R_s = \text{variabil}$ , iar în fig.5 pentru  $R_p = \text{variabil}$  și  $R_s = \text{constant}$ .

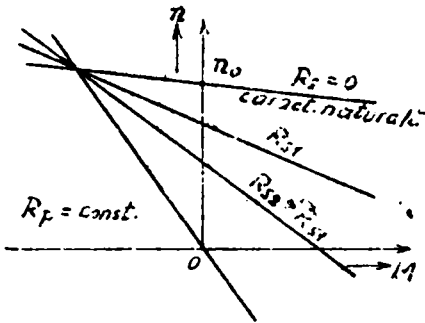


Fig.4

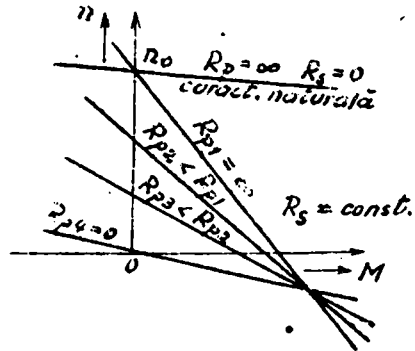


Fig.5

## II. Mersul lucrării

### 1. Reglarea turației prin intercalare de rezistențe în serie cu indusul.

Se realizează montajul din fig.6. Motorul de curent continuu cu excitație în derivație  $M$  la care se ridică experimental caracteristicile de reglare, antrenează generatorul de curent continuu cu excitație în derivație  $G$ , care servește

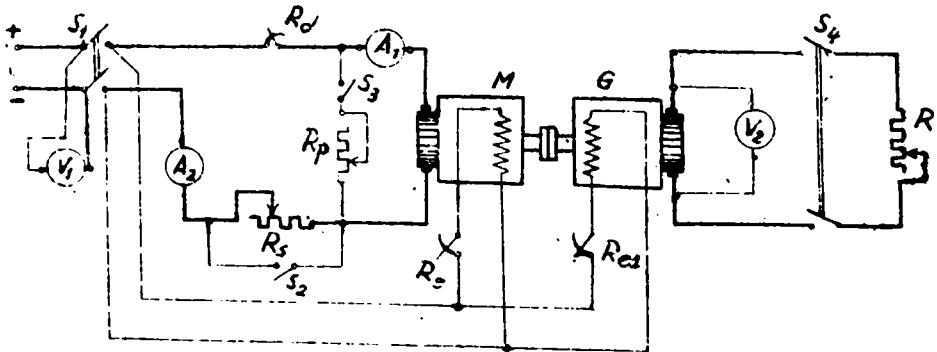


Fig.6

drept mașină acționată și debitează peste rezistența de încărcare R.

$R_d$  e reostatul de pornire,  $R_p$  și  $R_s$  rezistențele de reglare a turației,  $R_e$  și  $R_{e1}$  reostate de câmp.

La pornire se închide întrerupătorul  $S_1$  în timp ce  $S_2$  e închis, iar  $S_3$  și  $S_4$  rămân deschise. La rîndul lor reostatele din schemă sînt conectate la următoarea valoare a rezistenței:  $R_d$ ,  $R_p$ ,  $R_{e1}$  și R la maximum, iar  $R_s$  și  $R_e$  în scurtcircuit.

După pornire se aduce  $R_d$  în scurtcircuit, apoi se efectuează măsurătorile pentru determinarea constantei K și a turației  $n_0$ . Cu ajutorul unui tahometru se măsoară turația n, corespunzătoare curentului i citit la ampermetrul  $A_1$ . Se calculează constanta K și turația  $n_0$  cu ajutorul relațiilor (7) și (8), rezistența rotorului plus a înfășurării de comutație fiind cunoscute. Rezultatele se trec în tabela 1.

Tabela 1

Nr. crt.	n rot/min	i			r	ri	K	$n_0$	Obs.
		ct.	div.	A					

Pentru a ridica caracteristicile  $n = f(M)$ , se deschide  $S_3$ , se închide  $S_4$  și se micșorează  $R_{e1}$  pînă se obține la voltmetrul  $V_2$  tensiunea nominală a generatorului G.

Se ridică experimental curbele  $n = f(i)$  pentru diferite valori ale lui  $R_s$ . Incărcarea se reglează cu R. Cuplul se calculează cu ajutorul relației (4). Valorii  $R_s = 0$  îi corespunde caracteristica naturală.

Rezultatele se trec în tabela 2.

Se trasează caracteristicile  $n = f(M)$  pentru diferite valori ale rezistenței  $R_s$ .

Tabela 2

Nr. crt.	$R_g$ $\Omega$	n rot/min	i			M kgm
			ct.	div.	A	

2. Reglarea turației prin legare de rezistențe în paralel cu indusul.

Se reduce R la maximum și se închide  $S_3$ . Se ridică caracteristicile  $n = f(i_a)$  pentru  $R_p = \text{constant}$  și  $R_s = \text{variabil}$  (tabela 3), apoi caracteristicile  $n = f(i_a)$  pentru  $R_p = \text{variabil}$  și  $R_s = \text{constant}$  (tabela 4).

Cuplul corespunzător unui curent oarecare  $i_a$  și turația la mers în gol pentru o caracteristică oarecare, se calculează cu ajutorul relațiilor (12) și (14).

Rezultatele se trec în tabela 3 și 4.

Tabela 3

Nr. crt.	$R_p$ $\Omega$	$R_s$ $\Omega$	n rot/min	$i_a$			M kgm	$R_p + R_s$	$\frac{n_p}{n}$
				ct.	div.	A			

Se trasează caracteristicile  $n = f(M)$  în baza datelor din tabelele 3 și 4 pentru diferite valori ale rezistenței  $R_p$  respectiv  $R_s$ .

Observație:

În timpul măsurărilor tensiunea de alimentare a grupului se menține riguros constantă.

Tabela 4

Nr. crt.	$R_s$ $\Omega$	$R_p$ $\Omega$	n rot/min	$i_a$			M kgm	$R_p + R_s$	$n'$ rot/min
				ct.	div.	A			



Lucrarea nr.3

REGLAREA TURĂȚIEI PRIN SLĂBIRE DE CÎMP LA  
MOTORUL DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE ÎN SERIE

Scopul lucrării este de a urmări experimental metoda reglării turației motorului de curent continuu cu excitație în serie, prin slăbire de cîmp. Pentru aceasta se vor ridica curbele de variație a turației în funcție de curentul rotoric  $n = f(i)$ , respectiv de cuplu  $n = f(M)$  la funcționarea în regim de cîmp slăbit. Slăbirea cîmpului se realizează prin șuntarea înfășurării de excitație, printr-o rezistență.

I. Partea teoretică

Metoda de reglare studiată în cadrul lucrării, se utilizează pentru a obține turații mai mari decît cele corespunzătoare caracteristicii naturale.

De exemplu, se folosește uneori șuntarea înfășurării de excitație a motorului de curent continuu cu excitație în serie, dacă într-un interval oarecare de funcționare a mecanismului de lucru, devine necesară o creștere rapidă a turației în vederea parcurgerii într-un timp mai scurt a drumului respectiv (cazul foarfecilor cu mecanism bielă manivelă). Această metodă de reglare e economică, deoarece pierderile în rezistența de șuntare sînt mici (rezistența de șuntare e mică).

1. Pentru a vedea influența slăbirii cîmpului față de funcționarea motorului cu excitație în serie în regimul normal de lucru, precum și pentru determinarea caracteristicilor în regim de cîmp slăbit, e necesară cunoașterea caracteristicilor naturale și a caracteristicilor limită.

Utilizînd notațiile din fig.1 și știind că  $n_2$  este turația limită (în ipoteza  $r = 0$ ) se poate scrie:

$$(1) \quad u = k \phi n + r i$$

- (2)  $e = k \phi n$   
 (3)  $u = k \phi n_1$   
 (4)  $r = r_a + r_m$

Din relațiile de mai sus rezultă ecuația caracteristicii naturale

$$(5) \quad n = n_1 \left( 1 - \frac{r i}{u} \right)$$

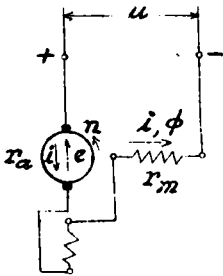


Fig.1

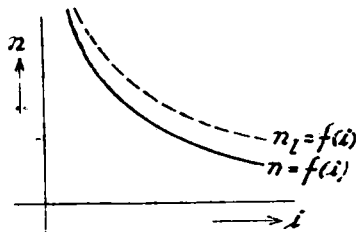


Fig.2

Cunoscînd caracteristica naturală  $n = f(i)$  (fig.2), fie din datele experimentale, fie din caracteristicile universale, date pentru un anumit tip de motoare, se poate calcula caracteristica limită  $n_1 = f(i)$ :

$$(6) \quad n_1 = \frac{n}{1 - \frac{r i}{u}}$$

Cuplul electromagnetic rezultă din:

$$(7) \quad M = 0,974 k \phi i$$

Ținînd seama de relația (3) se obține expresia

$$(8) \quad M = \frac{0,974 u i}{n_1}$$

Alura caracteristicii  $n = f(M)$  este asemănătoare cu a caracteristicii  $n = f(i)$ .

2. Reglarea turației prin șuntarea excitației.

Slăbirea cîmpului, ținînd seama de notațiile din fig 3, se caracterizează prin raportul

$$(9) \quad \alpha = \frac{i_m}{i} = \frac{r_s}{r_m + r_s}$$

Pentru circuitul din fig.3

se poate scrie:

$$(10) \quad u = k \phi' n' + i r_a + i_m r_m$$

$$(11) \quad u = k \phi' n'_2$$

$$(12) \quad i = i_m + i_s$$

$$(13) \quad i_m r_m = i_s r_s$$

Din relațiile (9), (10), (11), (12), (13) se obține ecuația caracteristicii  $n = f(i)$  în regim de câmp slăbit

$$(14) \quad n' = n'_2 \left[ 1 - \frac{1}{\alpha} (r_a + \alpha r_m) \right]$$

unde  $n'_2$  este turația limită corespunzătoare curentului  $i_m$ , obținută din caracteristica limită  $n_2 = f(i)$  (fig.2).

Se observă din relația (14) că la același curent rotoric  $i$ , turația  $n'$  în regim de câmp slăbit crește cu scăderea fluxului, deci a raportului  $\alpha$ . Alura caracteristicilor  $n' = f(i)$  se vede în fig.4.

Cuplul electromagnetic rezultă din relația

$$(15) \quad M = 0,974 \frac{u i}{n'_2}$$

Alura caracteristicilor  $n = f(M)$  este asemănătoare cu a caracteristicilor  $n = f(i)$ .

## II. Mersul lucrării

Se execută montajul din fig.5. Motorul de curent continuu cu excitație în serie M, asupra căruia se efectuează măsurătorile, antrenează generatorul de curent continuu cu excitație în serie G, care substituie mașina de lucru.

La pornire, situația e următoarea:

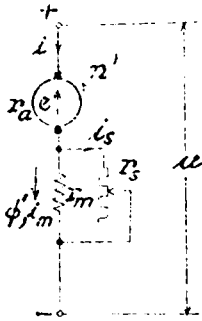


Fig.3

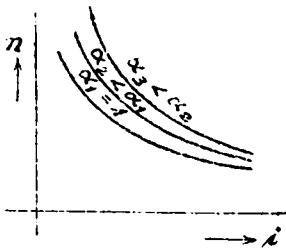


Fig.4

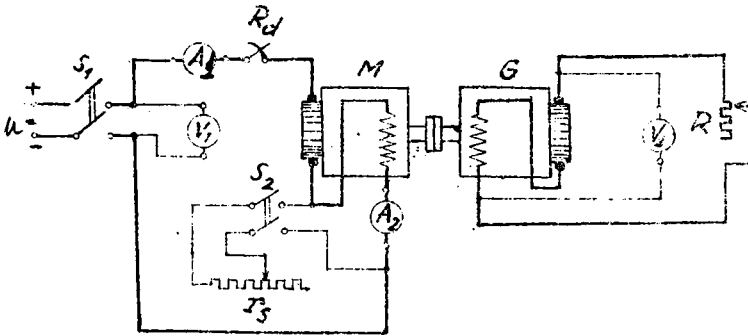


Fig 5

Înterupătorul  $S_1$  e închis și  $S_2$  deschis. Rezistența de pornire  $R_d$  și de șuntare  $r_s$  (se alege  $r_s \max = 15 \sim 30 r_m$ ) sînt la maximum, iar rezistența de încărcare  $R$  e introdusă la o valoare cuprinsă între  $\frac{u_{Ng}}{2 I_{Ng}}$  și  $\frac{u_{Ng}}{I_{Ng}}$  unde  $u_{Ng}$  și  $i_{Ng}$  sînt valorile nominale ale tensiunii și curentului la generator.

Deoarece nu e permis ca motorul  $M$  să funcționeze în gol (pericol de ambalare), trebuie ca, în timp ce turația grupului crește, să se observe o creștere a tensiunii la voltmetrul  $V_2$ . Aceasta are loc dacă intensitatea curentului produs în rotorul generatorului întărește magnetismul remanent al polilor. În caz contrar, se oprește grupul și se inversează bornele înfășurării de excitație.

Dacă nici în această situație generatorul nu debitează, înseamnă că magnetismul remanent al polilor e prea slab, deci trebuie ca polii să fie remagnetizați.

1. Ridicarea experimentală a caracteristicii naturale și a caracteristicii limită.

După pornire ( $R_d = 0$ ), lăsînd  $S_2$  deschis, se ridică caracteristica  $n = f(i)$  a motorului măsurînd turația cu un tahometru și curentul cu ampermetrul  $A_2$ .

Turația limită și cuplul corespunzător unui curent  $i$ , se calculează cu ajutorul relațiilor (6) și (8).

Rezultatele se trec în tabela 1.

Tabela 1

Nr. crt.	n rot/min	i			$\frac{ir}{u}$	$1 - \frac{ir}{u}$	$n_1$ rot/min	M mkg
		ct.	div.	A				

Se trasează curbele

$$n = f(i); \quad n_1 = f(i); \quad \text{și} \quad n = f(M)$$

2. Ridicarea experimentală a caracteristicilor motorului în regim de câmp slăbit.

Se închide  $S_2$ . Turația grupului se aduce la valoarea dorită micșorând rezistența  $r_s$ . La o anumită valoare a lui  $r_s$  corespunde un anumit raport  $\alpha = \frac{i_m}{I}$ , care se determină citind curenții la ampermetrele  $A_1$  și  $A_2$ .

Se menține  $\alpha$  constant și se ridică caracteristica  $n = f(i)$ , reglînd sarcina motorului prin rezistența R.

Cuplul, corespunzător unui curent oarecare i, se calculează cu ajutorul relației (15) în care turația limită  $n_1'$  se obține din curba  $n_1 = f(i)$  pentru curentul  $i_m = \alpha i$ .

Se vor ridica și trasa curbele  $n' = f(i)$  și  $n' = f(M)$  pentru câteva valori ale raportului  $\alpha$ .

Rezultatele măsurătorilor se trec în tabela 2, în care s-a notat cu  $i_{mc}$  curentul citit la ampermetrul  $A_2$  și

$$\alpha_c = \frac{i_{mc}}{I}$$

Pentru o caracteristică avem o valoare medie

$$\alpha_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha c_i}{n}$$

unde n e numărul măsurătorilor.

Tabela 2

Nr. crt.	n' rot/min	i			i <sub>mc</sub>			α		i <sub>m</sub> =		n' rot/min	n' rot/min
		ct	div.	A	ct.	div.	A	α <sub>c</sub>	α <sub>med</sub>	α <sub>med</sub>	α <sub>med</sub>		

Lucrarea nr. 4

REGLAREA TURĂȚIEI MOTORULUI DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE ÎN SERIE PRIN REZISTENȚE LEGATE ÎN SERIE CU INDUSUL

Scopul lucrării este de a urmări experimental reglarea turației motorului de curent continuu cu excitație în serie prin rezistențe intercalate în circuitul mașinii.

Pentru aceasta se vor ridica curbele de variație a turației în funcție de curent  $n = f(i)$ , respectiv de cuplu  $n = f(M)$ , la diferite valori ale rezistenței legate în serie cu înfășurarea motorului.

I. Partea teoretică

Reglarea turației motorului cu excitație în serie prin rezistențe intercalate în circuitul indusului, se utilizează în instalațiile de tracțiune electrică, de aparate de ridicat, etc. Dezavantajul metodei constă în faptul că pierderile în rezistențele de reglare sînt mari; trebuie să se aibă însă în vedere simplitatea realizării practice a acestui sistem de reglare.

Pentru a determina curbele de reglare e necesară cunoașterea caracteristicii limită  $n_l = f(i)$ . Aceasta se obține din ecuația caracteristicii naturale care, ținînd seama de notațiile din figura 1, este

$$(1) \quad n = n_l \left( 1 - \frac{x i}{\mathcal{U}} \right)$$

Curba  $n = f(i)$  se determină experimental, sau poate fi dată în valori relative pentru un anumit tip de motoare.

Pentru o valoare oarecare a rezistenței de reglare  $R$  (fig.1), relația (1) devine

$$(2) \quad n = n_l \left[ 1 - \frac{(x+R) i}{\mathcal{U}} \right]$$

În fig.2 se vede alura caracteristicilor artificiale

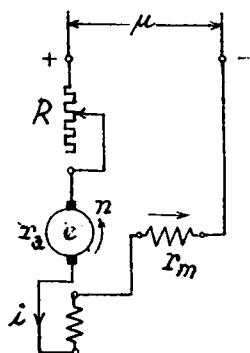


Fig.1

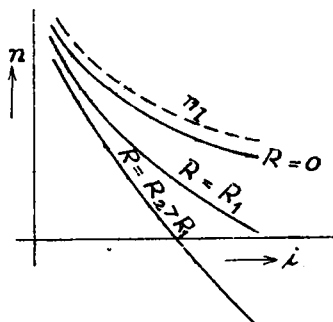


Fig.2

$n = f(i)$  pentru diferite valori ale rezistenței  $R$ .

La un anumit curent, cunoscînd turația limită din curba  $n_1 = f(i)$ , se poate determina cuplul electromagnetic

$$(3) \quad M = \frac{0,974 \mu i}{n_1}$$

Caracteristicile  $n = f(M)$  pentru diferite valori ale rezistenței  $R$ , au aceeași alură ca și  $n = f(i)$ .

## II. Mersul lucrării

Schema de montaj, care trebuie realizată, este arătată în figura 3.

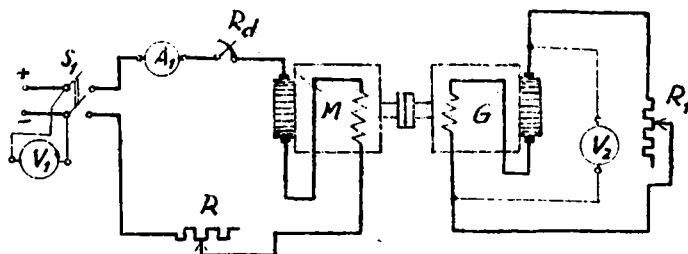


Fig.3

Motorul  $M$ , asupra căruia se efectuează măsurătorile, antrenează generatorul  $G$  care ține loc de mașină de lucru.



La pornire, se închide întrerupătorul  $S_1$ , rezistența de reglare  $R$  fiind la zero, reostatul de pornire  $R_d$  la maximum, iar rezistența de încărcare  $R_f$  a generatorului  $G$  e introdusă în parte în circuit (pentru aprox. 1/2 sarcina nominală a generatorului).

Deoarece nu e permis ca motorul de curent continuu cu excitație în serie să funcționeze în gol, trebuie ca generatorul de curent continuu să debiteze peste rezistența  $R_1$ .

În acest sens trebuie urmate prescripțiunile recomandate la lucrarea "Reglarea turației prin slăbire de cîmp la motorul serie" pct II .1 (pornirea).

2. Ridicarea caracteristicii naturale și a caracteristicii limită.

Se determină caracteristica naturală  $n = f(i)$  (pentru  $R = 0$ ) măsurînd turația cu un tahometru și curentul la ampermetrul  $A_1$ .

Turația limită, respectiv cuplul se calculează cu ajutorul relațiilor (1) și (3).

Rezistența  $r$  a înfășurărilor mașinii se cunoaște.

Rezultatele se trec în tabela 1.

Tabela 1

Nr. crt.	n rot/min	i			$\frac{ir}{u}$	$1 - \frac{ir}{u}$	$n_7$ rot/min	M mkg
		ct.	div.	A				

Se trasează caracteristicile

$$n = f(i)$$

$$n_7 = f(i)$$

$$n = f(M)$$

3. Ridicarea caracteristicilor artificiale.

Pentru diferite valori ale rezistenței  $R$ , se ridică

curbele  $n = f(i)$ . Incărcarea se reglează cu  $R_1$ .

Cu ajutorul relației (3) se calculează cuplul, deci se pot trasa caracteristicile  $n = f(M)$  pentru aceleași valori ale rezistenței  $R$ .

Rezultatele se sistematizează în tabela 2.

Tabela 2

Nr. crt.	n rot/min	i			R $\Omega$	n, rot/min	M mkg
		ct.	div.	A			

Observație:

În cursul măsurărilor tensiunea de borne trebuie să fie riguros constantă.

Lucrarea nr. 3

REGLAREA TURĂȚIEI MOTORULUI DE CURENT CONTINUU CONSTRUIT PENTRU EXCITAȚIE ÎN SERIE PRIN REZISTENȚE, ÎNFĂȘURAREA DE EXCITAȚIE SE LEAGĂ ÎN PARALEL CU INDUSUL

Scopul lucrării este de a urmări experimental reglarea turației motorului de curent continuu cu excitație în serie prin rezistențe, în cazul legării excitației în paralel cu indusul. Pentru aceasta se vor determina curbele de variație a turației în funcție de cuplu  $n = f(M)$  la diferite valori ale rezistențelor legate în serie cu indusul respectiv cu înfășurarea de excitație.

I. Partea teoretică

Reglarea turației în cazul legării excitației în paralel cu indusul la motorul de curent continuu cu excitație în serie, este mult aplicată la aparate de ridicat, deoarece se pot obține caracteristici artificiale de formă potrivită pentru ridicarea sau coborârea greutateților mici. De remarcat este faptul că prin această metodă se poate asigura obținerea unei turații de mers în gol ideal (când curentul prin indus este zero), precum și funcționarea mașinii în regim de generator. Schema principală de conexiuni pentru legarea excitației motorului serie în paralel cu indusul este arătată în fig.1. Utilizând notațiile arătate în figură și știind că  $n_1$  este turația limită la funcționarea cu legătură normală, se pot scrie următoarele relații:

$$(1) \quad u = e + (r_a + R_{as}) i_a + R_s i$$

$$(2) \quad \mathcal{V} = (r_m + R_{ms}) i_m + R_s i$$

$$(3) \quad e = k \phi n$$

$$(4) \quad u = k \phi n_1$$

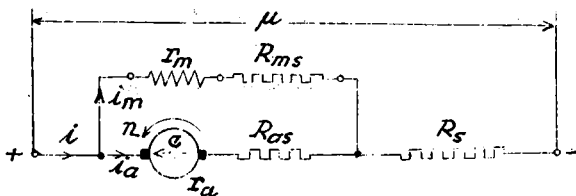


Fig. 1

$$(5) \quad i = i_m + i_a$$

Eliminînd pe  $i$ ,  $i_m$ ,  $k\phi$  și  $e$  se obține ecuația caracteristicii artificiale:

$$(6) \quad n = n_1 \left\{ \frac{R_{ms} + r_m}{R_{ms} + r_m + R_s} - \frac{i_a}{\mu} \left[ R_{as} + r_a + \frac{R_s (R_{ms} + r_m)}{R_s + R_{ms} + r_m} \right] \right\}$$

Turația limită depinde de curentul  $i_m$  care trece prin înfășurarea de excitație.

Din relațiile (2) și (5) se obține expresia  $i_m = f(i_a)$  arătată mai jos:

$$(7) \quad i_m = \frac{\mu}{R_{ms} + R_s + r_m} - \frac{R_s}{R_{ms} + R_s + r_m} i_a$$

care reprezintă o dreaptă.

Cuplul se poate calcula în funcție de curentul rotoric  $i_a$  și turația limită știind că

$$M = 0,974 k \phi i_a \quad \text{sau}$$

$$(8) \quad M = 0,974 \cdot \frac{\mu i_a}{n_1}$$

Caracteristica limită  $n_1 = f(\mu)$  se obține din relația

$$(9) \quad n_1 = \frac{n}{1 - \frac{r i_a}{\mu}}$$

unde  $r = r_a + r_m$ , și  $n = f(i)$  este caracteristica naturală ridicată cu conexiune normală (fig.2) când

$$i_m = i_a = i.$$

Alura caracteristicilor  $n = f(M)$  obținute la regula-

rea turației prin metoda arătată mai sus, se poate urmări în figurile 2, 4 și 5, unde oțte una din rezistențele de reglare este variabilă, în timp ce celelalte două se mențin constante.

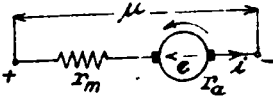


Fig.2

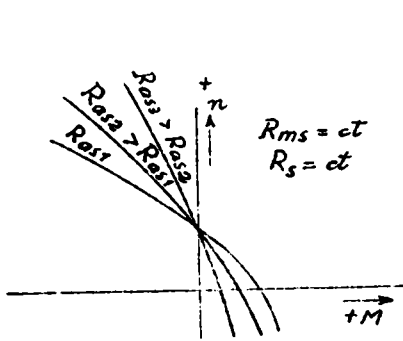


Fig.3

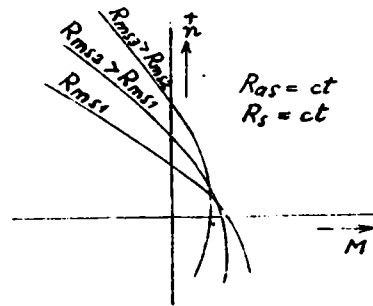


Fig.4

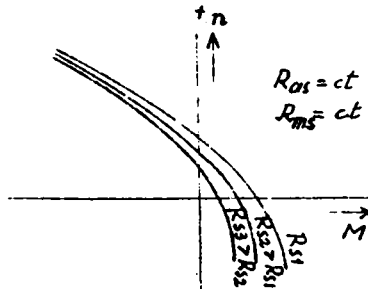


Fig.5

## II. Mersul lucrării

1. Se realizează montajul din fig.6

Motorul de c.c. serie M a cărui caracteristici  $n = f(M)$  urmează să se ridice, antrenează generatorul G de c.c. serie, care substituie mașina de lucru. Acesta debitează pes-

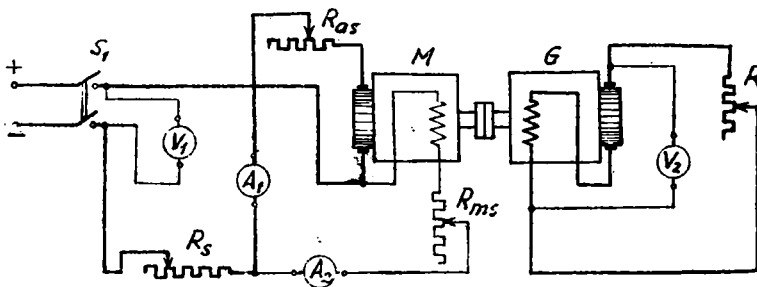


Fig.6

te rezistența de încărcare  $R$ . La pornire se închide întrerupătorul  $S_1$ , iar rezistențele  $R_{as}$ ,  $R_{ms}$  și  $R$  sînt la maximum. Rezistența  $R_{as}$  trebuie să fie astfel aleasă încît să poată fi utilizată ca rezistență de pornire și atunci cînd  $R_s = 0$ , iar  $R_{ms}$  să fie așa mare încît curentul prin circuitul de excitație să poată fi variat fără a trece de valoarea nominală cînd  $R_s = 0$ .

Pentru ca generatorul  $G$  să debiteze trebuie ca curentul de excitație să întărească magnetismul remanent al poliilor, ceea ce se evidențiază prin creșterea tensiunii înregistrate de voltmetrul  $V_2$ . In caz contrar se oprește grupul și se inversează bornele înfășurării de excitație a mașinii  $G$ .

După pornire rezistențele se aduc la valoarea necesară măsurătorilor.

În cursul măsurătorilor se va urmări cu atenție la amperetrele  $A_1$  și  $A_2$  ca curenții să nu depășească valoarea nominală (în regim staționar de funcționare).

La voltmetrul  $V_1$  se urmărește ca tensiunea la borne să fie menținută riguros constantă și egală cu valoarea nominală.

2. Ridicarea caracteristicilor artificiale de reglare  $n = f(M)$ .

La o anumită valoare a rezistențelor  $R_{as}$ ,  $R_{ms}$  și  $R_s$  corespunde o caracteristică  $n = f(M)$ . Aceasta se determină astfel:

Se ridică curba  $n = f(i_a)$  măsurînd turația cu un tahometru, iar curentul cu ampermetrul  $A_1$ . Totodată se notează și curentul  $i_m$  arătat de ampermetrul  $A_2$ . În cursul măsurătorilor tensiunea la borne se menține constantă ( $u = u_N$ ). Se calculează cuplul cu ajutorul relației 8, în care se înlocuiește turația limită, obținută din caracteristica limită în funcție de curentul  $i_m$ . Caracteristicile limită și naturale au fost determinate la lucrarea 4 ("Reglarea turației motorului de c.c. cu excitație în serie prin rezistențe legate în serie cu indusul"). Astfel că se poate trasa curba  $n=f(M)$ .

În acest mod se vor ridica experimental familiile de caracteristici arătate mai jos, măsurătorile și calculele sistematizîndu-se în tabelele de mai jos.

a) Familia de caracteristici  $n = f(M)$  pentru  $R_s = \text{const}$ ,  $R_{ms} = \text{const}$ ,  $R_{as} = \text{variabil}$ .

Tabela 1

Nr. crt.	n rot/min	$i_a$			$i_m$			$R_{os}$ $\Omega$	$n_1$ rot/min	M mkg
		ct.	div.	A	ct.	div.	A			

b) Familia de caracteristici  $n = f(M)$  pentru  $R_s = \text{const.}$ ,  $R_{as} = \text{const.}$ ,  $R_{ms} = \text{variabil}$ .

Tabela 2

Nr. crt.	n rot/min	$i_a$			$i_m$			$R_{ms}$ $\Omega$	$n_1$ rot/min	M Kgm
		ct.	div.	A	ct.	div.	A			

c) Familia de caracteristici  $n = f(M)$  pentru  
 $R_{as} = \text{const.}$ ,  $R_{ms} = \text{const.}$ ,  $R_s = \text{variabil.}$

Tabela 3

Nr. crt.	n rot/min	$I_a$			$I_m$			$R_s$ Ω	$n_1$ rot/min	M kgm
		ct.	div.	h	ct.	div.	A			

Observație

Se recomandă ca pentru fiecare din subpunctele a, b și c să se ridice cîte trei caracteristici. Valoarea rezistențelor pentru care se determină caracteristicile, exprimată prin căderea relativă de tensiune  $\xi = \frac{R I_N}{U_N}$  se alege:

- pentru rezistențele care se mențin constante  $\xi = 0,5$
- pentru rezistențele variabile  $\xi = 0,5; 1; 2$ .

Rezultă că  $R_{as \text{ max}} = R_{ms \text{ max}} = R_s \text{ max} = \frac{U_N}{I_N}$



Lucrarea nr.6

REGLAREA TURĂȚIEI MOTORULUI ASINCRON PRIN  
SCHIMBAREA TENSIUNII DE ALIMENTARE

Scopul lucrării este de a urmări pe cale experimentală variația turației motorului asincron atunci când tensiunea de alimentare a motorului se schimbă, motorul dezvoltând un cuplu constant. Frecvența este menținută constantă, egală cu frecvența nominală. Se ridică caracteristicile  $n/n_N = f(u/u_N)$  pentru diferite valori constante ale cuplului.

I. Partea teoretică

Reglarea turației motorului asincron prin variația tensiunii de alimentare, fără modificarea frecvenței, se utilizează într-un număr restrâns de cazuri, deoarece prin această metodă, turația nu poate fi reglată în limite mari. Variația tensiunii de alimentare intervine însă frecvent în practică, accidental sau voit, fie datorită fluctuațiilor de tensiune din rețeaua de alimentare, fie datorită utilizării motorului la altă tensiune decât cea nominală, sau datorită comutării înfășurării statorice din stea în triunghi (sau invers).

Din expresia cuplului

$$(1) \quad M = \frac{P_i}{\Omega_1} = \frac{m_1 U_1^2 \frac{R_2'}{s}}{\Omega_1 \left[ R_1 + \frac{R_2'}{s} \right]^2 + X_b^2}$$

se vede că pentru aceeași valoare a alunecării cuplul este proporțional cu patratul tensiunii de alimentare.

În relația (1) s-a notat cu:

- $\Gamma_1$  = puterea interioară,
- $\Omega_1$  = ieșeala unghiulară a cîmpului învîrtitor,
- $\epsilon_1$  = numărul de faze din stator,
- $U_1$  = tensiunea de borne pe fază în stator,
- $R_2'$  = rezistența unei faze a înfășurării rotorului redusă la stator,

$R_1$  = rezistența unei faze a înfășurării statorului,  
 $X_2$  = reactanța totală de dispersie a unei faze,  
 $s$  = alunecarea.

Caracteristicile mecanice pentru diferite valori ale tensiunii de alimentare a motorului asincron sînt arătate în fig.1. Din această figură se vede că dacă  $M = \text{const}$ , micșorarea

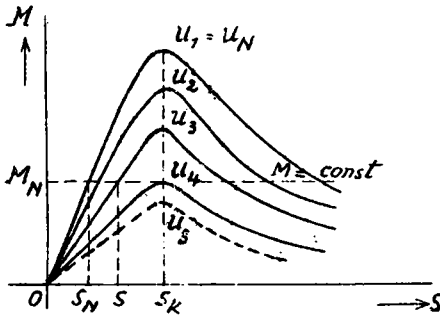


Fig.1

treptată a tensiunii are drept urmare că alunecarea motorului crește pînă la o valoare egală cu valoarea alunecării de răsturnare  $s_K$ , cînd cuplul constant dezvoltat de motor devine egal cu cuplul de răsturnare. Micșorarea mai departe a tensiunii va avea ca

rezultat oprirea motorului.

Limita între care poate să varieze alunecarea, și prin urmare turația motorului asincron, depinde de valorile alunecării nominale  $s_N$  și a supraîncărcabilității  $\lambda$  ale motorului.

Dacă  $\lambda$  este supraîncărcabilitatea motorului asincron la tensiunea nominală, atunci legătura dintre alunecarea nominală  $s_N$  și alunecarea de răsturnare  $s_K$  este dată de relația

$$(2) \quad s_N \cong \frac{s_K}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}}$$

Ținînd cont de relația (1), la o tensiune mai redusă  $U$ , supraîncărcabilitatea va fi  $\lambda u^2$ , unde

$$(3) \quad u^2 = \left( \frac{U}{U_N} \right)^2$$

Așa că la un cuplu constant, egal cu cuplul nominal, alunecarea la o tensiune mai redusă va fi

$$(4) \quad s \cong \frac{s_K}{\lambda u^2 + \sqrt{(\lambda u^2)^2 - 1}}$$

Deci

$$(5) \quad \frac{s}{s_N} = \frac{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}}{\lambda \mu^2 + \sqrt{(\lambda \mu^2)^2 - 1}}$$

Turația cea mai mică rezultă pentru cel mai mare raport  $s/s_N$ , adică pentru  $(\lambda \mu^2)^2 - 1 = 0$ , de unde deducem

$$(6) \quad \mu = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

care reprezintă valoarea minimă a raportului dintre tensiunea variabilă aplicată motorului și tensiunea nominală.

Turația minimă va fi

$$n_{min} = (1 - s_k) n_1$$

unde  $n_1$  este turația sincronă.

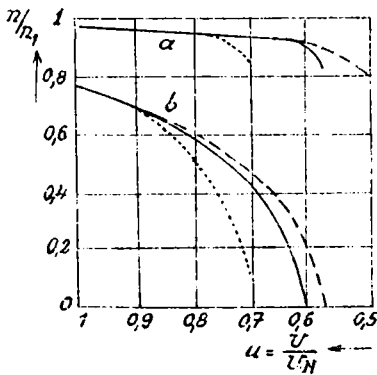


Fig 2

În fig.2 este arătată variația turației în funcție de tensiune pentru diferite valori ale alunecării nominale, adică diferite valori constante ale cuplului dezvoltat de motor, și diferite valori ale supraîncărcabilității.

- $\lambda = 4$
- $\lambda = 3$
- .....  $\lambda = 2$

a.  $s_N = 0,02$

b.  $s_N = 0,25$

Din fig.2 se vede că cu cât alunecarea nominală, și cu aceasta alunecarea  $s_k$ , este mai mare, cu atât intervalul de reglare este mai larg.

## II. Mersul lucrării

Se vor ridica caracteristicile  $n/n_1 = f(u)$  pentru un motor asincron, a cărui date nominale sînt cunoscute, pentru diferite valori ale cuplului dezvoltat de motor (adică pentru

diferite valori ale alunecării la tensiunea nominală de alimentare).

Montajul folosit în acest scop este cel arătat în fig.3.

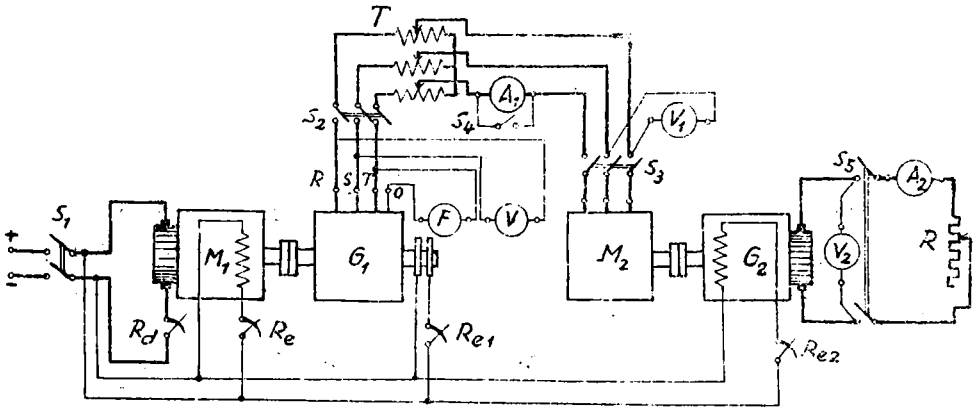


Fig. 3

De la grupul compus din motorul de c.c.  $M_1$  și generatorul de c.a. trifazat  $G_1$  se obține sistemul trifazat de tensiuni R, S, T. Motorul asincron  $M_2$ , cuplat cu generatorul de c.c.  $G_2$ , este alimentat de la generatorul  $G_1$  prin autotransformatorul trifazat T. Generatorul de c.c.  $G_2$ , care debitează peste rezistența de sarcină R, constituie sarcina motorului asincron, echivalând cu mașina de lucru.

Pornirea instalației:

După executarea montajului se verifică dacă întrerupătoarele  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  și  $S_5$  sînt deschise, iar  $S_4$  închis. În momentul pornirii rezistențele  $R_d$ ,  $R_{e1}$  și  $R_{e2}$  trebuie să aibă valoarea maximă, iar rezistența  $R_e$  valoare minimă.

Se închide întrerupătorul  $S_1$  apoi se scoate complet din circuit rezistența de pornire  $R_d$ . După aceea, cu ajutorul rezistenței de cîmp  $R_e$  se aduce grupul  $M_1$ - $G_1$  la turația corespunzătoare frecvenței de 50 Hz, care se citește la frecvenț metrul F

Se închide întrerupătorul  $S_2$  și cu ajutorul rezistenței de cîmp  $R_{c1}$  se excită generatorul trifazat  $G_1$  pînă cînd la voltmetrul  $V_1$  se citește tensiunea nominală de alimentare a motorului asincron. Se închide apoi întrerupătorul  $S_3$ . După ce motorul asincron a pornit și a ajuns la turația nominală, se deschide întrerupătorul  $S_4$ , care a șuntat ampermetrul  $A_1$  în timpul pornirii motorului asincron. Cu ajutorul rezistenței  $R_{22}$  se excită generatorul de c.c.  $G_2$ . Incărcarea motorului asincron, citită la ampermetrul  $A_2$ , se face închizîndu-se întrerupătorul  $S_5$  și variînd rezistența de sarcină  $R$ .

Executarea măsurărilor se face astfel:

Cu ajutorul rezistenței de excitație  $R_{e1}$  se variază tensiunea de alimentare a motorului asincron, citită la voltmetrul  $V_1$ , frecvența păstrîndu-se constantă.

Măsurarea turației în funcție de tensiune se execută la cuplu constant, dezvoltat de motorul asincron. Pentru ca cuplul să rămînă constant atunci cînd turația variază, trebuie ca curentul  $i_2$  să fie menținut constant, lucru care se realizează cu ajutorul rezistenței de sarcină  $R$ , excitația generatorului  $G_2$  păstrîndu-se neschimbată. Valoarea constantă a cuplului dezvoltat de motorul asincron se calculează din puterea  $P_2 = u_2 i_2$  dată de generatorul  $G_2$ , situația  $n$  a grupului  $M_2-G_2$ , luînd în considerare randamentul  $\eta$  care se obține din curbele de randament cunoscute, ale mașinii  $G_2$ .

Se citesc: tensiunea  $U_1$  de alimentare a motorului cerostat la voltmetrul  $V_1$ , tensiunea  $u_2$  la voltmetrul  $V_2$ , curentul  $i_2$  la ampermetrul  $A_2$  și turația  $n$  a motorului asincron cu ajutorul unui tahometru pentru diferite valori constante ale curentului  $i_2$  (adică ale cuplului dezvoltat de motorul asincron), rezultatele trecîndu-se în tabela 1.

Voltmetrul  $V$  și ampermetrul  $A_1$  sînt puse în circuit numai pentru control.

Tabela 1

Nr. ort.	U <sub>1</sub>		$\frac{U}{U_N}$	$\frac{n}{rot/min}$	$\frac{n}{n_1}$	u <sub>2</sub>		i <sub>2</sub>		P <sub>2</sub> = u <sub>2</sub> i <sub>2</sub> 10 <sup>-3</sup> kW	M = 974 $\frac{P_2}{n}$ mkg
	ct.	div.				V	ct.	div.	V		

Lucrarea nr.7

REGLAREA TURATIEI MOTORULUI ASINCROU PRIN  
MODIFICAREA FRECVENTEI

Scopul lucrării este de a verifica pe cale experimentală posibilitatea de reglare a turației motorului asincron prin modificarea frecvenței. Se vor urmări condițiunile optime de reglare, pentru cazurile când motorul asincron dezvoltă un cuplu constant sau o putere constantă. Se vor ridica caracteristicile:

- (a)  $n = f(f)$  pentru  $M = \text{const.}$
- (b)  $n = f(f)$  pentru  $P = \text{const.}$

I. Partea teoretică

Prin modificarea frecvenței este posibil a obține o reglare lină a turației motorului asincron și totodată o reglare aproape fără pierderi. De obicei, această metodă se utilizează pentru reglarea simultană a turației mai multor motoare asincrone care deserveșc aceeași mașină de lucru, cum ar fi, spre exemplu, motoarele asincrone de acționare a roților unei căi de rulare de la un laminor. De asemenea metoda este aplicată în industria de prelucrare a lemnului, etc.

Inconvenientul metodei constă în greutatea obținerii unei frecvențe variabile, pentru care sînt necesare instalații speciale.

Există următoarele cazuri practice de reglare a turației motoarelor asincrone prin modificarea frecvenței:

- a. la cuplu constant ( $M = \text{const.}$ )
- b. la putere constantă ( $P = \text{const.}$ )

Studiul acestei probleme a arătat că pentru ca motorul să funcționeze la diferite frecvențe cu valori practic constante pentru randament, factor de putere, supraîncărcabilitate și alunecare, trebuie ca între tensiunea de alimen-

tare a motorului, frecvență și cuplu să existe următoarea relație:

$$(1) \quad \frac{U_1'}{U_1} = \frac{f'}{f} \sqrt{\frac{M'}{M}}$$

unde  $U_1'$  și  $M'$  reprezintă tensiunea și cuplul corespunzătoare frecvenței  $f'$ , iar  $U_1$  și  $M$  - frecvenței  $f$ .

Această relație valabilă pentru cazul când circuitul magnetic este nesaturat, se deduce din expresia cuplului motorului asincron.

a. Dacă motorul asincron dezvoltă cuplu constant ( $M = M' = \text{const.}$ ) la diferite turații, atunci, pentru îndeplinirea condițiilor puse mai sus, tensiunea trebuie să varieze direct proporțional cu frecvența, adică

$$(2) \quad \frac{U_1'}{U_1} = \frac{f'}{f}$$

Din expresia t.e.m. statorice  $E_1$  care, dacă se neglijează căderile de tensiune din înfășurare, este egală cu tensiunea la borne

$$(3) \quad E_1 = 4,44 k_1 W_1 f \phi \approx U_1$$

rezultă ținând seama de relația (2) că fluxul principal va fi:

$$(4) \quad \phi = C_1 \cdot \frac{U_1'}{f} = \text{const.}$$

ceea ce înseamnă că în cazul reglării turației prin modificarea simultană a frecvenței și tensiunii la cuplu constant, fluxul este constant. Aceasta duce la funcționarea motorului în condițiile favorabile arătate mai sus.

Caracteristicile mecanice artificiale ale motorului asincron obținute prin schimbarea simultană a frecvenței și tensiunii conform relației (2) sînt arătate în fig.1. În aceeași figură este reprezentată caracteristica  $n = f(f)$  pentru  $M = \text{const.}$ , corespunzătoare funcționării stabile a motorului la diferite frecvențe. Trasarea acestei caracteristici se face grafic așa cum este arătat în figură.

b. Dacă reglarea turației motorului prin schimbarea frecvenței se face la putere constantă, cuplul va varia invers proporțional cu turația și, prin urmare, cu frecvența, adică



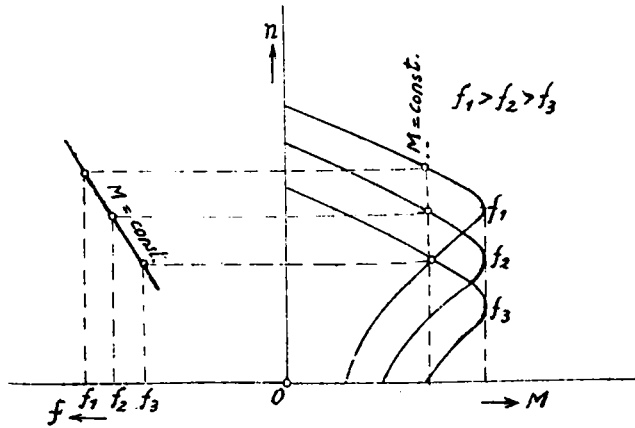


Fig.1

$$(5) \quad \frac{M'}{M} = \frac{f}{f'}$$

În acest caz, pentru ca să fie îndeplinite condițiile optime de reglare, adică pentru ca fluxul să rămână constant, trebuie ca tensiunea să varieze cu frecvența conform relației

$$(6) \quad \frac{U_1'}{U_1} = \sqrt{\frac{f'}{f}}$$

Caracteristicile mecanice artificiale ale motorului asincron obținute prin schimbarea simultană a frecvenței și tensiunii conform relației (6), sînt arătate în fig.2.

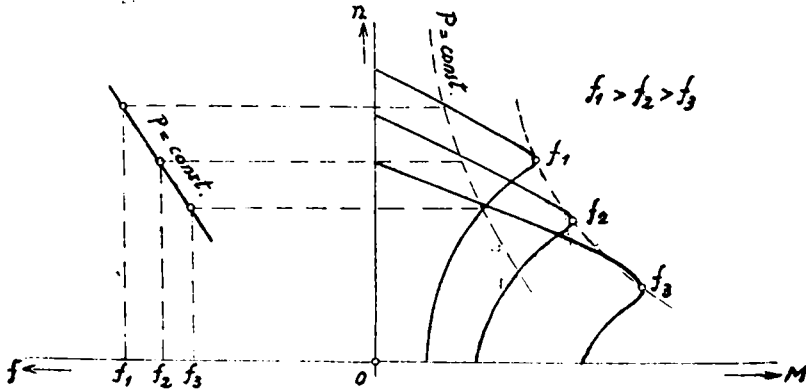


Fig.2

În aceeași figură este reprezentată caracteristica  $n = f(f)$  pentru  $P = \text{const.}$ , corespunzătoare funcționării stabile a motorului la diferite frecvențe. Trasarea acestei caracteristici se face grafic așa cum este arătat în figură.

## II. Mersul lucrării

Montajul folosit în acest scop este cel arătat în fig.3.

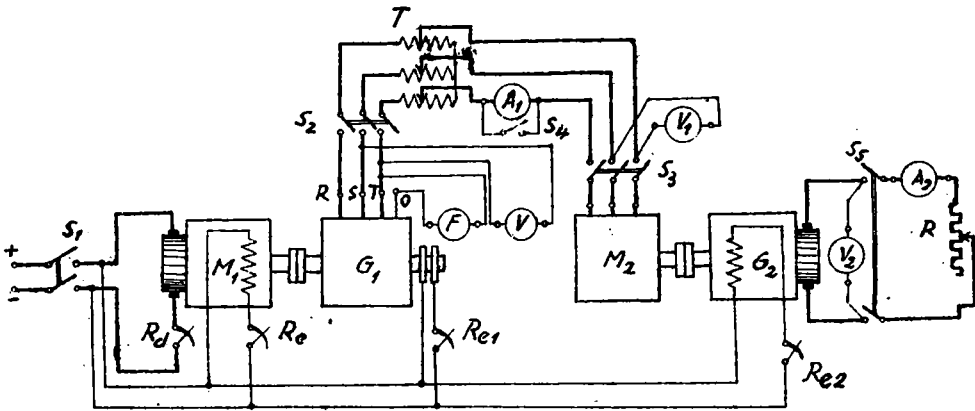


Fig.3

De la grupul compus din motorul de c.c.  $M_1$  și generatorul de c.a. trifazat  $G_1$  se obține sistemul trifazat de tensiuni R, S, T. Motorul asincron  $M_2$ , cuplat cu generatorul de curent continuu  $G_2$ , este alimentat de la generatorul  $G_1$  prin autotransformatorul trifazat T. Generatorul de c.c.  $G_2$ , care debitează peste rezistența de sarcină  $R$ , constituie sarcina motorului asincron, echivalând cu mașina de lucru.

**Pornirea instalației:**

După executarea montajului se verifică dacă intreruptoarele  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  și  $S_5$  sînt deschise, iar  $S_4$  închis. În momentul pornirii rezistențele  $R_d$ ,  $R_{e1}$  și  $R_{e2}$  trebuie să aibă valoarea maximă, iar rezistența  $R_e$  valoare minimă.

Se închide intreruptorul  $S_1$ , apoi se scoate complet

din circuit rezistența de pornire  $R_d$ . După aceea, cu ajutorul rezistenței de câmp  $R_c$  se aduce grupul  $M_1-G_1$  la turația corespunzătoare frecvenței de 50 Hz care se citește la frecvențimetrul F.

Se închide întrerupătorul  $S_2$  și cu ajutorul rezistenței  $R_c$ , se excită generatorul trifazat  $G_1$  pînă cînd la voltmetrul  $V_1$  se citește tensiunea nominală de alimentare a motorului asincron. Se închide apoi întrerupătorul  $S_3$ . După ce motorul asincron a pornit și a ajuns la turația nominală se deschide întrerupătorul  $S_4$ , care a șuntat ampermetrul  $A_1$  în timpul pornirii motorului asincron. Cu ajutorul rezistenței de excitație  $R_{e2}$  se excită generatorul de curent continuu  $G_2$ . Încărcarea motorului asincron, citită la ampermetrul  $A_2$ , se face închizîndu-se întrerupătorul  $S_5$  și reglînd rezistența de sarcină R.

Executarea măsurătorilor:

a. Reglarea turației prin modificarea frecvenței la cuplu constant [ $n = f(f)$  pentru  $M = \text{const.}$ ].

Cu ajutorul reostatului de câmp  $R_c$  se schimbă turația grupului  $M_1-G_1$ , prin urmare, se variază frecvența tensiunii de alimentare a motorului asincron. Valoarea tensiunii de alimentare trebuie să se schimbe proporțional cu frecvența relația (2) lucru care se întîmplă în mod automat deoarece tensiunea dată de generatorul  $G_1$  este proporțională cu turația sa.

Pentru ca cuplul dezvoltat de motorul asincron să rămînă constant atunci cînd turația sa variază, trebuie ca curentul  $i_2$ , debitat de generatorul  $G_2$ , să rămînă constant. Aceasta se realizează prin reglarea rezistenței de sarcină R.

La excitație constantă tensiunea generatorului  $G_2$  se schimbă automat, proporțional cu turația grupului  $M_2-G_2$ .

Valoarea cuplului constant dezvoltat de motorul asincron se calculează din puterea  $P_2 = u_2 i_2$  dată de generatorul  $G_2$  și turația  $n$  a grupului  $M_2-G_2$ , luînd în considerare randamentul  $\eta$ , care se obține din curbele de randament cunoscute, ale mașinii  $G_2$ .

Se citesc: frecvența  $f$  la frecvențimetrul F, tensiu-

nea  $U_1$  la voltmetrul  $V_1$ , tensiunea  $u_2$  la voltmetrul  $V_2$ , curentul  $i_2$  la ampermetrul  $A_2$  și turația  $n$  a motorului asincron cu ajutorul unui tahometru, pentru diferite valori constante ale curentului  $i_2$ , rezultatele trecându-se în tabela 1.

Tabela 1

Nr. ct.	f. Hz	$U_1$			$n_1$ rot/min	$n$ rot/min	$u_2$			$i_2$		$P_2 = u_2 i_2 \eta$ kW	$\eta$	$M = \frac{P_2}{\eta n}$ kgm	Obs.
		ct.	div.	V			ct.	div.	V	ct.	div.				

$n$ , este turația grupului  $M_1 - G_1$  corespunzătoare frecvenței  $f$ .

Voltmetrul  $V$  și ampermetrul  $A_1$  sînt puse în circuit numai pentru control.

b. Reglarea turației motorului asincron prin schimbarea frecvenței  $n = f(f)$ , pentru  $P = \text{const}$

În acest caz puterea  $P_2$  se menține constantă ( $u_2$  și  $i_2$  const.), iar tensiunea  $U_1$  aplicată motorului asincron se va schimba cu ajutorul reostatului  $R_{e1}$  proporțional cu rădăcina <sup>patrată</sup> frecvenței [relația (6)]. În acest scop se calculează anticipat, pentru fiecare frecvență, tensiunea corespunzătoare.

Citirile se fac pentru diferite valori constante ale puterii  $P_2$ .

Rezultatele se trec în tabela 2.

Tabela 2

Nr. ct.	f. Hz	$U_1$			$n_1$ rot/min	$n$ rot/min	$u_2$			$i_2$		$P_2 = u_2 i_2 \eta$ kW	$\eta$	$M = \frac{P_2}{\eta n}$ kgm	Obs.
		ct.	div.	V			ct.	div.	V	ct.	div.				

Lucrarea nr. 8

FUNCTIONAREA GENERATORULUI ASINCRON  
CU EXCITAȚIE PRIN CONDENSATOARE

În lucrare se urmărește experimental comportarea mașinii asincrone în regim de funcționare ca generator cu autoexcitație prin condensatoare.

În prima parte a lucrării se ridică curba de magnetizare a mașinii asincrone și caracteristicile voltampermetrice ale condensatoarelor, cu scopul de a determina dacă mărimea condensatoarelor este potrivită pentru autoexcitarea mașinii.

Se ridică apoi experimental caracteristicile  $U = f(n)$  a mașinii asincrone la mers în gol și sarcină, în regim de funcționare ca generator autoexcitat.

I. Partea teoretică

Mașinile asincrone, ca și celelalte mașini electrice, posedă proprietatea reversibilității, adică pot funcționa atât ca motoare cât și ca generatoare. Astfel, dacă o mașină asincronă, cuplată la o rețea de tensiune și frecvență constantă, este antrenată de un motor la o viteză mai mare decât viteza de sincronism, din caracteristica  $M = f(s)$  arătată în fig.1 se vede că cuplul mașinii devine negativ, adică mașina funcționează ca generator.

Trecerea de la regimul motor la regimul generator este însoțită de schimbarea sensului mișcării relative a rotorului față de câmpul magnetic învârtitor al statorului.

În cazul mașinii asincrone între t.e.m.  $E_2'$  și curentul  $I_2'$  există următoarea relație:

$$(1) \quad \vec{I}_2' = -\frac{\vec{E}_2'}{R_2' + jX_2'}$$

în care  $R_2'$  este rezistența raportată a fazei rotorului, iar  $X_2'$  reactanța inductivă de dispersie raportată a fazei rotorului.

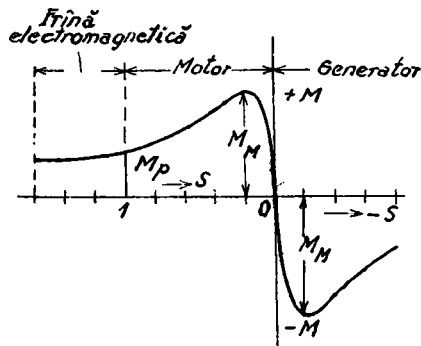


Fig.1

Din expresia (1) rezultă că prin schimbarea sensului alunecării  $s$  se schimbă sensul componentei active a curentului din înfășurarea rotorului, în timp ce componenta reactivă păstrează sensul său inițial. Schimbarea sensului componentei active a curentului din rotor, care echilibrează componenta activă a curentului din stator, produce schimbarea sensului acesteia din urmă, ceea ce determină trecerea mașinii de la regimul de funcționare ca motor la regimul de funcționare ca generator.

Invariabilitatea sensului componentei reactive a curentului din rotor, arată că, independent de semnul alunecării  $s$ , pentru ca mașina asincronă să funcționeze, este întotdeauna necesar să existe un curent reactiv de magnetizare care să servească la crearea cîmpurilor magnetice.

Din cele de mai sus rezultă că mașina asincronă funcționînd ca generator absoarbe din rețea puterea reactivă necesară magnetizării circuitului magnetic. Din acest motiv, generatorul asincron nu poate funcționa singur pe o rețea, fără mașini sincrone sau baterii de condensatoare, care să-i furnizeze energia reactivă necesară magnetizării sale.

Dacă generatorul asincron trebuie să funcționeze independent, pe o rețea exterioară, curentul de magnetizare trebuie să-l primească printr-un proces de autoexcitație. Pentru aceasta este necesar să se cupleze la bornele statorului o baterie de condensatoare alese în mod corespunzător și să se

aducă rotorul la viteza necesară.

Autoexcitația mașinii asincrone în scurtcircuit cu ajutorul condensatoarelor, conectate în paralel la înfășurarea statorului, se bazează pe proprietatea conservării magnetismului remanent în tolele mașinii, după încetarea stării de magnetizare. Într-adevăr la antrenarea generatorului asincron de către un motor primar, fluxul magnetic remanent al rotorului  $\Phi_0$  induce în înfășurarea statorului t.e.m. corespunzătoare  $E_0$ . Valoarea acesteia din urmă este determinată de următoarea expresie:

$$E_0 = 4,44 k_1 \Phi_0 W_1 f_0 \cdot 10^{-8}$$

în care:  $E_0$  - t.e.m. indusă în stator de magnetismul remanent, exprimată în volți,

$k_1$  - coeficient al înfășurării statorice,

$W_1$  - numărul de spire pe fază din stator,

$f_0$  - frecvența t.e.m. în herți,

$\Phi_0$  - fluxul magnetic remanent al rotorului în maxwelli.

Prin măsurători s-a constatat că tensiunea electromotoare  $E_0$  în mod obișnuit nu depășește câțiva volți și că nu este mărime constantă, ceea ce poate fi explicat prin valoarea variabilă a fluxului magnetic remanent  $\Phi_0$  din rotor. Mărimea turației rotorului provoacă o oarecare creștere a tensiunii electromotoare  $E_0$ , ceea ce se explică prin urcarea valorii frecvenței  $f_0$  a tensiunii electromotoare generate.

Prin conectarea la bornele statorului a unei capacități, la antrenarea rotorului generatorului asincron de către motorul primar, apariția tensiunii electromotoare  $E_0$  duce la apariția curentului reactiv capacitiv. Acest curent, parcurgând înfășurările statorului, joacă rolul unui curent de excitație și provoacă creșterea fluxului magnetic, care contribuie la creșterea t.e.m. în înfășurarea statorului, la urcarea tensiunii la bornele capacității de excitație, la creșterea curentului reactiv și la o și mai mare magnetizare a mașinii.

La început, când curenții de magnetizare nu sînt mari,

tensiunii inducibile este proporțional cu creșterea curenților, iar după aceea, când curenții primesc valori mari, creșterea tensiunii nu mai este în aceeași proporționalitate din cauza apariției fenomenului de saturație magnetică.

Procesul de creștere a tensiunii continuă pînă în momentul stabilirii stării saturate. Făcînd abstracție de căderile de tensiune din înfășurările statorului, aceasta se determină prin intersecția caracteristicii magnetice a mașinii  $U = f(I_m)$  cu caracteristica voltampermetrică a capacității conectate  $U = f(I_c)$  (fig.2). Este evident că autoexcitația

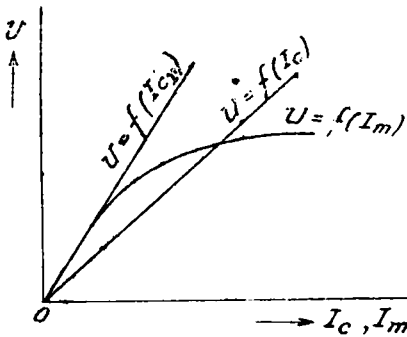


Fig.2

mașinii asincrone poate avea loc numai în cazul cînd caracteristica voltampermetrică  $U = f(I_c)$  a capacității se întretaie cu caracteristica magnetică  $U = f(I_m)$  a mașinii trasată pentru aceeași frecvență. De aici rezultă că autoexcitația mașinii asincrone nu se va produce pentru valorile capacităților mai mici decît valoarea critică  $C_r$ .

Este de remarcat că, prin conectarea de capacități de valori diferite, se pot obține la bornele mașinii asincrone tensiuni diferite pentru aceeași turație. De asemenea la turații diferite, conectînd capacități de valoare potrivită, se poate menține valoarea tensiunii la borne între anumite limite.

Generatorul asincron autoexcitat are aplicațiune în cazul tracțiunii cu energie înmagazinată. Se știe că volanul pe măsura ce cedează din energia cinetică își micșorează turația, ceea ce are drept consecință micșorarea tensiunii la bornele generatorului asincron. În asemenea cazuri valoarea tensiunii poate fi menținută între anumite limite, admisibile



din punct de vedere al motorului de tracțiune, prin schimbarea valorii capacității conectate la bornele statorului.

Generatorul asincron autoexcitat dă rezultate bune și în cazul folosirii la uzinele hidroelectrice mici și în instalațiile eoliene.

## II. Mersul lucrării

1. Pentru ridicarea caracteristicii magnetice a mașinii asincrone se folosește montajul din fig.3. Tensiunea variabilă necesară în timpul măsurărilor se realizează prin modificarea curentului de excitație a generatorului cu ajutorul reostatului  $R_{e2}$ , iar variația tensiunii în limite mai mari se obține cu autotransformatorul T.

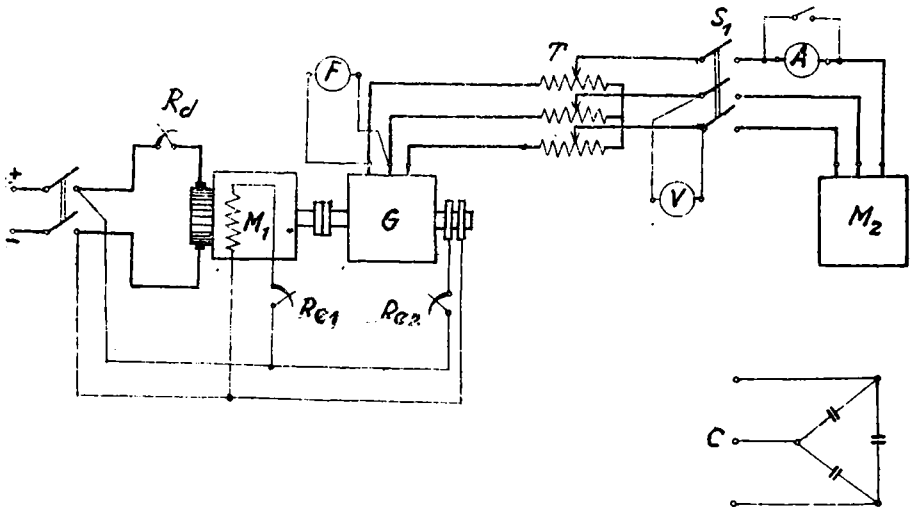


Fig.3

Turația grupului, motor de curent continuu generator sincron  $M_1-G$ , se menține constantă cu reostatul de câmp  $R_{e1}$ .  $R_d$  este un reostat de pornire.

Pentru a ridica caracteristica de magnetizare, mașina asincronă  $M_2$  se pune sub tensiune prin închiderea întrerupătorului  $S_1$ . Valorile indicate de voltmetrul  $V$  și ampermetrul  $A$ , care în timpul pornirii este scurtcircuitat, se trec în tabla 1 și pe baza acestor valori se trasează curba  $U = f(I_m)$ .

Tabela 1

Nr. crt.	U			$I_m$		
	ct.	div.	V	ct.	div.	A

2. Prin conectarea în locul mașinii asincrone, în schema din fig. 3, a unor condensatoare și prin măsurarea curentului și a tensiunii se pot obține caracteristicile volt-ampermetrice ale acestor condensatoare. După cum s-a arătat mai sus, condensatoarele a căror caracteristici se întretaie cu curba de magnetizare se pot folosi pentru autoexcitarea mașinii asincrone.

Curbele  $U = f(I_c)$  se trasează pe baza datelor experimentale din tabela 2.

Tabela 2

Nr. crt.	$C_1 =$		$C_2 =$		$C_3 =$	
	U	$I_c$	U	$I_c$	U	$I_c$
	ct. div. V	ct. div. A	ct. div. V	ct. div. A	ct. div. V	ct. div. A

3. Cuncscind valorile condensatoarelor de autoexcitație se realizează montajul din fig 4, în care mașina asincronă

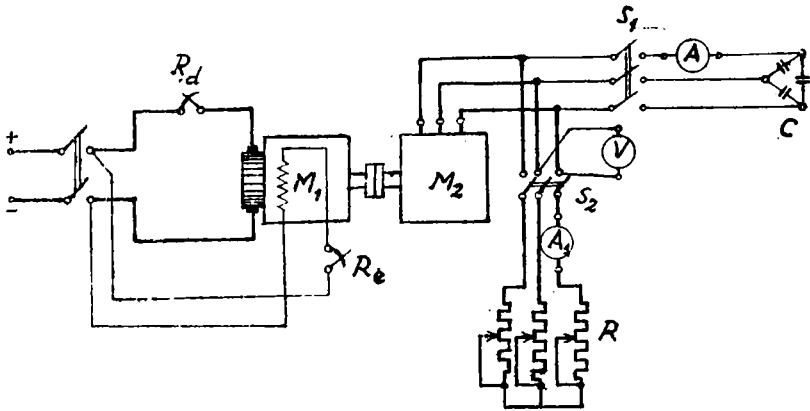


Fig. 4

$M_2$  este cuplată cu un motor de curent continuu  $M_1$ , cu posibilitate de a-i varia turația, cu ajutorul reostatului de câmp  $R_e$ . La bornele statorului mașinii asincrone se poate conecta prin intermediul întrerupătorului  $S_2$  reostatul  $R$ , iar prin intermediul întrerupătorului  $S_1$  capacitatea  $C$ .

Se ridică următoarele caracteristici:

a. Caracteristica  $U = f(n)$  a mașinii asincrone fără autoexcitație. Pentru aceasta întrerupătoarele  $S_1$  și  $S_2$  sînt deschise și se măsoară turația respectiv tensiunea cu voltmetrul  $V$ . Valorile obținute se trec în tabela 3.

Tabela 3

Nr. crt.	$n$ rot. per min.	U		
		ct.	div.	v

b. Caracteristicile la mers în gol a mașinii asincrone  $U = f(n)$  se obțin prin conectarea diferitelor condensatoare a căror valori sînt potrivite pentru a provoca autoexcitația mașinii asincrone. În acest scop întrerupătorul  $S_1$  se închide, iar  $S_2$  rămîne deschis. Pentru diferite valori ale turației rezultă valori corespunzătoare pentru tensiune, indicate de voltmetrul V, pe care le trecem în tabela 4.

Tabela 4

Nr. crt.	$C_1$				$C_2$				$C_3$				
	$\frac{n}{rot/min}$	U			$\frac{n}{rot/min}$	U			$\frac{n}{rot/min}$	U			
		ct.	div.	V		ct.	div.	V		ct.	div.	V	

c. Se închid întrerupătoarele  $S_1$  și  $S_2$  și se menține constant curentul indicat de ampermetrul  $A_1$  cu ajutorul reostatului R.

Cu datele din tabela 5 se trasează curbele  $U = f(n)$  pentru diferite valori ale capacității.

Tabela 5

Nr. crt.	$C_1$				$C_2$				$C_3$				
	$\frac{n}{rot/min}$	U			$\frac{n}{rot/min}$	U			$\frac{n}{rot/min}$	U			
		ct.	div.	V		ct.	div.	V		ct.	div.	V	

Lucrarea nr. 9

FRÎNAREA SUBSINCRONĂ MONOFAZATĂ LA  
MOTORUL ASINCRON

Scopul lucrării este de a urmări pe cale experimentală funcționarea motorului asincron trifazat în regim de frinare prin alimentarea monofazată a înfășurării sale statorice, obținându-se astfel o frinare în domeniul turațiilor subsincrone.

Se ridică experimental curbele care evidențiază:

- a) variația cuplului în funcție de rezistența totală a circuitului rotoric la turație constantă,
- b) variația turației în funcție de cuplu la rezistență exterioară rotorică constantă.

I. Partea teoretică

În domeniul turațiilor subsincrone, caracteristica de frinare prin contracurent a motorului asincron trifazat

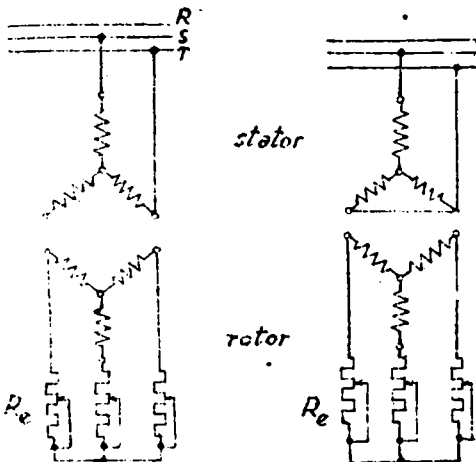


Fig.1

are o rigiditate redusă adică, la variații mici ale cuplului se obțin variații mari ale turației, ceea ce constituie un inconvenient al acestei metode de frinare.

Pentru a obține o caracteristică de frinare subsincronă corespunzătoare, se face uz de metoda de frinare prezentată în lucrarea de față care, principal, constă în următoarele: înfășurarea

statorică a motorului asincron trifazat se alimentează cu un sistem asimetric de tensiuni care, la limită, poate fi o alimentare monofazată când fazele statorului sînt alimentate ca într-una din schemele arătate în fig.1.

Prin alimentarea monofazată a motorului asincron trifazat se naște în stator un cîmp pulsatoriu care poate fi descompus în două cîmpuri rotitoare simetrice care rotesc unul în sensul direct și altul în sensul opus. Aceste două cîmpuri creează două cupluri, cuplul direct ( $M_d$ ) și cuplul invers ( $M_i$ ) (fig.2) care în domeniul turațiilor subsincrone acționează în sensuri opuse.

$$(1) M_d = \frac{2 M_{kd}}{\frac{s_{kd}}{s} + s_{kd}} ; M_i = \frac{2 M_{ki}}{\frac{s_{ki}}{2-s} + s_{ki}}$$

Cuplul rezultat va fi suma algebrică a acestor două cupluri.

$$(2) M = M_d + M_i$$

Dacă se neglijează rezistența statorului și curentul de magnetizare atunci  $|M_{kd}| = |M_{ki}|$ , iar  $s_{ki} = 2 - s_{kd}$ .

Din fig.2 se vede că, cuplul rezultat este un cuplu motor și nu un cuplu de frînare. Pentru ca cuplul rezultat să fie un cuplu de frînare, trebuie ca  $s_{kd} > 1$  respectiv  $s_{ki} < 1$ , luînd ca bază alunecarea corespunzătoare

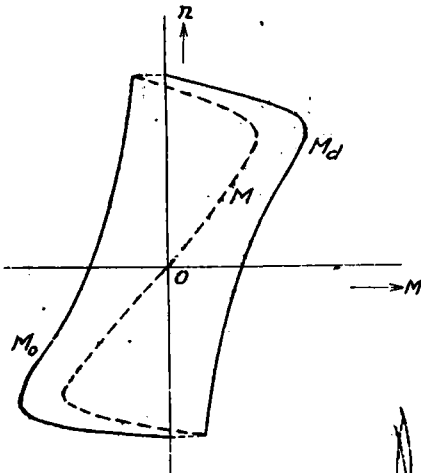


Fig.2

șre sensului direct. Acest lucru este arătat în fig.3.

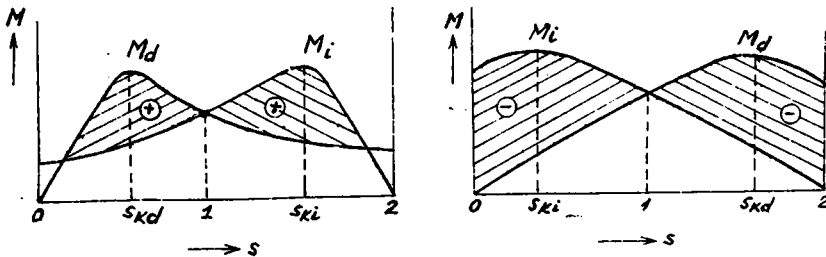


Fig.3

Din acestea se constată că efectul de frinare prin alimentarea monofazată a motorului asincron are loc numai pentru o valoare potrivită a rezistenței  $R_e$  introdusă în circuitul rotoric, deoarece valoarea alunecării de răsturnare depinde tocmai de această rezistență.

Din fig.3 rezultă de asemenea că valoarea cuplului de frinare, pentru o anumită alunecare, depinde de rezistența

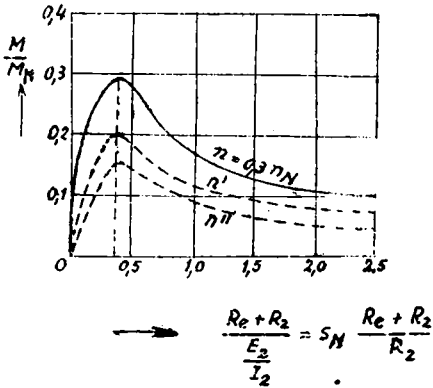


Fig. 4

introdusă în circuitul rotoric. În fig.4 este arătat cum variază cuplul de frinare în funcție de rezistența exterioră  $R_e$  introdusă în circuitul rotoric la turație constantă ( $E_2$  este t.e.m. rotorică pe fază în repaus,  $I_2$  este curentul rotoric la plină sarcină, iar  $R_2$  rezistența pe fază a rotorului).

În fig.5 este arătată variația cuplului de frinare la rezistență constantă și turație variabilă.

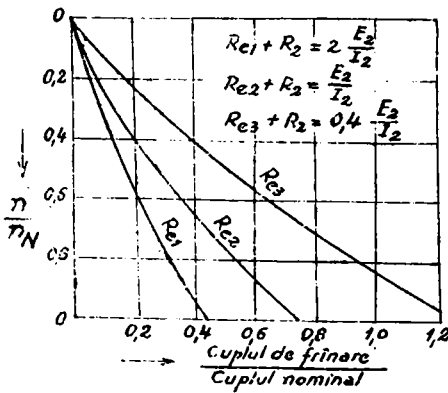


Fig. 5

## II. Mersul lucrării

Montajul folosit în acest scop este cel arătat în fig.6.

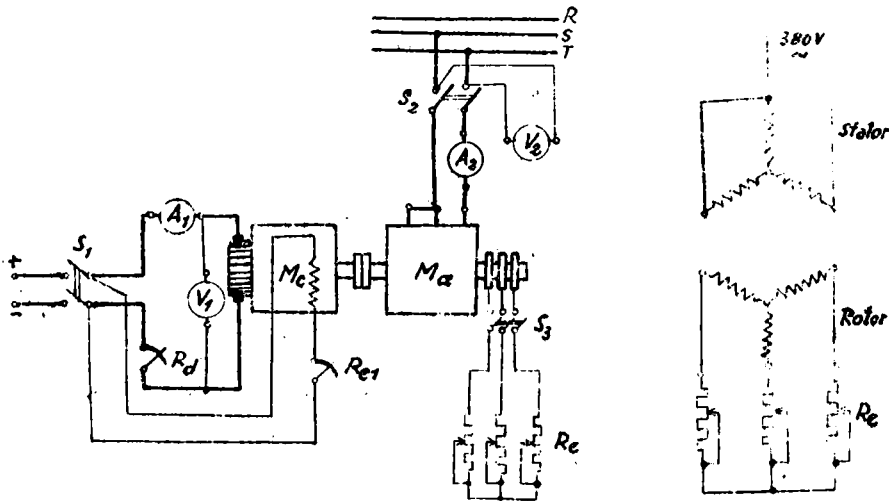


Fig.6

Motorul de curent continuu  $M_c$ , alimentat de la sursa de curent continuu, este cuplat cu motorul asincron  $M_a$ , alimentat în monofazat de la sursa de curent alternativ ( $380\text{ V}$ ). În circuitul rotoric al motorului asincron este introdusă rezistența exterioară  $R_e$ .

Cuplul  $M_1$  dezvoltat de motorul de curent continuu trebuie să acopere cuplul  $M_0$ , corespunzător pierderilor mecanice și electrice ale grupului și cuplul de frinare  $M$ , dezvoltat de motorul asincron, adică

$$(3) \quad M_1 = M_0 + M$$

de unde

$$(4) \quad M = M_1 - M_0$$

Pornirea instalației:



După executarea montajului se fixează rezistențele  $R_d$  și  $R_e$  la valoarea maximă, iar  $R_{c1}$  la valoarea minimă. Se închide întrerupătorul  $S_1$  și se face pornirea normală a grupului.

Executarea măsurătorilor.

Se ridică curba  $M_0 = f(n)$  a grupului, motorul asincron avînd alimentare monofazată (întrerupătorul  $S_2$  închis), iar circuitul rotoric deschis (întrerupătorul  $S_3$  deschis). La ampermetrul  $A_1$  se citește curentul  $i_{10}$  prin indusul motorului  $M_c$ , iar la voltmetrul  $V_1$  se citește tensiunea  $u_1$  la bornele indusului aceluiași motor. Turația  $n$  citită cu ajutorul unui tahometru se variază cu ajutorul rezistenței  $R_d$ .

Rezultatele se trec în tabela 1.

Tabela 1

Nr. crt.	n rot/min	$u_1$			$i_{10}$			$P_0 =$ $u \cdot i_{10} \cdot 10^{-3}$ kW	$M_0 =$ $974 \frac{P_0}{n}$ kgm	Obs.
		ct.	div.	V	ct.	div.	A			

a) Se ridică curbele arătate în fig.4  $M/M_N = f(s_N \frac{R_e + R_2}{R_2})$  pentru diferite valori constante ale turației, după ce în prealabil s-a măsurat rezistența rotorică  $R_2$ .

În acest scop se închide și întrerupătorul  $S_3$  și pentru diferite valori ale rezistenței  $R_e$  se citește curentul ce trece prin indus și tensiunea la bornele acestuia, păstrîndu-se constantă turația cu ajutorul rezistenței  $R_d$ .

Rezultatele se trec în tabela 2.

Alunecarea se calculează din relația cunoscută

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1}, \quad n_1 \text{ fiind turația sincronă.}$$

Ampermetrul  $A_2$  și voltmetrul  $V_2$  sînt puse în circuit numai pentru control.

Tabela 2

Nr. crt.	$\frac{n}{\text{rot}} \frac{\text{min}}$	$R_e$	$\xi_N \frac{R_0 + R_e}{R_e}$	$u_1$			$i_1$			$P_1 = \frac{u_1 i_1}{10^3}$ kW	$M_1 = \frac{P_1}{\eta}$ mkg	$M_0$ mkg	$M = M_1 - M_0$ mkg	$\frac{M}{M_N}$
				ct.	div.	V	ct.	div.	A					

b) Se ridică curbele arătate în fig.5  $n/n_N = f(M/M_N)$ .  
 În acest scop se dau diferite valori constante rezistenței  $R_e$  și cu ajutorul rezistenței  $R_d$  se variază turația. Rezultatele citirilor se trec în tabela 3.

Tabela 3

Nr. crt.	$R_e$ $\Omega$	$\eta$ $\frac{\text{rot}}{\text{min}}$	$\frac{\eta}{\eta_N}$	$u_1$			$i_1$			$P_1 = \frac{u_1 i_1}{10^3}$ kW	$M_1 = \frac{P_1}{\eta}$ mkg	$M = M_1 - M_0$ mkg	$M_0$ mkg	$\frac{M}{M_N}$
				ct.	div.	V	ct.	div.	A					

Lucrarea nr. 10

FRÎNAREA SUBSINCROŢĂ A MOTORULUI ASINCRON CU CÎMP  
EXCITAT ÎN CURENT CONTINUU

Lucrarea are ca scop stabilirea experimentală a caracteristicilor cuplu funcție de turație la frînarea în c.c. a mașinii asincrone.

I. Partea teoretică

Pentru a trece motorul asincron în regim de frînare în c.c. este necesar a-i deconecta statorul de la rețea și a-l face să funcționeze ca generator, la turații variabile mai mici decît turația de sincronism. Fluxul necesar producerii cuplului de frînare este asigurat prin introducerea curentului continuu în înfășurarea statorică, sau în înfășurarea rotorică. În mod obișnuit, curentul continuu este introdus în stator, iar rotorul este închis în scurtcircuit, sau pe o rezistență.

Schemele de conexiuni posibile după care curentul continuu poate fi introdus în înfășurarea trifazată a statorului sînt arătate în tabela 1. În această tabelă s-a notat cu  $i$  curentul continuu și cu  $I_1$  valoarea efectivă pe fază a curentului trifazat echivalent.

Pentru a exprima matematic caracteristicile mecanice ale cuplului de frînare produs de curentul continuu  $i$ , se consideră că în stator are loc un sistem echivalent trifazat simetric de curenți, care produce aceeași t.m.m. ca și curentul continuu  $i$ .

Egalînd t.m.m. corespunzătoare curentului continuu cu acelea ale sistemului trifazat, pentru schema 1 din tabela 1 obținem:

$$i W_1 \sqrt{3} = \frac{3}{2} \sqrt{2} I_1 W_1$$
$$i = 1,23 I_1$$

Tabela 1

	Schema 1	Schema 2	Schema 3	Schema 4	Schema 5
Schemele de conexiuni					
Diagrama curentilor					
Tensiunea magnetomotoare datorită curentului continuu.	$\sqrt{3} i W_f$	$2 i W_f$	$\frac{3}{2} i W_f$	$i W_f$	$\frac{\sqrt{3}}{2} i W_f$
Raportul $\frac{i}{I_1}$	$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 1,23$	$\frac{3}{2\sqrt{2}} = 1,06$	$\sqrt{2} = 1,41$	$\frac{3}{\sqrt{2}} = 2,12$	$\sqrt{2} \sqrt{3} = 2,45$
Rezistența echivalentă $R_e$	$2 R_1$	$3 R_1$	$\frac{3}{2} R_1$	$\frac{2}{3} R_1$	$\frac{1}{2} R_1$
Tensiunea c.c. $u$	$1,23 I_1 \cdot 2 R_1 = 2,46 I_1 R_1$	$1,06 I_1 \cdot 3 R_1 = 3,18 I_1 R_1$	$1,41 I_1 \cdot \frac{3}{2} R_1 = 2,12 I_1 R_1$	$2,12 I_1 \cdot \frac{2}{3} R_1 = 1,41 I_1 R_1$	$2,45 I_1 \cdot \frac{1}{2} R_1 = 1,22 I_1 R_1$
Puterea sursei de c.c.	$(1,23 I_1)^2 \cdot 2 R_1 = 3 I_1^2 R_1$	$(1,06 I_1)^2 \cdot 3 R_1 = 3,37 I_1^2 R_1$	$(1,41 I_1)^2 \cdot \frac{3}{2} R_1 = 3 I_1^2 R_1$	$(2,12 I_1)^2 \cdot \frac{2}{3} R_1 = 3 I_1^2 R_1$	$(2,45 I_1)^2 \cdot \frac{1}{2} R_1 = 3 I_1^2 R_1$

In această relație  $W_f$  este numărul spirelor unei faze statorice.

In mod analog, se obțin valorile  $\frac{i}{I_1}$  și pentru celelalte scheme. Aceste valori sînt trecute în tabela 1.

Tensiunea de alimentare în curent continuu se poate calcula cu ajutorul rezistenței echivalente corespunzătoare fiecărei scheme. Astfel dacă se notează cu  $R_1$ , rezistența unei faze a statorului, rezultă pentru fiecare schemă valorile rezistențelor echivalente  $R_e$ , corespunzătoare, trecute în rîndul nr.5 în tabela 1. Cu ajutorul rezistențelor echivalente

și a curentului se poate calcula tensiunea și puterea sursei de curent continuu, date în rîndul 6 și 7 din același tabel.

Prin introducerea fictivă în stator a curentului trifazat în locul curentului continuu, ne reîntoarcem, ca analogie, la funcționarea unui motor asincron. Ținînd seamă de definiția alunecării, în cazul frînării în curent continuu, ea se obține dînd întregii mașini rotația  $n_1$ . Astfel rezultă alunecarea

$$s = \frac{n_1(n_1 + n)}{n_1} = \left| \frac{n}{n_1} \right| = \left| \frac{\Omega}{\Omega_1} \right|$$

Pentru a obține expresia caracteristicii mecanice se pornește, ca și în cazul funcționării normale a motorului asincron, de la puterea electromagnetică transmisă rotorului

$$(1) \quad P_i = 3 I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s}$$

Valoarea curentului secundar raportat  $I_2'$  este:

$$(2) \quad I_2' = \frac{E_{20}' s}{\sqrt{R_2'^2 + X_2'^2 s^2}}$$

în care  $E_{20}' = I_\mu X_\mu$  este t.e.m. raportată indusă în rotor la alunecarea  $s = 1$ .

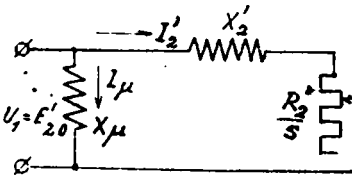


Fig.1

Pe baza relațiilor 1 și 2 a schemei echivalente simplificate arătată în fig.1 și cu ajutorul diagramei vectoriale din fig.2, se poate calcula cuplul de frînare dezvoltat de mașină.

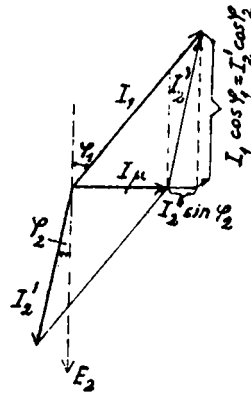


Fig.2

În schemele, diagramele și relațiile folosite s-au aplicat notațiile obișnuite de la motorul asincron.

Trebuie să se țină seamă că între regimul de funcționare ca motor și regimul de frînare în curent continuu există două deosebiri fundamentale și anume:

a) Alunecarea și turația se găsesc între ele în raporturi diferite față de regimul motor astfel că la  $s = 1$  corespunde turația de sincronism și la  $s = 0$  turația zero, pe când în regimul motor situația este inversă;

b) În cazul frînării în curent continuu pentru aceeași rezistență rotorică, alunecarea critică are valoare mult mai mică.

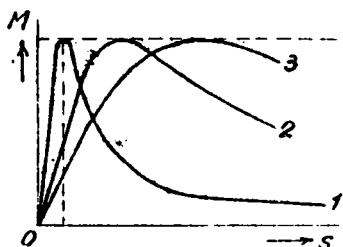


Fig. 3

Curbele 1, 2 și 3 din fig. 3 arată alura caracteristicilor, în cazul frînării în curent continuu, pentru diferite rezistențe în rotor. Se observă că cuplul maxim rămâne constant și are loc la alunecări care cresc cu rezistența din rotor.

În fig. 4 sînt trasate caracteristicile mecanice universale de frînare în curent continuu, obținute prin calcul pentru motoare asincrone cu rotor bobinat din seria MT, iar în fig. 5 sînt date aceleași caracteristici pentru motoarele asincrone în scurtcircuit din seria MTK pentru diferite valori ale raportului  $i/I_0 \cdot I_0$ , fiind curentul în gol al mașinii. În fig. 4 cu  $R_2$  s-a notat rezistența pe fază a rotorului.

Frînarea în curent continuu a motoarelor asincrone, atât a celor cu rotorul bobinat cît și cu rotorul în scurtcircuit, este din ce în ce mai larg folosită în industrie, aceasta cu considerare la necesitatea scurtării timpului de oprire, mai ales la agregatele cu volan.

Motoarele de acționare a grupurilor convertizoare motor-generator sînt prevăzute cu frînare în curent continuu. Aceasta se întrebuițează în unele cazuri și la mașinile-unelte la care este necesară oprirea bruscă.

Tot în scopul opririi precise în poziție, frînarea

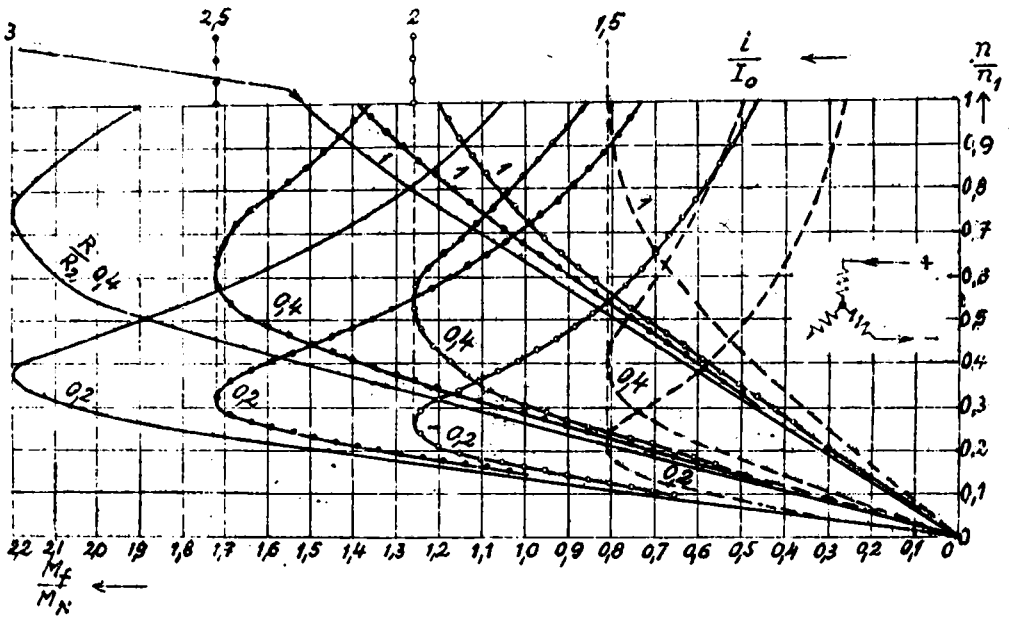


Fig. 4

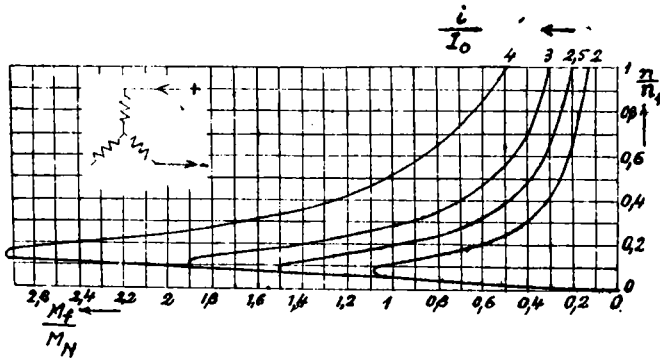


Fig. 5

în curent continuu se întrebunțează la controlerele acționate prin motor electric.

↑ Trebuie remarcat însă că frinarea în curent continuu are dezavantajul că necesită un aparataj automat costisitor

pentru comutarea rapidă a conexiunilor de la funcționarea normală la regimul de frinare. În afară de aceasta este necesară și o sursă de curent continuu care contribuie la scumpirea instalației.

### III. Mersul lucrării

Pentru determinarea caracteristicilor de frinare se realizează montajul din fig.6, alimentarea în curent continuu a motorului asincron făcându-se după schema 1 din tabela 1.

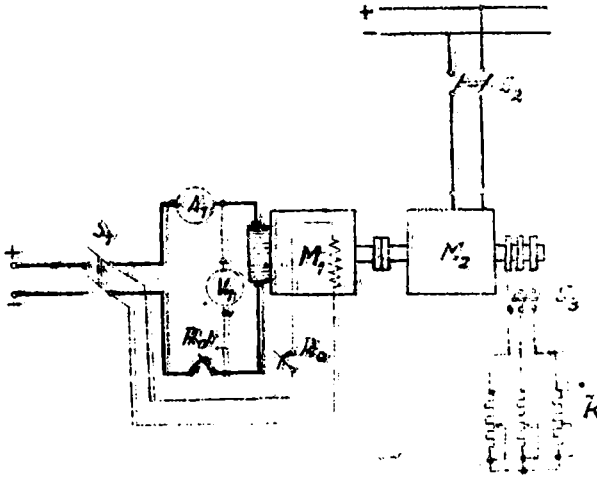


Fig.6

Motorul de curent continuu  $M_1$ , alimentat de la sursa de curent continuu, este cuplat cu motorul asincron  $M_2$ , alimentat de la o altă sursă de curent continuu. În circuitul rotoric al motorului asincron este intercalată rezistența  $R$ .  $R_d$  este reostatul de pornire, iar  $R_o$  reostatul de cîmp.

Cuplul  $M$  dezvoltat de motorul de curent continuu trebuie să acopere cuplul corespunzător pierderilor  $M_o$  și cuplul de frinare  $M_f$ . Rezultă deci că  $M_f = M - M_o$ .

1) Pentru a ridica curba  $M_o = f(n)$  a grupului la mers



în gol (întrerupătoarele  $S_2$  și  $S_3$  fiind deschise, iar  $S_1$  închis), se citește tensiunea indicată de voltmetrul  $V_1$  și curentul indicat de ampermetrul  $A_1$ . Turația se măsoară cu un tahometru.

Reglarea turației se face cu ajutorul reostatului de pornire  $R_d$ , ceea ce se are în vedere la alegerea lui. În tot decursul lucrării se menține constant curentul de excitație al motorului  $M_1$ .

Pe baza măsurătorilor se completează tabela 2.

Tabela 2

Nr. crt.	n rot/min	$u_1$			$i_1$			$P_0 = u_1 i_1$ watt	$M_0 = 974 \frac{P_0 \cdot 10^{-3}}{n}$ kgm
		ct.	div.	V	ct.	div.	A		

2) Curbele de variație a cuplului de frinare se obțin prin alimentarea în curent continuu a statorului motorului asincron ( $S_2$  închis) și prin introducerea unor rezistențe în circuitul rotoric ( $S_3$  închis) după ce în prealabil s-a închis întrerupătorul  $S_1$ .

Pentru un anumit curent continuu de alimentare în stator se ridică caracteristicile de frinare  $M_f = f(n)$  corespunzătoare diferitelor valori ale rezistenței intercalată în circuitul rotoric.

Curbele se ridică pe baza tablei 3. Se recomandă ridicarea caracteristicilor pentru trei valori diferite ale curentului continuu de alimentare în stator.

La trasarea caracteristicilor de mai sus se consideră că pierderile au, în tot timpul, aceeași valoare.

Tabela 3

$I_c$	R	$n$ $\frac{\text{rot}}{\text{min}}$	$U_1$			$i_1$			$P = U_1 i_1$ Watt	$M = \frac{974 \cdot P \cdot 10^{-3}}{n}$ kgm	$M_0$ kgm	$M_f = M \cdot M_0$ kgm
			ct.	div.	V	ct.	div.	A				

BUPT

Lucrarea nr. 11

DETERMINAREA EXPERIMENTALA A MOMENTULUI DE  
INERTIE A ROTORULUI UNEI MASINI ELECTRICE

Scopul lucrării este determinarea experimentală a momentului de inerție a rotorului unei mașini electrice prin următoarele metode:

1. Metoda oscilațiilor, în care caz rotorul este suspendat și lăsat să oscileze. Cunoscând perioada oscilațiilor și greutatea, se calculează momentul de inerție al rotorului.

2. Metoda opririi naturale a mașinii electrice, în care caz momentul de inerție se determină pe baza caracteristicii de oprire  $n = f(t)$  și a curbei pierderilor la mers în gol  $P_0 = f(n)$ .

3. Metoda discului auxiliar. Aceasta este o metodă comparativă; momentul de inerție se calculează pe baza caracteristicilor de oprire naturală  $n = f(t)$ , obținute prin oprirea mașinii fără discul auxiliar și cu discul auxiliar (cu moment de inerție cunoscut) aplicat pe axul mașinii.

I. Partea teoretică

La pornire, frînare, reversare și într-un regim de funcționare la o sarcină variabilă în cursul unui ciclu, motoarele nu trec în mod instantaneu dintr-o stare de mișcare în cealaltă, ci într-un anumit timp, în cursul căruia variază turația și curentul mașinii. Variația iuțelii este determinată de cuplu și de masle inerte ale sistemului în mișcare. Inerția maselor în mișcare de rotație e evidențiată în calcule prin momentul de inerție  $\theta$ , care se definește prin expresia

$$(1) \quad \theta = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \rho_i^2$$

unde  $m$  este masa unei particole elementare situată la distanța  $p$  de axa de rotație.

Momentul de inerție al rotorului unei mașini electrice se poate calcula utilizând relația (1). Metoda este însă anevoioasă din cauza formelor diferite ale pieselor în rotație și nici rezultatele nu sînt exacte din cauza aproximațiilor care se fac. În unele cazuri nici nu este recomandabilă demontarea mașinii electrice pentru a lua dimensiunile pieselor în rotație. De aceea se recurge la metodele experimentale descrise mai jos.

1. Metoda oscilațiilor (rotorul se poate demonta)

Rotorul  $r$  are posibilitatea de a oscila ca un pendul în jurul axei  $x-x$ , fiind legat de un profil  $U$  care se sprijină pe două prisme  $p$  (fig.1). Dacă se neglijează momentul de inerție al profilului  $U$ , rezultă pentru durata unei oscilații complete  $T$ , expresia:

$$(2) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{\theta}{Ge}} \text{ sec.}$$

de unde rezultă momentul de inerție al rotorului în raport cu axa  $x-x$

$$(3) \quad \theta = \frac{GeT^2}{4\pi^2} \text{ kgm. sec}^2$$

unde  $G$  este greutatea rotorului, în  $\text{kg}$

$e$  distanța de la axa proprie  $y-y$  a rotorului la axa de pendulare  $x-x$ , în  $\text{m}$ .

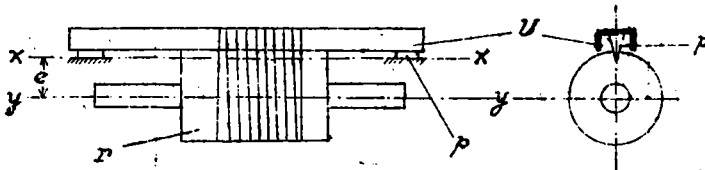


Fig.1

Momentul de inerție raportat la axa proprie  $y-y$  este

$$(4) \quad \theta = \left( \frac{cT^2}{4\pi^2} - \frac{e^2}{g} \right) G$$

unde  $g$  este accelerația gravitației, în  $\text{m/sec}^2$ .

2. Metoda opririi naturale, aplicată la un motor de c.c. cu excitație în paralel (rotorul nu trebuie demontat).

Energia înmagazinată în masele ce se rotesc cu iușea la unghiulară  $\Omega$  în jurul unei axe față de care momentul lor de inerție este  $\theta$ , rezultă din

$$(5) \quad A = \frac{1}{2} \Omega^2 \theta$$

În orice moment, în cursul unei opriri naturale a mașinii (la mersul în gol), energia cedată în unitate de timp de masele în rotație datorită scăderii iușei unghiulare este egală cu pierderile la mers în gol  $P_0$  în situația considerată. Ținând seama de acest fapt și știind că  $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ , în sistemul de unități MKSA, din relația (5) rezultă puterea

$$(6) \quad P_0 = \frac{1}{933} \theta n \frac{dn}{dt} \text{ watt}$$

Se observă că pentru a determina pe  $\theta$  e necesar să se cunoască curba  $n = f(t)$  în cursul unei opriri naturale a motorului și  $P_0 = f(n)$  la mers în gol (fig.2).

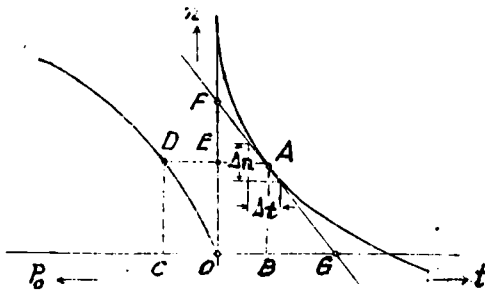


Fig.2

La un moment dat, se obține:

$$(7) \quad P_0 = c_1 ED = c_1 OC$$

$$(8) \quad n = c_2 BA = c_2 OE$$

$$(9) \quad \frac{dn}{dt} \approx \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{c_2 OF}{c_3 OG}$$

Curba  $n = f(t)$  se ridică experimental, menținând constantă valoarea fluxului de excitație.

Curba  $P_0 = ui_0 = f(n)$  se ridică la mers în gol la același flux de excitație la care s-a determinat curba  $n = f(t)$ .

Pentru un punct de funcționare A

unde  $c_1$ ,  $c_2$  și  $c_3$  reprezintă scările puterii, turației și timpului.

Cunoscând  $P_0$ ,  $n$  și  $dn/dt$  rezultă  $\theta$  din relația (6).

3. Metoda discului auxiliar. Nici în acest caz nu e nevoie ca rotorul să fie demontat.

¶ Pentru măsurarea momentului de inerție se procedează astfel:

Se ridică curba  $n = f(t)$  în cursul unei opriri naturale a motorului în aceleași condiții ca și la pct. I .2 (curba 1 fig.3). Se ridică apoi curba de oprire naturală

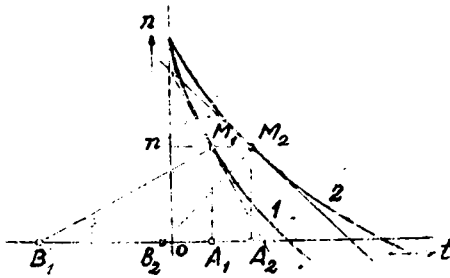


Fig.3

$n = f(t)$ , pe arborele motorului fiind montat un disc auxiliar de oțel (curba 2 fig.3) al cărui moment de inerție  $\theta_d$  e cunoscut.

Dacă discul e cilindric, atunci

$$(10) \quad \theta_d = \frac{\pi \gamma l D^4}{32 g}$$

unde  $l$  e înălțimea cilindrului,  $D$  diametrul

și  $\gamma$  greutatea specifică.

Greutatea discului trebuie să fie neglijabilă față de a rotorului, pentru ca pierderile la mers în gol să nu fie influențate. În aceste condiții, pierderile la mers în gol în cursul opririi, la aceeași turație  $n$ , pentru funcționarea fără disc  $P_{01}$ , respectiv funcționarea cu disc  $P_{02}$  vor fi egale:

$$(11) \quad P_{01} = P_{02}$$

Măsurătorile se efectuează la același flux de excitație.

Ținând seama de relația 6, se poate scrie:

$$(12) \quad P_{01} = \frac{\theta}{9,33} n \left( \frac{dn}{dt} \right)_1$$

$$(13) \quad P_{02} = \frac{\theta + \theta_d}{9,33} n \left( \frac{dn}{dt} \right)_2$$

Din relațiile (11), (12) și (13), știind că

$$n \left( \frac{dn}{dt} \right)_1 = c A_1 B_1$$

rezultă: 
$$n \left( \frac{dn}{dt} \right)_2 = c A_2 B_2$$

$$(14) \quad \theta = \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1 - A_2 B_2} \theta d$$

c este o constantă ce depinde de scările alese.

Trebuie ca  $\theta d$  să aibă o valoare apropiată de  $\theta$  pentru ca erorile să fie mici. Discul trebuind să fie ușor, rezultă că diametrul lui trebuie să fie relativ mare, iar masa să-i fie repartizată cât mai mult spre periferie.

Observație: In locul momentului de inerție ( $\theta$ ) poate fi determinat momentul de girație ( $GD^2$ ), știind că între aceste două mărimi există relația:

$$(15) \quad GD^2 = 4g\theta$$

## II. Mersul lucrării

### 1. Metoda oscilațiilor

Se măsoară durata a 50 oscilații complete a rotorului cu ajutorul unei balanțe. Se calculează media oscilațiilor T. După ce s-a măsurat greutatea rotorului G și distanța e (fig. 1), se calculează momentul de inerție cu ajutorul relației 4.

Pentru a nu avea erori mari, unghiul de deviere al oscilațiilor nu trebuie să depășească  $10^\circ$ .

### 2. Metoda încetinerii. Se realizează montajul din

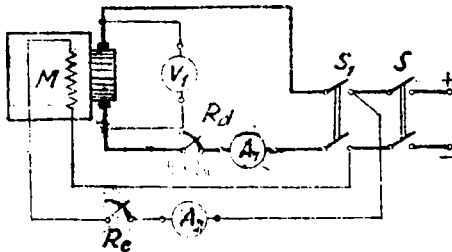


Fig. 5

fig.5. Se ridică curba de încetinire la excitație constantă, prin lansarea motorului M de la diferite turații, citite la un tahometru, și măsurând timpul parcurs din momentul deschiderii întrerupăto-

rului și pînă la oprire. Pentru a menține fluxul de excitație constant, reglarea turației se face numai cu ajutorul reostatului de pornire  $R_d$ .

Rezultatele se trec în tabela 1.

Tabela 1

Nr. crt.	t sec.	n rot/min

Curba  $P_o = f(n)$  se ridică reglînd turația tot cu ajutorul reostatului  $R_d$ . Curentul de excitație urmărit la ampermetrul  $A_2$ , trebuie să fie menținut constant în tot timpul măsurătorilor. Rezultatele se trec în tabela 2.

Tabela 2

Nr. crt.	u			i			n rot/min	$P_o$ Watt
	ct.	div.	V	ct.	div.	A		

După ce s-au trasat curbele  $n = f(t)$  și  $P_o = f(n)$  se calculează momentul de inerție cu ajutorul relațiilor (6), (7), (8) și (9).

3. Metoda discului auxiliar. Se utilizează tot montajul din fig.5. Se ridică curbele de oprire naturală a motorului  $n = f(t)$  cu discul de oțel montat pe arbore și fără disc.

Momentul de inerție al discului e cunoscut, sau se



calculează cu ajutorul relației (10) în cazul că discul e cilindric.

După trasarea curbelor  $n = f(t)$ , se calculează momentul de inerție cu ajutorul relației (14).

TABLA DE MATERII

	Pag.
Cuvint înainte . . . . .	1
<u>Lucrarea nr.1</u> Reglarea turației motorului de curent continuu cu excitație în paralel (independentă) prin slăbire de cimp. . .	3
<u>Lucrarea nr.2</u> Reglarea turației prin rezistențe legate în serie și în paralel cu indusul la motorul de curent continuu cu excitație în paralel. . . . .	9
<u>Lucrarea nr.3</u> Reglarea turației prin slăbire de cimp la motorul de curent continuu cu excitație în serie. . . . .	16
<u>Lucrarea nr.4</u> Reglarea turației motorului de curent continuu cu excitație în serie prin rezistențe legate în serie cu indusul	22
<u>Lucrarea nr.5</u> Reglarea turației motorului de curent continuu, construit pentru excitație în serie, prin rezistențe. Infășurarea de excitație se leagă în paralel cu indusul. . . . .	26
<u>Lucrarea nr.6</u> Reglarea turației motorului asincron prin schimbarea tensiunii de alimentare. . . . .	32
<u>Lucrarea nr.7</u> Reglarea turației motorului asincron prin modificarea frecvenței . . . . .	38
<u>Lucrarea nr.8</u> Funcționarea generatorului asincron cu excitație prin condensatoare . .	44
<u>Lucrarea nr.9</u> Frinarea subsincronă monofazată la motorul asincron. . . . .	52
<u>Lucrarea nr.10</u> Frinarea subsincronă a motorului asincron cu cimp excitat în curent continuu. . . . .	58
<u>Lucrarea nr.11</u> Determinarea experimentală a momentului de inerție a rotorului unei mașini electrice. . . . .	66
Tabla de materii . . . . .	73